



Ahlat İlçesi (Bitlis) kıyı akiferinde yeni bir problem: Yeraltı suyu tuzlulaşması

A new problem in the coastal aquifer of Ahlat County (Bitlis): The groundwater salinization

Hurşit Yetmen ^{*a}  Necmettin Elmastaş ^b  Mehmet Özcanlı ^a  Sedat Benek ^a 

^a Harran Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Şanlıurfa

^b Harran Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Türkçe ve Sosyal Bilimler Eğitimi Bölümü, Şanlıurfa

ORCID: H.Y. 0000-0003-4164-6951; N.E. 0000-0003-2220-3506; M.Ö. 0000-0003-2228-8298; S.B. 0000-0002-5221-9683

BİLGİ / INFO

Geliş/Received: 18.11.2019

Kabul/Accepted: 12.08.2020

Anahtar Kelimeler:

Yeraltı suyu tuzlanması
Piper Diyagramı
Van Gölü
Ahlat

Keywords:

Groundwater Salinization
Piper Diagram
Lake Van
Ahlat

*Sorumlu yazar/Corresponding author:

(H. Yetmen)
hyetmen@gmail.com

DOI: 10.17211/tcd.648385

Atf/Citation:

Yetmen, H., Elmastaş, N., Özcanlı, M. ve Benek, S., (2020). Ahlat İlçesi (Bitlis) kıyı akiferinde yeni bir problem: Yeraltı suyu tuzlulaşması. *Türk Coğrafya Dergisi* (75), 71-80.

DOI: 10.17211/tcd.648385

ÖZ / ABSTRACT

Bu çalışmada Ahlat kıyı ovasındaki yeraltı suları araştırılmıştır. Bu arazilerde 2002 yılından sonra açılan çok sayıda kuyu aracılığıyla sulamalı tarım yaygın biçimde yapılmaya başlamıştır. Bu çalışmayla araştırma sahasındaki yeraltı suyunun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, bu özelliklere dayanarak Van Gölü kıyısına yakın tatlı su akiferlerine olası tuzlu göl suyu karışımının araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma alanını temsil edebilecek coğrafi verilerin üretilmesi için beş kuyu seçilmiştir. Su örnekleri, Harran Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (HÜBTAM) prosedürlerine uygun olarak, 2017 yılı içerisinde Haziran ve Eylül aylarında seçilen kuyulardan alınarak test edilmiştir. Yeraltı suyu verilerinin alansal dağılışının değerlendirmesini yapmak amacı ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarından faydalanılmıştır. Kuyu sularının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri arazi çalışmalarında test edilmiştir. Yeraltı sularının Klorür (Cl⁻) konsantrasyonları ve hidrokimyasal fasiyes değişimi tuzlulaşma süreçlerinin değerlendirilmesi için yorumlanmıştır. Buna göre 1 no'lu kuyu civarındaki yeraltı sularında göl suyuyla bağlantılı kimyasal değişim saptanmıştır. Bu durum su örneklerine ait Piper diyagramında da açıkça görülmektedir. Hidrokimyasal süreçlerin yanında yeraltı suyundaki değişimi etkileme potansiyeli olan Van Gölü'nün seviye değişiklikleri, arazi kullanımındaki değişiklikler ve derin sondaj kuyularının açılması gibi etkenler de değerlendirilmiştir. Yeraltı suyunun tuzlu göl suyu ile etkileşime girmesi sonucunda tatlı suyun kimyasal bileşiminde önemli değişiklikler meydana gelir. Yeraltı suyuna göl suyunun karıştığı kısımlardaki kuyu sularında (1. kuyu civarı) her iki ölçüm döneminde de diğer tüm kuyulardan daha yüksek pH, EC, %Na, Cl⁻ ve SAR değerleri gözlenmiştir. Bu gözlemlere göre araştırma alanının sadece en güneyinde, kıyıya yakın kısımlarda göl suyunun yeraltı suyuna karıştığı, diğer kıyı kısımlarında karışmadığı tespit edilmiştir.

In this study, groundwater of coastal plains of Ahlat were investigated. Irrigation has started extensively in the coastal area by groundwater since 2002. The study aims to determine physical and chemical characteristics of groundwater in survey area and research possible mixing of salty lake water to fresh water aquifers near by Lake Van. Five wells has been chosen for geographical data to represent the survey area. Samples has been analyzed from chosen wells in June and September, 2017 in accordance with procedures of Harran University Application and Research Center for Science and Technology. Geographic Information Systems (GIS) were utilized in order to evaluate spatial distribution of groundwater data. Some physical and chemical characteristics of groundwater has been analyzed in the field studies. Chloride (Cl⁻) concentrations and hydrochemical facies change of groundwater were interpreted for the assessment of salinization processes. Accordingly, chemical change related to the lake water was determined in groundwater around well 1. This is clearly seen in the Piper diagram of water samples. In addition to the hydrochemical processes, other factors that have the potential to affect salinization of groundwater such as change of the level of Lake Van, changes in land use and opening of deep wells were also evaluated. Significant changes in the chemical composition of freshwater occur as a result of the interaction of groundwater with salty lake water. It was observed that pH, EC, Na%, Cl⁻ and SAR value were higher than the value collecting from the other wells in both of survey periods in the well where the groundwater interacted with lake water. It is remarkable that the lake water interacted with the groundwater in the south of survey area, near by coast of Lake Van but it didn't interact in the other parts of survey area.

Extended Abstract

Introduction

Agricultural irrigation is inevitable in regions with climatic drought during the growth period of agricultural plants. In arid, semi-arid and arid-semi-humid climates that require efficient planning and management of water resources, stream and lake waters or groundwater are generally used in agricultural irrigation. As the summer season has hot and dry conditions on the shores of Lake Van in Ahlat, the water needed for agricultural irrigation is mostly obtained from groundwater. In Ahlat, there has been a significant increase in agricultural production in the last decades and the cultivation of agricultural products with high water demand has become widespread in the land which newly opened to farming. Undoubtedly, this situation has increased the use of groundwater. The use, monitoring and planning of groundwater in coastal aquifers adjacent to lakes or seas the waters of which are not fresh is more important than other regions. Since the interface of fresh groundwater and salty groundwater will be reached after a certain depth on the coastal plains, the wells to be drilled must be at a safe distance to the critical depth where the freshwater/saltwater interface is located. It is necessary to know the physical, chemical and hydrodynamic properties of the coastal aquifer to perform these applications correctly. In this study, water samples of five wells near the shore were examined to define the characteristics of Ahlat's coastal aquifer.

Data and Method

In this study, it was aimed to determine the physical and chemical properties of the groundwater in the study area and to investigate the possible saltwater intrusion into the freshwater aquifer near the Lake Van shore based on these properties. The area where four of the water samples were collected has a topographic appearance in the form of a rather flat trough descending from Nemrut Mountain towards Lake Van. The groundwater in the study area is located in the layers called Ahlat Tefra Group, which are mainly composed of ignimbrite and pumice layers. In the area where the wells are located, Quaternary and Plio-Quaternary pyroclastic rocks are dominant. Since there are no observation wells in the field, water samples were taken from farmers' wells to produce geographical data that could represent the study area. Water samples were taken from the wells in June and September in 2017 and tested by following the procedures of Harran University Science and Technology Application and Research Center (HÜBTAM). Geographical Information Systems software was used to evaluate the spatial distribution of groundwater data. Groundwater temperature, smell, colour, electrical conductivity, total dissolved solids and depth of groundwater were tested in field studies. Since chloride (Cl^-) is considered as a conservative tracer, the contribution of brine and freshwater in the mixing water can be determined proportionally according to the Cl^- percentage. To find out the possible impact of groundwater from saltwater, Cl^- concentrations and hydrochemical facies change were interpreted for the evaluation of salinization processes. According to these interpretations, chemical changes have been detected in the groundwater around the

well numbered 1 in the south of the study area. This situation is seen in the Piper diagram of water samples. Identifying and classifying different types of groundwater is an important preliminary study in determining potential mixing waters. By using the major cation and anion contents of the samples with the help of the Piper Diagram, water types can be determined and classified. In addition to hydrochemical processes that can contaminate fresh groundwater, factors such as the secular level changes of Lake Van, which has the potential to affect groundwater, changes in land use, and drilling of deep wells, have also been evaluated. Substantial changes occur in the chemical composition of freshwater as a result of groundwater interacting with salty lake water. Higher pH, EC, % Na, Cl^- and SAR values were observed in the well water (around well numbered 1) in the parts where the lake water mixed with the groundwater in both measurement periods than all other wells. According to these observations, it was determined that only in the southernmost part of the study area, near the shore, the lake water mixed with the groundwater and not in the other coastal parts.

Results

The chemistry of the sample taken from well numbered 1 is different from the basic chemistry of local fresh groundwater. The reason for this is that the depth of the well is greater than the other wells near the shore. It can also be attributed to the fact that this well is located very close to Lake Van. According to the Ghyben-Herzberg equation, the freshwater/saltwater interface in the lower plains on the shore is closer to the surface than a place located farther and higher from the lakeshore. Due to this risky situation, when a well is drilled to access freshwater on the shore, every desired depth cannot be reached. In addition to these basic findings, it was observed that the watercolour was whitish due to the chloride content when water samples were taken from the well numbered 1 during field studies. No significant change was observed in the chemical properties of water samples between the two measurement periods. These observations and findings show that the groundwater around well numbered 1 may have been affected by the Lake Van water. Appropriate methods and techniques were applied to the water samples taken from the wells in the study area to evaluate such a possibility objectively. As a result, the signs of being affected by the Lake Van water were found significant only in the water sample of the well numbered 1.

Conclusion

Groundwater in the study area has natural advantages that can be protected from the contamination of the lake water. Sites, where groundwater quality deteriorates due to the lake waters, are located at the point where the local groundwater flow heads. This advantage can be used with low-cost planning. The passive reclamation of groundwater should be initiated by cancelling deep wells in groundwater contaminated area.

1. Giriş

Dünya'da insanlar tarafından kullanılabilir toplam su potansiyelinin %99'dan fazlasını yer altı suları oluşturmaktadır (Liu vd., 2011). İklim değişikliğine karşı daha kırılgan olan iklim bölgelerinde, yeraltı sularının doğru yönetilmesi büyük önem taşımaktadır. İklim değişikliğinin öngörülebilir olumsuz etkileriyle mücadele yöntemlerinin ve uyum politikalarının geliştirilmesi için yeraltı suyu özelliklerinin ve potansiyelinin belirlenmesi öncelikli konulardan biridir.

Deniz ve suları tatlı olmayan göllerin kıyı bölgelerinde aşırı pompalamaya bağlı olarak tüketimi artan yeraltı sularının içerikleri değişebilmekte, yeraltı sularının içerdiği mineraller göl/deniz sularının içerdiği iyonlara benzeyebilmektedir. Göl/deniz suyu girişi olması nedeniyle yeraltı su kalitesi bozulmaktadır. Deniz kıyısına yakın bölgelerde bulunan yeraltı suyu doğal tadının bozulma eşikleri Dünya Sağlık Örgütü tarafından Na^+ için 200 mg/l, K^+ için 30 mg/l, HCO_3^- için 200 mg/l, SO_4^{2-} için 250 mg/l ve Cl^- için 250 mg/l (ilişkili olduğu katyona bağlıdır: Sodyum, potasyum ve kalsiyum klorür için) olarak ifade edilmektedir (WHO, 2004). Klorür içeriği 100 mg/l'den fazla olduğunda suyun tadındaki değişim insanlar tarafından algılanabilmektedir (Essink, 2001). Ayrıca çoğu kişi içme suyu klorun 5 mg/l'nin altındaki konsantrasyonlarda, bazıları ise 0,3 mg/l gibi düşük seviyelerde tadını veya kokusunu alabilir (WHO, 2004). Yeraltı suyuna göl/deniz suyunun etkisinin olduğu kısımlarda yukarıdaki parametreler sınır değerlerine yaklaşmakta ya da bu değerleri aşmaktadır. Bu bağlamda Van Gölü kıyısı ve yakın çevresindeki alanlarda son yıllarda açılan çok sayıda sondaj kuyularıyla yeraltı sularının sulama amaçlı çekilmesi neticesinde göl sularının yeraltı sularına karışması kuvvetle muhtemeldir. Günümüze kadar, Van Gölü suyunun Ahlat ilçesi kıyılarındaki yeraltı suyuna etkisi bilinmemektedir. Bu çalışmayla araştırma alanındaki yeraltı sularının Van Gölü sularından etkilenip etkilenmediği, etkilenmişse nerede ne düzeyde etkilendiği sorularına cevap aranmıştır.

Denizlerin ve suları tatlı olmayan göllerin kıyıya yakın kısımlarında, özellikle yarı kurak bölgelerde, yeraltı suyu problemleri yaşanabilmektedir. Bu problemlerin en önemli olanı, kıyı kuşağında yeraltı suyuna tuzlu/acı suların karışmasıdır. Ghyben-Herzberg ilkelerine göre, yeraltı suyu kullanımı belirli bir eşik değeri aşarsa yeraltı suyuna tuzlu/acı su girişi kaçınılmaz olur. Bu durum yeraltı suyunun emniyetli verim hesaplamalarını zorunlu kılar. Kıyı bölgelerindeki akiferlerin fiziksel özelliklerinin araştırılması, planlanması ve takip edilmesi yeraltı su rezervlerinin sürdürülebilir kullanımını sağlar.

Yarı kurak bir iklime sahip olan Van Gölü Kapalı Havzası'nın kuzeybatısında bulunan Ahlat ilçesindeki tarım alanları havzanın en önemli tarım alanlarından birini oluşturmaktadır. Son yıllarda ilçede tarım ürünü deseni değişmeye başlamıştır. Özellikle su ihtiyacı yüksek olan sebze ve şekerpancarı gibi tarım ürünlerinin ekiminde görülen artış, tarım alanlarında sulama suyu amaçlı kuyuların sayısının artmasına neden olmuştur. Plansız ve özellikle ruhsatsız pompajlarla yeraltı suyu kullanımının bir sonucu olarak Van Gölü'nün kıyı kesimlerinde tatlı su akiferlerinin tuzlanma riski artmaktadır. Bu durum, özellikle kıyı kesiminde zamanla önemli çevre sorunlarını da beraberinde getirecektir.

2. Araştırma Alanı

Bu çalışmada Ahlat ilçesinin Van Gölü kıyılarındaki yeraltı suları araştırılmıştır (Şekil 1). Sözü edilen alanın tamamına yakını tarım alanı olup, Van Gölü'nden ortalama yükseltisi 50 metredir. Van Gölü kıyısında bulunan çalışma alanı kıyı çizgisinden 3 km kadar içeride kalan yerleri, kuzey-güney yönünde 10 km uzunluğunda kapsamaktadır. Ortalama eğim %1,67 olup, yönü batıdan doğuya doğrudur. Bu durum arazinin drenaj şartlarını da belirlemiştir. Su örneklerinin çoğunun toplandığı alan, doğu-batı yönünde uzanan, 4-5 km genişliğinde ve oldukça yayvan bir topografik görünüme sahiptir. Araştırma sahasındaki yeraltı suları, Ahlat Tefra Grubu olarak adlandırılan (Macdonald vd., 2015) ve ağırlıklı olarak ignimbrit ile pomza katmanlarından oluşan akiferde yer alır. Kuyuların bulundu-



Şekil 1: Çalışma alanının lokasyon haritası.

Figure 1: Location of the study area.

ğu alanda Kuvaterner ve Pliyo-Kuvaterner piroklastik kayalar egemendir (Şekil 2). Nitekim çalışma alanındaki kaynak sularının Stiff diyagramları, suların riyolitik kökenli bir akiferden geldiğini göstermektedir. Alanın kuzeyinde Nazik Gölü'nün fazla sularını boşaltan Karmuç Çayı Van Gölü'ne dökülmektedir. Bu akarsuyun ağız kısmına yakın vadi içinde, Ahlat Belediyesi verilerine göre debisi yaklaşık $1 \text{ m}^3/\text{s}$ olan Çerho kaynak suyu bulunmaktadır. Çalışma alanında 2002 yılından sonra açılan çok sayıda kuyu aracılığıyla sulamalı tarım yaygın biçimde yapılmaya başlamıştır.

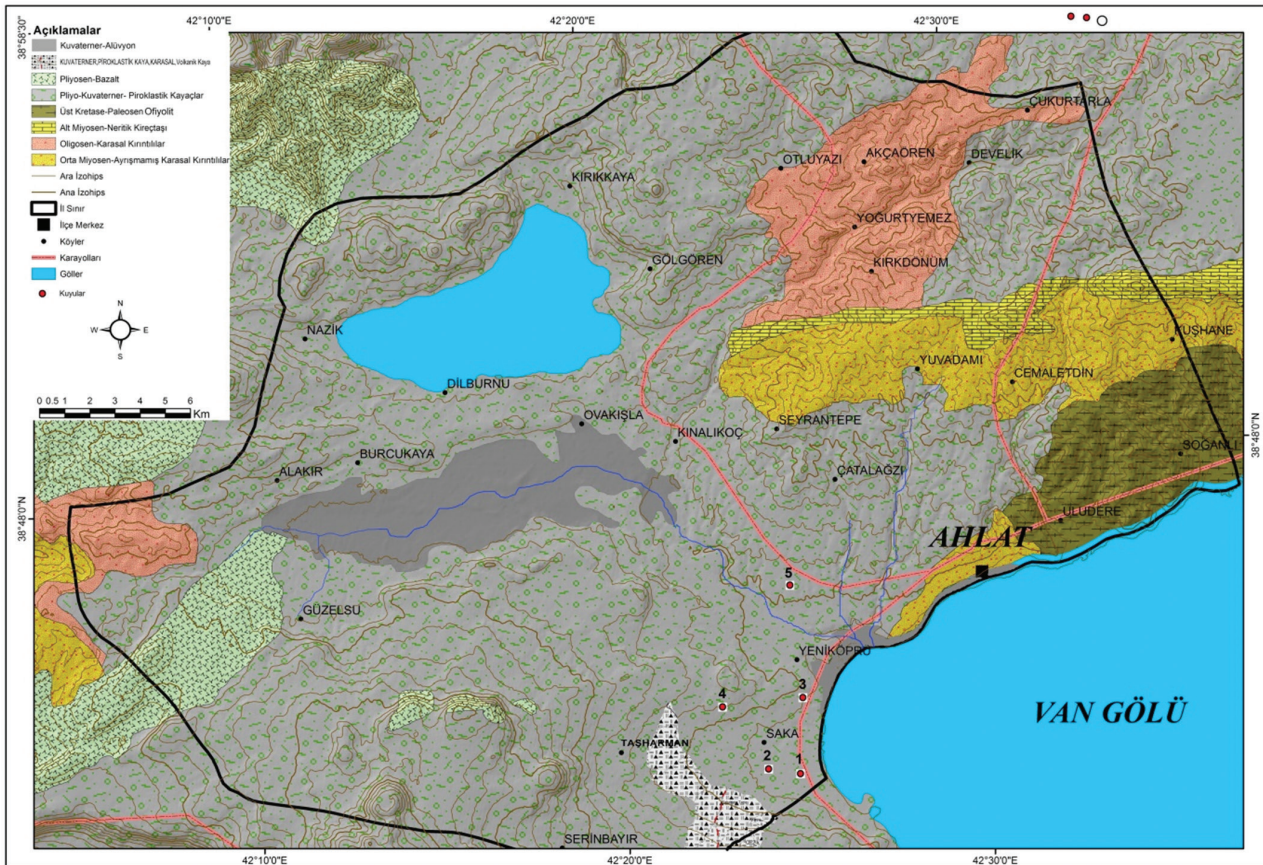
3. Materyal ve Yöntemler

Öncelikle, yeraltı suyunun kullanımı, insani tüketim/kullanım amaçlı su kriterleri ve kıyı (göl/deniz) bölgelerindeki tuzlu su girişi ile ilgili literatür taraması yapılarak erişilen bilgilerin ışığında arazi çalışmaları, analiz/değerlendirme yöntemleri ve haritalama yöntemleri planlanmıştır. Türkiye'de ve Dünya'da birçok bölge için yapılan benzer çalışmalarda su politikalarına yön verebilecek, iklim değişikliği uyum politikalarına altlık veri sağlayacak düzeyde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bunlara, Arslan ve Demir'in (2011) Bafra Ovası'nda yeraltı suyu kalitesinin deniz suyu girişi nedeniyle bozulduğunu gösterdikleri ve Golshan vd., (2018) Güney Hazar (İran) kıyı akiferinde dört ayrı yerde tuzlanmayı tespit ettikleri araştırmalar örnek verilebilir.

Van Gölü Elektrik Dağıtım A.Ş. (VEDAŞ) verilerine göre Ahlat'ta kayıtlı 557 kuyu bulunmaktadır. 30 km^2 lik çalışma alanını temsil edecek coğrafi verilerin üretilmesi için teknik olarak su örneği almaya uygun 5 kuyu belirlenmiştir (Şekil 2 ve Tablo 2). Yerel hidrolik eğimin ve yeraltı suyu akış yönünün belirlen-

mesi için Harran Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 17014 nolu proje raporunda yer alan, Ahlat genelini kapsayan yeraltı su seviyesi verileri kullanılmıştır. Su örnekleri, HÜBTAM prosedürlerine uygun olarak, 2017 yılı içerisinde Haziran ve Eylül aylarında seçilen kuyulardan alınmıştır. 20 Haziran ve 20 Eylül tarihleri sırasıyla, sulama sezonu öncesi ve sulama sezonu sonrası dönemler olarak belirlenmiştir. Bu tarihler çalışma alanının tarım takvimine göre belirlenmiştir. Su örneklerinin farklı dönemlerde alınmasının nedeni, su kimyasındaki olası değişimin tespit edilmesine yöneliktir. Alınan örneklerin fiziksel ve kimyasal analizleri HÜBTAM'a yaptırılmıştır. Su örneklerindeki majör iyon (anyon ve katyon) içeriklerinden klorür (Cl^-), SM 4500 Cl B; sülfat (SO_4^{2-}), SM 4500 SO_4 E; karbonat (CO_3^{2-}) ve bikarbonat (HCO_3^-), SM 2320 B; kalsiyum (Ca^{2+}), magnezyum (Mg^{2+}), sodyum (Na^+) ve potasyum (K^+) EPA 3051 A metoduyla belirlenmiştir (Tablo 1). Bu metotlar yüz yıldan uzun bir süredir sürekli güncellenerek geliştirilen, su laboratuvarları için akreditasyon kriterleri olarak kullanılan standart metotlar kabul edilir (Baird, R. and Bridgewater, L., 2017).

Arazi çalışmalarında kuyulardan örnek alındığı esnada suların fiziksel özelliklerine yönelik bazı ölçümler (pH, EC, sıcaklık ve TDS), kalibre edilmiş PH-80 HM Digital pH Metre ve COM-80 HM Digital TDS/EC Metre cihazlarıyla yapılmıştır. Farklı dönemlerde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında kuyulardaki su seviyesi de belirlenmiştir (Tablo 2). Böylece yeraltı su seviyesinin değişimiyle ilgili bilgilerden yola çıkarak su yetersizliğinin ortaya çıkabileceği potansiyel alanların belirlenmesi ve yeraltı suyunun araştırma alanı içindeki hareket doğrultularının belirlenmesi olanaklı olmuştur.



Şekil 2: Su örneklerinin alındığı kuyuların yer aldığı sahanın litolojisi.

Figure 2: Lithology of the sampling wells area.

Tablo 1. Su örneklerinde çözülmüş halde bulunan anyon ve katyonlar (meq/l).
Table 1. Anions and cations dissolved in the water samples (meq/l).

| Örnekler | Ca | Mg | Na+K | Cl | SO ₄ | HCO ₃ + CO ₃ |
|----------|-------|-------|--------|--------|-----------------|------------------------------------|
| 1.Kuyu | 0,29 | 0,24 | 7,55 | 3,23 | 0,29 | 6,76 |
| 2.Kuyu | 3,35 | 1,63 | 0,39 | 0,15 | 0,16 | 7,07 |
| 3.Kuyu | 4,47 | 1,79 | 1,08 | 0,44 | 1,53 | 6,14 |
| 4.Kuyu | 5,41 | 3,39 | 0,35 | 0,72 | 0,82 | 10,80 |
| 5.Kuyu | 1,13 | 0,87 | 0,45 | 0,08 | 0,13 | 2,93 |
| Van Gölü | 10,68 | 32,63 | 328,08 | 153,70 | 2,32 | 197,30 |

Yeraltı sularının tuzlulaşmasında birden çok faktör etkili olabilir. Fakat bunların en önemlisi kıyı akiferlerinden su çekme işlemidir. Akiferdeki tatlı su/tuzlu su ara kuşağının konumu ve bulunduğu derinlik hesaba katılmadan açılan derin sondaj kuyularından aşırı su çekimi gerçekleştiğinde, tatlı suyun altında bulunan tuzlu su kamasından kuyuya doğru tuzlu girişi başlayabilir. Akiferin geçirimsizlik ve beslenme şartlarına göre değişimle birlikte yeraltı suyunun tuzlanması önemli bir soruna dönüşebilir. Tuzlulaşmanın belirlenmesi birçok yöntemle mümkündür. Ahlat kıyı akiferindeki tuzlulaşma üç ayrı yöntemle değerlendirilmiştir:

3.1. Klorür Oranı

Cl⁻ korunumlu bir izleyici olarak düşünüldüğü için Cl⁻ yüzdesine göre karışım suyunda göl suyunun ve tatlı suyun katkıları oransal olarak belirlenebilmektedir. Yeraltı suyunun iyon değişim süreçleri, tuzlu suyun tatlı su ortamına girişi (intrusion) sırasında ya da önceden tuzlu suyla kaplanmış akiferin tatlı suyla yıkanması (freshening) sonucunda tuzlu sudan arınırken akifer içinde su kütleleri yer değiştirdiğinde (tuzlu/tatlı su ara kuşağı hareket halindeyken) ortaya çıkar. İyon değişim süreçleri esas olarak karışım suyunda gerçekleşir. İyon değişimiyle denge kurulduğunda, kapasite tükendiği için süreç durma noktasına gelir. Bir karışımındaki tatlı su ve tuzlu su yüzdeleri, Cl⁻ içeriğine göre aşağıdaki eşitlikle basitçe hesaplanabilir, çünkü Cl⁻ iyon değişiminden veya diğer modifikasyon işlemlerinden etkilenmez (Custodio, 1987):

$$Cl_m = x \cdot Cl_f + (1-x)Cl_s$$

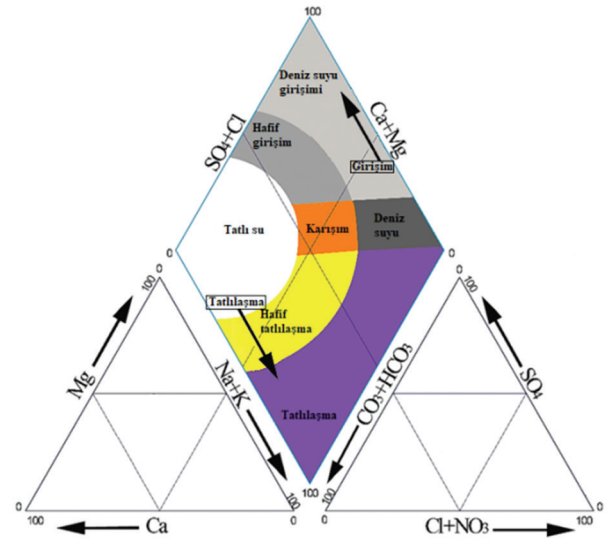
Eşitlikteki Cl_m; karışım suyundaki klorür konsantrasyonunu, Cl_f; orijinal tatlı sudaki klorür konsantrasyonunu, Cl_s; deniz suyu klorür konsantrasyonu (bu çalışma için Van Gölü suyunun klorür konsantrasyonu kullanıldı), x; karışım suyundaki tatlı su oranını ve 1-x; karışım suyundaki deniz suyunun (bu çalışma için karışımındaki Van Gölü suyunun) oranını gösterir. Eşitlik, meq/l birimi kullanılarak hesaplanır.

3.2. Piper Diyagramı

Deniz suyu ile yeraltı suyunun karışması dinamik bir süreç olup akifer dengesindeki mevsimsel ve yıllık değişimler yeraltı suyu kimyasında değişikliklere neden olmaktadır (Giménez-Forcada, 2014). Birbirinden farklı yeraltı su tiplerini tanımlamak ve sınıflandırmak, potansiyel karışım sularının belirlenmesinde önemli bir başlangıç çalışmasıdır. Su örneklerinin majör katyon ve anyon içerikleri kullanılarak Piper Diyagramı yardımıyla su tipleri belirlenebilir ve sınıflandırılabilir.

Piper Diyagramı (Piper, 1944), su örneklerindeki temel katyon ve anyon içeriklerinin (meq/l) oranlarına göre hazırlanır. Önce diyagramın alt kısmında bulunan eşkenar üçgenlere, bir tarafta katyon oranları diğer tarafta anyon oranları olacak şekilde, işlenir. Daha sonra bu üçgenlere işaretlenmiş noktalar, diyagramın üst kısmında bulunan paralelkenar şeklin üzerinde tek bir noktayla temsil edilecek şekilde aktarılır. Piper Diyagramı, su örneklerine ait kimyasal analiz verilerinin çizimsel gösteriminde en sık kullanılan tekniklerden bir tanesidir.

Piper diyagramında çizilen çoklu analizlerden dört temel sonuç çıkarılabilir. Bunlar su tipi, çökeltme veya çözünme, karışım ve iyon değişimidir (Custodio, 1987). Su örneklerinin diyagramın paralelkenar kısmındaki konumlarına göre hangi fasiyeste olduğu, akiferin tatlılaşma ya da tuzlulaşma evrelerinden hangisinde olduğu belirlenebilir (Şekil 3). Bu çalışmada Piper Diyagramı, su tipinin ve yeraltı suyunun hangi değişim evresinde olduğunun saptanmasında kullanılmıştır.



Şekil 3. Tuzlu su girişi ve tatlılaşma evrelerinin Piper Diyagramı üzerinde gösterimi (Kelly, 2005'e göre yeniden çizildi).

Figure 3. Representation of intrusion and freshening phases on Piper Diagram (redrawn according to Kelly, 2005).

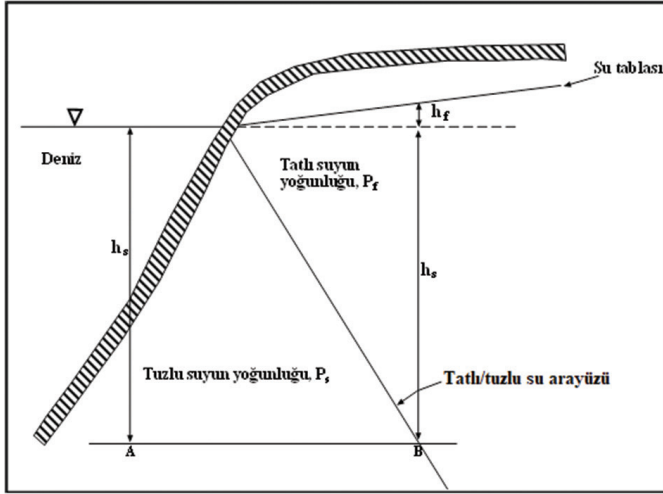
3.3. Ghyben-Herzberg Eşitliği

Çalışma alanındaki akiferler ile tuzlu/sodali göl suyu arasındaki hidrodinamik ilişki Ghyben-Herzberg yaklaşımına göre değerlendirilmiştir. Bu yaklaşıma göre kıyı akiferinde düşey olarak konumlanmış bulunan tatlı su/tuzlu su arayüzünün (Şekil 4), tatlı yeraltı suyu tablası ile deniz seviyesi arasındaki dik uzaklığın 40 katı kadar deniz seviyesinden aşağıda olduğu hesaplanmıştır (Drabbe and Badon Ghyben, 1889). Bu durum yoğunluk bakımından birbirinden farklı iki sıvı arasındaki hidrostatik dengeden ileri gelmektedir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$h_s = (P_f/P_s - P_f)h_f$$

Bu eşitlikteki h_s, kıyı akiferinde tatlı su/tuzlu su arayüzünün deniz seviyesinden itibaren ne kadar altta olduğunu göstermektedir. P_f, tatlı suyun yoğunluğunu; P_s, tuzlu suyun yoğunluğunu; h_f ise su tablasının deniz seviyesinden yüksekliğini ifade etmektedir (Şekil 4). Bu denklemde tatlı suyun yoğunluğu 1.000 g/ml, tuzlu suyun yoğunluğu da 1.025 g/ml kabul

edildiğinde h_s , $40h_f$ olarak elde edilir. Bu çalışma için Van Gölü suyunun yoğunluğu refraktometre testi sonucunda elde edilen 1.023 g/ml ve kıyı akiferindeki tatlı suyun yoğunluk değeri de 1.000 g/ml alınarak denklem yeniden oluşturuldu.



Şekil 4. Ghyben-Herzberg eşitliğine göre kıyı bölgelerindeki sıg akiferlerde tatlı su - tuzlu su ilişkisinin ideal kesiti [Todd, 1959'dan (Atalay, 1986'ya göre) yeniden çizildi.].

Figure 4. The ideal cross - section of the fresh water - salt water relationship in shallow aquifers in coastal areas according to the Ghyben - Herzberg equation [Todd, 1959 (redrawn according to Atalay, 1986)].

Yeraltı suyu verilerinin etkin bir biçimde alansal değerlendirilmesini yapmak amacı ile Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımlarından faydalanılmıştır. Çalışmada üretilen haritaların tümü ArcMap 10.4 yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Verilerin dağılımındaki uyumsuz/tutarsız desenleri en aza indirmek için yazılımdaki jeostatistik yöntemlerden Spline ve Kriging kullanılmıştır.

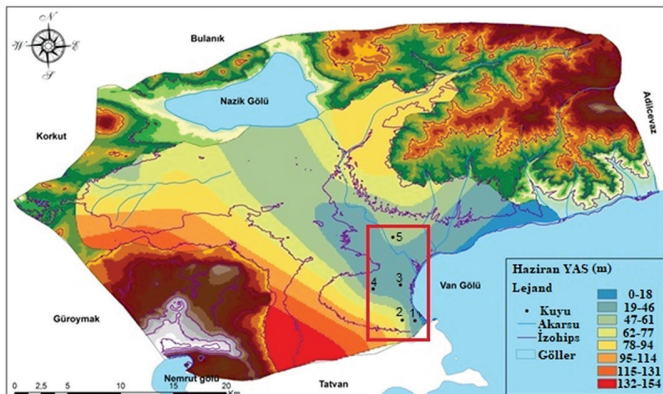
Tablo 2. Su örneği alınan kuyuların konumu, derinlikleri ve su seviyeleri.

Table 2. Location, depth and water level of the wells that water samples were taken.

| Kuyu No | Koordinatlar | Kuyu Ağzı Yük. (m) | Kuyu Derinliği (m) | Su Seviyesi I* (m) | Su Seviyesi II** (m) |
|---------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| 1 | 38° 40' 32" K - 42° 25' 37" D | 1680 | 100 | 1652 | 1652 |
| 2 | 38° 40' 35" K - 42° 24' 55" D | 1726 | 135 | 1662 | 1662 |
| 3 | 38° 42' 23" K - 42° 24' 50" D | 1668 | 55 | 1635 | 1657 |
| 4 | 38° 42' 11" K - 42° 23' 26" D | 1703 | 93 | 1663 | 1664 |
| 5 | 38° 44' 49" K - 42° 24' 26" D | 1730 | 80 | 1680 | ? |

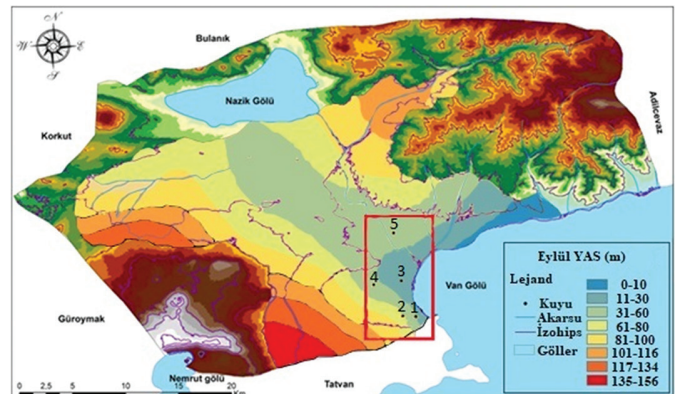
*20 Haziran 2017 ölçümü sonuçları (record result of June 20, 2017)

**20 Eylül 2017 ölçümü sonuçları (record result of September 20, 2017)



Şekil 5. Yeraltı Su Seviyesini Gösteren Harita (Haziran 2017).

Figure 5. Map showing groundwater level (June 2017).



Şekil 6. Yeraltı Su Seviyesini Gösteren Harita (Eylül 2017).

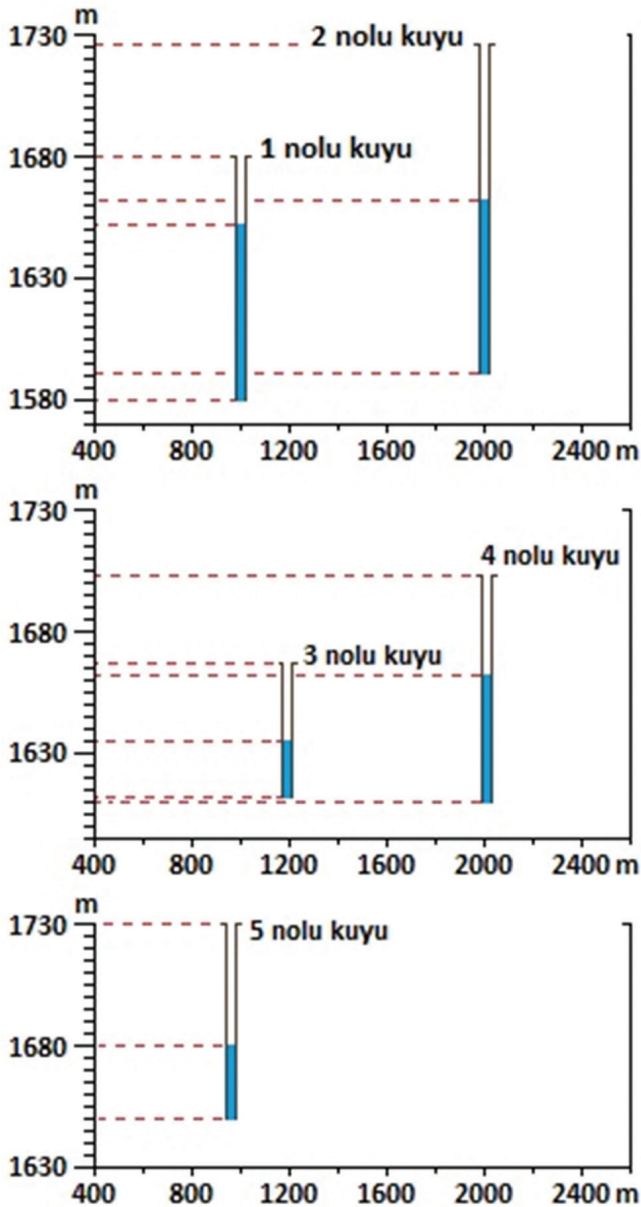
Figure 6. Map showing groundwater level (September 2017).

4. Bulgular

4.1. Yeraltı Suyu ve Kuyular

Ahlat ilçesinin Van Gölü kıyısı ve yakın çevresinde, yeraltı suyunun yoğun olarak kullanıldığı 1650 metre (Van Gölü kıyısı) ile 1750 metre arasındaki tarım alanlarında bulunan kuyulardan 5 tanesinin verileri kullanılarak yeraltı suyunun özellikleri belirlenmiştir. Bu çalışma için araştırılan kuyuların bulunduğu araziler, Ahlat'ın güney kısımlarında bulunan tarım alanlarını da içeren kıyı düzlüğüdür. Kuyuların ağız Van Gölü'nün yüzeyinden 18 metre ile 80 metre arasında değişen yüksekliklerde bulunmaktadır (Tablo 2 ve Şekil 7). Kuyular arasındaki yükseklik farkı ve yeraltı su seviyesi değişimleri, aynı akiferden beslenen kuyuların belirlenmesi için önemli ipuçları sağlamıştır. Kuyulardaki su seviyesi değişimleri, 3 ay arayla yapılan ölçümler sonucunda tespit edilmiştir.

Kuyuların derinliği 55 ile 135 metre arasında değişmektedir. Serbest akiferde bulunan yeraltı suyu seviyesini gösteren haritalar ve Tablo 2 incelendiğinde, hidrolik eğime uygun olarak yeraltı akışının yüksek kısımlardan alçak kısımlara (batıdan doğuya doğru) yöneldiği görülmektedir (Şekil 5 ve 6). Bu sürecin doğal bir sonucu olarak daha yüksek kısımlarda bulunan yeraltı suyu çalışma alanını da kapsayan alçak kısımlara hareket ederek yüksekte bulunan kuyularda su seviyesinin düşmesine neden olmuştur. İkinci arazi çalışmasının (sulama sezonu sonrası, 20 Eylül 2017) sonuçları da bu bilgilerle tutarlıdır. Yükseltinin daha az olduğu kısımlarda bulunan kuyuların su tüketimine rağmen yeraltı suyu seviyesinin değişmemesi hatta artması, yeraltı akışının hidrolik eğime göre gerçekleştiğini göstermektedir (Tablo 2 ve Şekil 6).



Şekil 7. Araştırılan kuyulardaki yeraltı suyu seviyesi (Haziran 2017).
Figure 7. Groundwater level in the wells surveyed (June 2017).

Seçilen kuyuların bağlı olduğu akiferin çalışma alanının dışında kalan kısımlarındaki yeraltı suyu seviye değerleri, Harran Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi 17014 nolu raporundan alınmıştır. Buna göre yeraltı akışı, batıdan doğuya doğrudur. Sulama sezonu sonunda yapılan ölçümler bunu doğrulamaktadır. Çalışma alanının bulunduğu alçak kısımlarında bulunan 1. ve 2. kuyularda seviye değişimi gözlenmemiştir. 3. ve 4. kuyularda, 3. kuyuda daha belirgin olmak üzere seviye artışı gözlenmiştir. 5. kuyuyla ilgili, teknik nedenlerle ikinci ölçüm gerçekleştirilemediği için seviye değişimi bilgisi bulunmamaktadır (Tablo 2).

4.2. Yeraltı Suyu Tipi Ve Kalitesinin Bozulması

1 no'lu kuyudan alınan örneğin kimyasının yerel tatlı yeraltı suyu temel kimyasından farklı olması, kuyu derinliğinin kıyı çizgisine yakın diğer kuyulardan görece fazla olmasına ve Van Gölü'ne oldukça yakın bir konumda bulunmasına bağlanabilir. Ghyben-Herzberg eşitliğine göre kıyadaki alçak düzlükte tatlı su/tuzlu su arayüzü, göl kıyısından uzak ve daha yüksekte yer

alan bir yere göre yüzeye daha yakındır. Dolayısıyla kıyıda tatlı suya erişmek için kuyu açılacağı zaman istenilen her derinliğe inilemez. Bu temel bulguların yanında, 1 no'lu kuyudan arazi çalışmaları sırasında su örneği alınırken su renginin klorür içeriğinden dolayı beyazımsı olduğu gözlemlenmiştir. Su örneklerinin kimyasal özelliklerinde iki ölçüm dönemi arasında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bu gözlem ve bulgular söz konusu kuyunun bağlı olduğu yeraltı suyunun Van Gölü suyundan etkilenmiş olabileceğini gösterir. Böyle bir olasılığın nesnel biçimde değerlendirilmesi için yukarıda, yöntemler bölümünde detayları anlatılan işlemler çalışma alanında yer alan kuyulardan alınan su örneklerine uygulanmıştır. Sadece 1 no'lu kuyunun su örneğinde Van Gölü suyundan etkilenme işaretleri anlamlı bulunmuştur.

4.2.1. Klorür oranı

Sudaki diğer temel iyonlara göre kimyasal bakımdan korunumlu olduğu için izlenecek iyi bir gösterge kabul edilen klorür içeriği, çalışma alanındaki tatlı sular için 3,79 mg/l; yeraltı suyu için 114,63 mg/l ve Van Gölü suyu için 5450 mg/l olarak alınmıştır. Bu klorür değerleri meq/l birimine dönüştürülerek eşitlik hesaplandığında, karışım suyunda (1 no'lu kuyuyla bağlantılı yeraltı suyu) göl suyu katkısının %3 civarında olduğu görülmüştür. Bu orana göre, göl suyunun yeraltı suyuna karışması henüz çok önemli düzeylere ulaşmamış olmakla birlikte karışımın gerçekleştiği söylenebilir. Aynı metodolojiyi kullanan bazı çalışmalarda bu orandan daha düşük oranlarda da karışımın gerçekleştiği kabul edilmiştir (Örn. Arslan, 2010; Kurttaş, 2002).

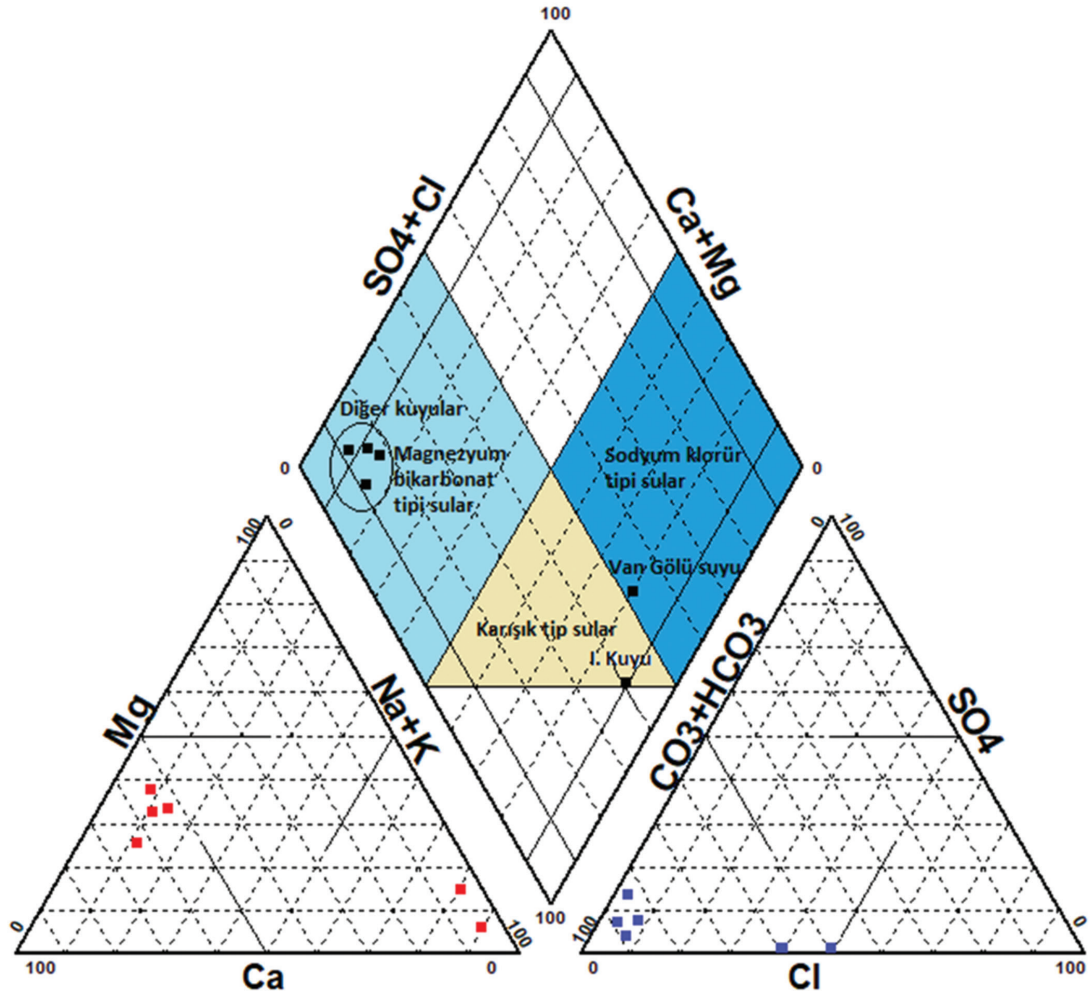
4.2.2. Piper Diyagramı'na göre su özellikleri

Yeraltı suyu örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre su tipleri Piper Diyagramı yardımıyla belirlenmiştir. Buna göre 1. kuyudan alınan su örneği karışık su tipi, diğer kuyulardan alınan sular magnezyum bikarbonat tipi (tatlı su) ve Van Gölü suyu da sodyum klorür tipi su olarak sınıflanmıştır (Şekil 8).

Yeraltı suyu örneğinin diyagramdaki konumuna göre tuzlu su girişiminin değil, doğrudan katyon değişiminin gerçekleştiği tatlılaşma evresinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, akiferin önceki dönemlerde tuzlu göl suyuyla kaplandığını göstermektedir. Çalışma alanında günümüze çok yakın zamana kadar yeraltı sularının kullanılmamış olması, akiferde tatlı su birikimini ve göle doğru ilerlemesini sağlamıştır. Böylece, kıyı akiferinde eskiden tuzlu suyla kaplı olan yerler, tedrici bir şekilde yerini tatlı suya bırakmıştır/bırakmaktadır. Son buzularası dönemden günümüze Van Gölü seviyesinin alçalmış olması (Görür vd., 2015), kıyı akiferinde yukarıda anlatılan süreçle tutarlıdır.

4.2.3. Ghyben-Herzberg eşitliğine göre akiferin hidrodinamik durumu

Diğer su kaynaklarının sınırlı olduğu kıyı bölgelerinde yeraltı sularının özellikle tarımsal amaçlarla aşırı kullanımı hem su hem toprak kalitesinin bozulmasına yol açar. Kıyıda, deniz/göl seviyesine yakın yeraltı suları kontrolsüz kullanılmaya devam edildiğinde akifer içindeki tatlı su tuzlu su arayüzü kuyuya doğru ters bir koni oluşturarak kuyu civarındaki suların kalitesini

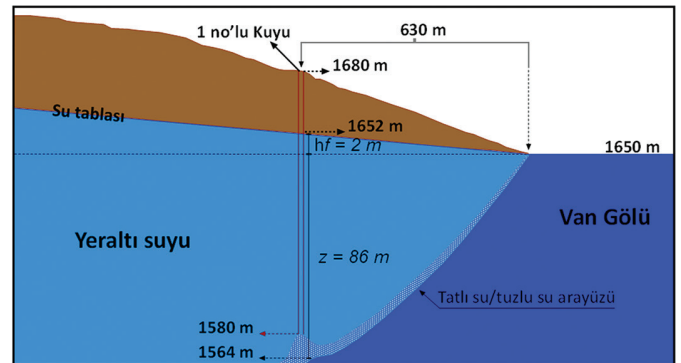


Şekil 8. Çalışma alanındaki su örneklerine ait Piper Diyagramı.
Figure 8. Piper Diagram of water samples in the study area.

bozar. Kuyuların derinlik limitlerinin önceden yapılacak çalışmalarla belirlenmesi, bu tür olumsuzluklara karşı bir önlem olarak düşünülebilir. Tatlı yeraltı suyunun ve onun altındaki tuzlu suyun yoğunluğu, su tablası ve göl seviyesi Ghyben-Herzberg eşitliğinde kullanılarak tatlı su tuzlu su arayüzünün kaç metre derinde olduğu belirlenebilir. Böylece bir kıyı akiferinde hangi derinliğe kadar güvenli su çekiminin yapılması gerektiği bilinir.

Yeraltı suyunun kimyasal özelliklerinin değiştiği tespit edilen bölgede bulunan 1 no'lu kuyunun Ghyben-Herzberg eşitliğinde kullanılacak parametreleri arazi çalışmaları ve suyun kimyasal analizinden elde edilen sonuçlara göre hesaplanmıştır. Buna göre su tablasının Van Gölü seviyesinden 2 metre yüksekte olduğu belirlenmiştir. Tatlı suyun ve Van Gölü suyunun yoğunlukları eşitlikte hesaplanarak z değeri 86 metre olarak bulunmuştur. Bu verilere göre 100 metre derinliğindeki kuyu tabanı ile tatlı su tuzlu su arayüzü arasında 16 metrelik mesafe olduğu görülmektedir (Şekil 9). Pompaj sonucunda akiferden aşırı su çekildiği için tatlı su tuzlu su arayüzünde oluşan ters koni, su karışım kuşağının kuyu tabanına doğru yaklaşmasını sağlamıştır. Klorür içeriğine göre yeraltı suundaki göl suyu

katkısının çok yüksek oranda olmaması, eski tuzlu akiferin tatlı suyla yıkanmakta olduğunu ya da su karışım kuşağının kuyu tabanına doğru yükselmekte olduğunu göstermektedir. Her iki durumda da tatlı yeraltı suyunun kimyası bozulmakta ve dolayısıyla insani kullanım amaçlarına uygun kriterlerden uzaklaştığı söylenebilir.



Şekil 9. 1 no'lu kuyu civarındaki yeraltı suyu ile göl suyu arasındaki mesafe ilişkileri (ölçeksiz).

Figure 9. Relations between groundwater and lake water around the 1st well (not to scale).

4.2.4. Diğer bulgular

Bilindiği üzere Van Gölü, önemli sodalı-tuzlu göllerden biridir. Bu özelliğinden dolayı göl suyu ile ilgili ulusal ve uluslararası birçok bilimsel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan yöntemlerin yanında, Ahlat-Tatvan kıyılarında Van Gölü sularının fiziksel ve kimyasal özellikleriyle ilgili daha önceden yapılan araştırmaların bulgularından da faydalanılmıştır.

Çalışma sahasında bulunan tarım arazilerindeki kuyulardan alınan su örneklerinin kimyasal analizi ve yüzey drenajı, yeraltı suyunun doğal bileşiminin değiştiği yerlerin belirlenmesine önemli katkılar sağlamıştır. Araştırmanın yapıldığı dönem yaz mevsimini kapsadığı için bu mevsimde daha önce göl suyu ile ilgili yapılan çalışmalarda elde edilen bulgular dikkate alınmıştır. Çalışma alanı olan Ahlat kıyıları da kapsayan önceki çalışmalarda yaz mevsimi için gölün 0 - 30 metre arasındaki yüzey sularının 20°-25°C, 30-350 metre arasındaki suların ise 3°-5°C olduğu saptanmıştır (Kempe vd., 1978). Akiferlerin doğal jeolojik ortamında termal difüzyon ve hidrolik iletkenlik, yeraltı sularının sıcaklığını değiştirebilen faktörlerdir (Dong vd., 2018). Bu nedenle kıyıya yakın sığ göl sularının yaz mevsimi sıcaklığı, kıyıya yakın yeraltı suyunun sıcaklığını etkileme potansiyeli vardır. Bu hipotezi doğrulayacak nitelikteki bulgulara ulaşılmıştır. Ahlat-Tatvan ilçe sınırında ve Van Gölü kıyısına yakın 1. kuyunun su sıcaklığının hem Haziran 2017 hem de Eylül 2017'de diğer tüm kuyulardan 3-4°C daha yüksek ve 15°C civarında olduğu saptanmıştır.

Ahlat ilçe merkezinden Tatvan ilçe sınırına kadar olan kıyı kuşağında sadece en güneyde (Ahlat-Tatvan ilçe sınırı civarında) tatlı yeraltı suyu kimyasının değişip diğer kıyı kısımlarında değişmemesi dikkat çekicidir. Bu durum, yeraltı sularının karışım emaresi göstermediği kıyı kuşağında Karmuç Çayı'nın ve Çerho kaynak suyunun göl kıyısına yıl boyunca bol miktarda tatlı su getirmesiyle ilgili olmalıdır. Kıyıya ulaşan tatlı yüzey suları, karayolunun batı kenarı boyunca göllenerek tuzlu/sodali göl sularının yeraltı suyuna doğru ilerlemesini önlemiş olmalıdır.

Van Gölü suyu pH değerinin yaz aylarında, Ahlat-Tatvan kıyıları için yüzeye yakın sularda 9,4 civarında olduğu rapor edilmiştir (Kempe vd., 1978). Günümüze yakın yapılmış başka çalışmalarda da genel olarak göl suyunun pH değerinin 9'un üstünde olduğu belirtilmiştir (Öztürk, 2004). Nitekim bu çalışma için yapılan testlerde göl suyu pH değeri 9,6 olarak bulunmuştur. Yeraltı suyu ile göl suyu arasında etkileşim olduğu belirlenen kısımlardaki kuyu sularında her iki dönemde de diğer tüm kuyulardan daha yüksek pH değerleri gözlenmiştir. Bu kısımlarda bulunan 1. kuyudaki suyun pH değeri 9,52' dir.

Van Gölü suları, hem sodalı hem de %23 oranında tuzludur (Tomonaga ve diğ., 2017). Tuzluluk arttıkça elektriksel iletkenliğin (EC) arttığı bilinen bir gerçektir. Her iki dönemde de yapılan EC ölçümleri içinde en yüksek değer (0,322 ds/m) 1. kuyudan elde edilmiştir.

Çalışma alanındaki yeraltı suları için hesaplanan Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) ve sodyum %'si (%Na) de önemli ipuçları sağlamaktadır. Yeraltı suyu ile karıştığı düşünülen göl suyunun kimyasal bileşiminden kaynaklanan etkilerle ilgili aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır: Tuzluluk göstergesi olarak SAR değerleri

ve %Na 1. kuyu civarında, diğer kısımlarından oldukça yüksektir. Bu kuyu civarında SAR değerleri, ölçüm yapılan dönemlerde 17,8 ile 23,8 arasında değişmektedir. %Na ise aynı kuyu civarında ve aynı dönemde 94-95 düzeyindedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Yukarda yeraltı suyu ile ilgili anlatılan tüm fiziksel ve kimyasal bulgular bir arada değerlendirildiğinde, Saka Köyü sınırları içinde, 1. kuyu civarında, yeraltı suyu kalitesinin bozulduğu anlaşılmaktadır. Bu kısımlarda göl suyu ile tatlı yeraltı suyunun karıştığı sonucuna ulaşılmıştır. Kıyı kuşağında, debisi oldukça yüksek olan Çerho kaynak suyu ve Karmuç Çayı'nın getirdiği tatlı suların yüzeyde göllenerek göl kıyısına yakın geniş bir alanda göl suyu girişini engellediği düşünülmektedir. Göl sularının yeraltı sularına karışmasını kolaylaştıran diğer bir faktör de 1. kuyunun derinliğinin fazla olmasıdır (100 m) olmasıdır. Kuyu derinliğinin önem kazanması, kuyunun dip kısımlarında pompaja bağlı olarak oluşan ters koni nedeniyle tuzlu yeraltı suyunun tatlı yeraltı suyu içine doğru çekilmesiyle ilgilidir. Aynı kıyı kuşağında bulunan ve 55 metre derinlikte olan 3 nolu kuyu civarında tuzlanma sorunu olmaması, emniyetli verim kurallarının ihlal edilmediğini göstermektedir.

Araştırma alanının alçak kısımlarını oluşturan kıyı kuşağında yeraltı suları, göl suyunun etkisinden kurtulabilecek doğal avantajlara sahiptir. Yeraltı suyu kalitesinin göl sularından dolayı bozulduğu alanlar, yerel yeraltı su akışının yöneldiği tarafta bulunmaktadır. Bu avantaj, düşük maliyetli planlamalarla kullanılabilir. Yeraltı su kalitesi bozulmuş arazilerdeki derin kuyular iptal edilerek yeraltı suyunun pasif ıslah süreci başlatılmalıdır. Daha sonra tatlı yeraltı suyu ile tuzlu-sodali yeraltı suyu arasındaki seviye ve mesafe ilişkileri tüm kıyı akiferi için belirlenmelidir. Yeterli sıklıkta bir gözlem kuyuları ağı, bu çalışmayla saptanan yeraltı su kalitesi bozulmuş 1 no'lu kuyu merkez alınarak oluşturulmalıdır. Böylece gözlem ağından toplanacak verilerle yeraltı su kalitesi ve potansiyeli sürekli takip edilebilecektir. Emniyetli verim sınır değerlerinin hesaplanarak, izin verilecek kuyu derinliği de bu gözlem ağından alınacak bilgilerle belirlenmiş olacaktır. Yeraltı suyu ıslah edildikten sonra izlenecek bu arazilerde tarımsal üretim güvenliği ve sürdürülebilir sulamalı tarım temin edilecektir. Bu konuda kamu ve arazi sahiplerinin işbirliği düzeyi sorunun çözülmesinde belirleyici olacaktır. Nazik Gölü sulama kanallarının sözü edilen bölgeye ulaştırılmış olması da önemli bir avantajdır. Çünkü ıslah sürecinde su yetersizliğinden kaynaklanacak tarımsal üretim kayıpları, kanallarla taşınan suyla telafi edilebilir.

Katkı Belirtme

Bu çalışma, Harran Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi (HÜ-BAP) tarafından desteklenen "Van Gölü Havzası'ndaki Yeraltı Sularına Van Gölü Suyunun Etkisi ve Yeraltı Sularının Tarımsal Sulama Açısından Değerlendirilmesi: Ahlat İlçesi Örneği" isimli ve 17014 numaralı projeden üretilmiştir.

Kaynakça

- Arslan, H. (2010). *Bafra Ovasında Deniz Suyu Girişiminin Belirlenmesi ve Su-Toprak Kaynakları Üzerine Etkisi*. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Atalay, İ. (1986). *Uygulamalı Hidrografya*. Ege Üniv. Edebiyat Fakültesi Yay. No: 38, İzmir.
- Baird, R., & Bridgewater, L. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23rd edition. Washington, D.C.: American Public Health Association.
- Custodio, E. (1987). *Groundwater problems in coastal areas*. Published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 7, place de Fontenoy, 75700 Paris. Printed by Imprimerie Bietlot Frères, Fleurus, Belgique ISBN 92-3-10241 5-9.
- Dong, L., Fu, C., Liu, J. and Wang, Y. (2018). Disturbances of Temperature-Depth Profiles by Surface Warming and Groundwater Flow Convection in Kumamoto Plain, Japan. *Hindawi Geofluids* Volume 2018, Article ID 8451276, <https://doi.org/10.1155/2018/8451276>
- Drabbe, J. and Badon Ghyben, W. (1889). Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij Amsterdam (Notes on the probable results of the proposed well drilling near Amsterdam). *Tijdschrift van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs* 8–22.
- Essink, G.O. (2001). Improving fresh groundwater supply—problems and solutions. *Ocean & Coastal Management* Volume 44, Issues 5-6, Pages 429-449.
- Giménez-Forcada, E. (2014). Space/time development of seawater intrusion: a study case in Vinaroz coastal plain (Eastern Spain) using HFE-Diagram, and spatial distribution of hydrochemical facies. *Journal of Hydrology* 517, 617–627.
- Görür, N., Çağatay, M.N., Zabcı, C., Sakınç, M., Akkök, R., Şile, H. ve Örcen, S. (2015). Van Gölü'nün Geç Kuvaterner Tektono-Stratigrafik Evrimi. *MTA Dergisi* 151: 1-47.
- Kelly, F. (2005). Seawater Intrusion Topic Paper. Island Country Health Department. (<https://fortress.wa.gov/ecy/publications/documents/1203271.pdf>) Son erişim 20 Ekim 2019.
- Kempe, S., Khoo F. ve Gürleyik Y. (1978). Hydrography of Lake Van, The Geology of Lake Van, E. T. Degens and F. Kutman Eds, *MTA Yayınları*, No: 169 s.30 -43, Ankara.
- Kurttaş, T. (2002). Karışım Sularında Kökensele Katkıların Belirlenmesi. *Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*. DSİ Genel Müdürlüğü, Adana.
- Liu, J., Dorjderem, A., Fu, J., Lei, X., Lui, H., Macer, D., Qiao, Q., Sun, A., Tachiyama, K., Yu, L., Zheng, Y. (2011). Water ethics and water resource management. *Ethics and Climate Change in Asia and the Pacific (ECCAP) Project, Working Group 14 Report*. UNESCO Bangkok.
- Macdonald, R., Sumita, M., Schmincke, H-U., Bagiński, B., White, J.C., Ilnicki, S.S. (2015). Peralkaline felsic magmatism at the Nemrut volcano, Turkey: impact of volcanism on the evolution of Lake Van (Anatolia) IV. *Contrib Mineral Petrol* (2015) 169:34 DOI 10.1007/s00410-015-1127-6, Springer,
- Öztürk, H. (2004). Van Gölü Bahar Dönemi Hidrografisi ve Göl Suyu Homojenizasyonuna Ait Bulgular, *Ulusal Su Günleri Sempozyumu*, 16-18 Mayıs 2004, ss.205-219, İstanbul.
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Transactions, American Geophysical Union* Volume 25, Issue 6, p. 914-928.
- Tomonaga, Y., Bernnwald, M.S., Livingstone, D.M., Kwieciën, O., Randlett, M.É., Stockhecke, M., Unwin, K., Anselmetti, F.S., Beer, J., Haug, G.H., Schubert, C.J., Sturm, M. and Kipfer, R. (2017). Porewater salinity reveals past lake-level changes in Lake Van, the Earth's largest soda lake. Available at: <https://www.nature.com/articles/s41598-017-00371-w>. *Scientific Reports* 7, Article number: 313 (2017).
- World Health Organization (2004). Guidelines for drinking water quality, Vol. 1. Recommendations (3rd edn). *World Health Organization*, Geneva.