

Tavşanlı (Kütahya) ovasının hidrojeolojik ve su kimyası açısından incelenmesi

Hydrogeological and water chemistry investigation of Tavşanlı (Kütahya) plain

Şehnaz ŞENER^{1*}, Murat KARAKUŞ¹

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
sehnazsener@sdu.edu.tr, muraat_22@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 26.02.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 27.04.2016
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2016.74508
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Bu çalışmada, Tavşanlı (Kütahya) çevresinin jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Çalışma alanında Paleozoyik-Kuvaterner zaman aralığında farklı yaş ve litolojiye sahip kaya birimleri yüzeylenmektedir. Bölgede en önemli yüzey suyu Orhaneli çayı, yeraltı suyu rezervuarları ise alüvyon, kireçtaşı ve tuf birimleridir. Bölgede yeraltı suyu seviyesi 1.5 m ile 25 m arasında değişmekte olup yeraltı suyu akımının ovanın doğusunda batıya doğru, ovanın güneyinde ise kuzeydoğuya doğru olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla, yüzey suyu ve yeraltı suyu örneklerinin hidrojeokimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölgedeki su kaynakları, Ca-Mg-HCO₃, Mg-HCO₃ ve Na-HCO₃'lü sular fasiyesinde yer almaktadır.

Anahtar kelimeler: Tavşanlı ovası, Hidrojeoloji, Su kimyası

Abstract

In this study, geological, hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of the Tavşanlı (Kütahya) and its surroundings were investigated in detail. The rock units are observed with different age and lithology in the Paleozoic-Quaternary periods of time in the study area. The most important surface water and groundwater reservoirs are Orhaneli river and alluvium, limestone and tuff units, respectively. In the region groundwater level ranges from 1.5 m to 25 m. While groundwater flow direction is towards the west in the east of the plain; it is towards the northeast in the southern part of the plain. In order to determine hydrogeochemical features of the water resources, hydrochemical analyses of the surface water and groundwater samples were performed. According to the obtained results, water resources are Ca-Mg-HCO₃, Mg-HCO₃ and Na-HCO₃ facies.

Keywords: Tavşanlı plain, Hydrogeology, Water chemistry

1 Giriş

Tüm canlı yaşamının en temel gereksinimlerinden biri olan su hayatın devamı için önemli bir ihtiyaçtır. İnsan nüfusunun artmasına paralel olarak gelişen plansız ve hızlı kentleşme, sanayi kuruluşlarının artması, madencilik faaliyetlerinin hız kazanması gibi sebepler mevcut su kaynaklarını olumsuz etkilemiştir. Tüm bu faktörlerin yanında küresel ısınma sebebiyle başlayan kuraklık, kullanılabilir su kaynakları için bir başka tehdit olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu olumsuz koşullarla fiziksel etkileşim içinde olan ve içme - kullanma suyu temini için birincil kaynak olarak tercih edilen yüzey sularında yapılan izleme çalışmaları su kalitelerinin her geçen gün daha da bozulduğunu ve birçoğunun kullanılamaz duruma geldiğini ortaya koymaktadır [1]-[4].

İnsanoğlunun yarattığı olumsuz koşullar nedeniyle kullanılabilirliğini yitiren yüzey sularının en önemli alternatifi ise yeraltısularıdır. Temiz içme ve kullanma suyu ihtiyacı, insanları yeraltı sularına yöneltmiştir. Yeraltısularına yönelik artan ilgi, aşırı çekim sonucu koruma kullanma dengesinin bozulmasına neden olmakta, insan faaliyetleri ve doğal kökenli kirlilik riskleri de bu kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit etmektedir. Su kalitesi mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanımında en önemli özelliklerinden birisidir. Yeraltısularının kalitesini tehdit eden çok sayıda noktasal ve yayılı kirleticiler bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları ağır metaller, organik kimyasallar, pestisit ve gübrelerdir. Birçok atık deşarjları ve bunlara bağlı olarak oluşan kimyasal reaksiyonlar doymamış bölge içerisinde süzülerek yeraltısuyu

kalitesini etkilemekte ve ciddi boyutta kirliliğe sebep olmaktadır [5].

Yeraltısularını diğer yeraltı zenginliklerinden ayıran en önemli özelliği ise kendini yenileyebilir olmasıdır. Ancak mevcut yeraltısuyu kaynakları ihtiyaç duyulan su talebini yeterli şekilde karşılayamamaktadır. Bu durum mevcut su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımına yönelik olarak yapılması gereken hidrojeolojik ve hidrojeolojik çalışmaların önemini daha bir artırmaktadır. Çalışma alanını oluşturan Tavşanlı (Kütahya) ovası önemli bir yeraltısuyu rezervuarına ev sahipliği yapmakta olup bölgede bulunan metalik maden yatakları, zengin linyit sahaları ve uzun yıllardan beri faaliyet gösteren maden işletmelerinin yüzey suyu ve yeraltısuları üzerindeki etkileri bilinmemektedir.

Bu çalışmada Tavşanlı ovası ve çevresinin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri değerlendirilerek çalışma alanındaki yüzey suyu ve yeraltı sularının mevcut durumdaki kimyasal özelliklerinin farklı diyagramlar kullanılarak ortaya koyulması amaçlanmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı Kütahya ilinin 51 km kuzeybatısında bulunan Tavşanlı ilçesi ve çevresinde, yaklaşık 690 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). Çalışma alanı Ege ve Marmara Bölgeleri'nin birleştiği bir konumda, 1/25 000 ölçekli Kütahya I22-c3, I23-d3 ve d4, J22-b2, J23-a1 ve a2 No.lu paftaları içerisinde yer almaktadır.

Tavşanlı ilçesine bağlı 7 belde ve 94 köy bulunmakta olup toplam nüfusu 2015 yılına göre 102.141 kişidir. Tavşanlı'nın ana geçim kaynağı maden işletmeciliğidir. Ancak ikincil olarak tarım ve hayvancılık da yapılmaktadır. Türkiye'nin en zengin linyit yataklarına sahip olan bölgede çok sayıda özel kömür ve

manyezit ocakları ilçe ekonomisine katkı sağlamaktadır. Çalışma alanı İç Anadolu ile Ege Bölgesi arasında kaldığından karasal iklim ile ılımlı iklimin geçiş özelliklerine sahip bir iklim türü gözlenmektedir.



Şekil 1: Çalışma alanının yer bulduru haritası.

2.2 Yöntem

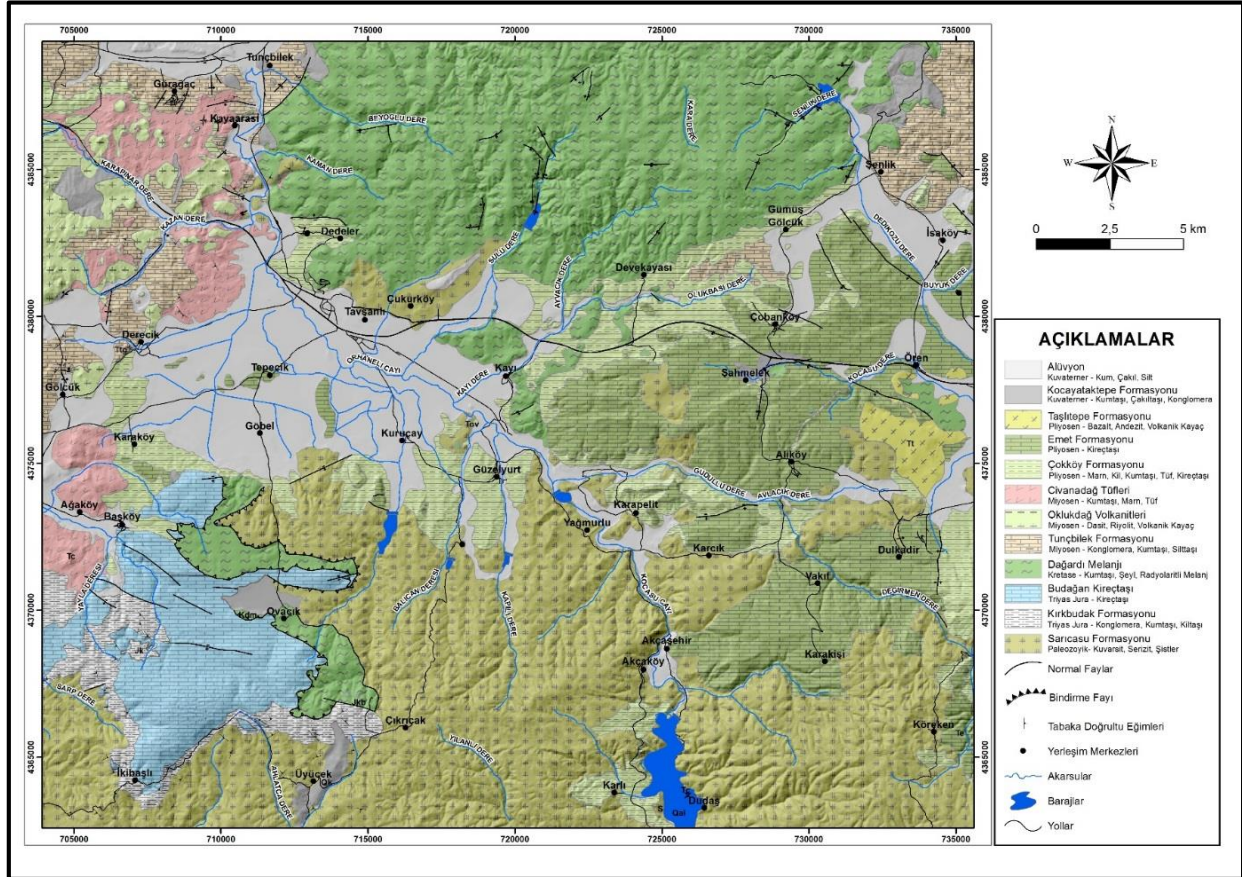
Çalışma alanının jeolojisini incelemek amacıyla 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak çalışma alanının sınırları belirlenmiştir. Çalışma alanı sınırları içerisinde kalan alanın 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası bölgede daha önceden yapılmış jeolojik çalışmalar ayrıntılı olarak incelenerek ve arazi gözlemlerinden yararlanılarak hazırlanmıştır. Jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek hidrojeoloji haritası hazırlanmış ve alandaki akifer birimler tanımlanmıştır. Çalışma alanının yeraltısuyu seviyesi ve akım yönünün belirlenmesi için yapılan statik seviye ölçümleri Nisan 2015 döneminde DSİ 3. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış olan sondaj kuyularında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak bölgenin yeraltısuyu seviye haritaları hazırlanmıştır. Çalışma alanındaki yüzey suyu ve yeraltısularının kimyasal özelliklerini belirleyebilmek için Nisan (2015) döneminde su örnekleri alınmıştır. Su örnekleri alınırken sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Örneklerin yerinde analizleri Elmetron CX-401 ve YSI Professional Plus marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiş ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) değerleri belirlenmiştir. Örneklerin kimyasal analizleri ise ACME laboratuvarlarında (Kanada) ve SDÜ Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında yaptırılmıştır. ACME laboratuvarlarında su örnekleri Grup 2C kapsamında, analiz

edilmiştir. Söz konusu laboratuvarlarda katyon ve iz element içeriklerinin belirlenmesinde ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) analiz tekniği kullanılmaktadır. SDÜ Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında Cl⁻, SO₄, NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺ analizleri Merck-Spectroquant Nova 60 cihazı kullanılarak spektrofotometrik yöntem ile, CO₃ ve HCO₃⁻ analizleri ise Merck-Aquamerck test kitleri kullanılarak titrimetrik yöntem ile yapılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarından yararlanılarak yüzey suyu ve yeraltısularının iyon özelliklerinin tanımlanmasında, genel kimyasal özellikler değerlendirilmiş ve farklı hidrojeokimyasal diyagramlar [6]-[8] kullanılarak yorumlamaları yapılmıştır.

3 Bulgular ve tartışma

3.1 Çalışma alanının jeolojisi

Çalışma alanın 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası arazi ve literatür çalışmaları sonucunda hazırlanmış ve Şekil 2'de sunulmuştur. Çalışma alanı ve yakın çevresinin temelini oluşturan en yaşlı birim Paleozoyik yaşlı Sarıcasu Formasyonudur. Temel kayayı oluşturan metamorfik birimlerin üzerinde Mesozoyik yaşlı Kırkbudak Formasyonu, Budağan Kireçtaşları ve bu birimler üzerine bindirmeli dokanak ile yerleşen Dağardı Melanjı yer almaktadır. Mesozoyik birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelen Senozoyik birimler sırası ile Miyosen yaşlı Tunçbilek Formasyonu, Okludag ve Civandağı Tüfleridir.



Şekil 2: Çalışma alanının jeoloji haritası (Arazi çalışmaları yanı sıra MTA, 1962; 1983; 1986; 1987 [9]-[12] tarafından yapılan çalışmalardan yararlanılarak hazırlanmıştır.

Serinin devamında ise Pliyosen yaşlı Karaköy Volkanitleri, Çökköy Formasyonu ve Emet Formasyonu'na ait gösel kireçtaşı birimi ile Taşlıtepe Formasyonu'na ait bazalt birimi yüzeylenmektedir. Tüm bu birimlerin üzerinde örtü birimleri olarak Kuvaterner yaşlı Kocayataktepe Formasyonu'na ait tutturulmamış kaba kırıntılılar ile alüvyon bulunmaktadır.

Sarıcasu Formasyonu, granatlı mika-şist, kuvars-şist ve metavolkanik kayalardan oluşmaktadır. Tavşanlı Ovasının güneyinde oldukça geniş yayılıma sahip olan birim Göbel ve Kuruçay yerleşim yerlerinden güneye doğru gidildikçe mostra vermeye başlamaktadır. Formasyon içerisinde genel olarak kirli beyaz, bej ve yeşilin değişik tonlarında renkler sunan muskovit-kuvars şist, muskovit-albit-kuvars-şist ve klorit-muskovit-albit şistler ve yer yer mercekler halinde kireçtaşı blokları gözlenmektedir. Formasyon içerisinde türü tayin edilemeyecek derecede kristalize olmuş krinoid ve alg parçaları dışında herhangi bir fosile rastlanmamaktadır. Birimin yaşı bölgesel denetimde Paleozoyik olarak kabul edilmektedir [13]. Sarıcasu formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelen Kırkbudak Formasyonu, kahve, boz yeşilimsi, kirli krem, gri renkli konglomera, kumtaşı, silttaşı ve kiltası araldanmasından oluşmaktadır. Formasyon içerisinde gelişmiş olan skarn zonunun ana minerallerinin granat, kalsit, piroksen ve epidot olduğu, ayrıca zonda manyetit, hematit gibi opak minerallerin varlığı saptanmıştır [14]. Ancak, bölgede skarn zonu ve sedimanter birimler yoğun tektonik deformasyona maruz kalmışlardır. Yapılan stratigrafik çalışmalar sonucunda birimin yaşı Triyas-Jura olarak verilmektedir [13].

Kırkbudak formasyonu üzerinde genel olarak karbonat kayalardan oluşmuş olan birim Budağan Kireçtaşı olarak adlandırılmıştır [15]. Çalışma alanının güneybatısında Budağan Dağı ve çevresinde gözlenen birim kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı seviyelerinden oluşmuştur ve karstik boşluklar içermektedir. Kirli beyaz, açık gri, bejimsi, koyu gri ve siyaha yakın renklerde olan karbonatlar yersel oolitik ve sakkaroyid dokuludur. Birimin fosil içeriğine göre Üst Triyas-Maestrihtiyen yaşlı olduğu belirlenmiştir [13]. Çalışma alanının güneybatısında ve kuzeyinde oldukça geniş alanlarda yüzeylenmekte olan ve Budağan Kireçtaşlarını, tektonik olarak üzerleyen ofiyolitik melanaj Dağardı Melanjı olarak adlandırılmıştır [13]. Birim başlıca radyolarit, mafik-ultramafik kayalar, şist ve kireçtaşı blokları, yer yer kumtaşı-grovak-şeyl, kumlu kalker, şist, tüfit ve konglomera birimleri içermekte olan bir karmaşık özelliği sunmakta olup yaşı stratigrafi ilişkilerine göre Maestrihtiyen sonu, Eosen başıdır [13].

Miyosen yaşlı konglomera, kumtaşı, silttaşı ve yer yer kömür bantları içeren Tunçbilek Formasyonu ise Dağardı Melanjı'nın üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Tunçbilek Formasyonu alttan üste doğru başlıca; silttaşı araseviyeli kiltası, çamurtaşı, kiltası arakatlı tüfit, karbonat içeriği yüksek kiltası, kil, koyu kahve alt linyit, marn, üst linyit ve bitümlü marnlar ile temsil edilmektedir [16]. Tunçbilek formasyonu üzerine gelen Orta-Üst Miyosen yaşlı Oklukdağ Volkanitleri ile Civandağı Tüfleri ile dereceli geçişli olup birimin yaşı polen, yaprak ve ostrakot fosil verilerine göre Orta-Üst Miyosen olarak belirlenmiştir [10].

Çalışma alanının batısında gözlenen Civandağı Tüfleri, sarımsı, pembe, gri, beyaz renkli olup yeryer Neojen öncesi birimlere ait çakıllar ile kendisiyle yanal ve düşey geçiş gösteren riyolitik-dasitik kayaç parçaları içermektedir [12]. Genelde kül ve tuf tane boyutunda iken kimi yerde lapilli boyutlu pomza parçaları gözlenen birim içerisinde üste doğru volkanik kayaç parçaları

olağandır [11]. Çoğunlukla masif bir yığılım şeklinde gözlenen birim içerisinde yer yer kil, kireçtaşı ve konglomera ara düzeyleri gözlenmektedir. Civandağı Tüfleri, Tunçbilek Formasyonu üzerinde, Oklukdağ Volkanitleri ile yanal ve düşey geçiş göstermektedir. Yapılan çalışmalara göre fosil bulundurmeyen birimin yaşı Orta-Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir [11],[12]. Oklukdağ volkanitleri açık-koyu gri, pembemsi, sarımsı renklerde dasit-riyolit bileşimli kayalardan oluşmaktadır ve sahadaki görünüşleri genelde dom, seyrek olarak dayklar şeklindedir. Koyu renkli minerallerden başta biyotit olmak üzere hornblend, bazen klinopiroksen ve ender olarak ortopiroksen ile açık renkli minerallerden plajiyoklas, ortoklas ve kuvars içermektedir. Birimin yaşı Orta-Üst Miyosen olarak kabul edilmiştir [11],[12].

Marn, kil, kumtaşı, konglomera, tüf, tüfit ve yer yer kireçtaşı ara düzeyleri içeren Pliyosen yaşlı Çökköy Formasyonu ise volkanik kaya birimleri üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Birimin en alt seviyelerinde tüfler hakim iken orta kesimlerde marnlar ve üste doğru kireçtaşları hakim duruma geçmektedir [16]. Litolojiler arası yanal ve düşey geçişler yaygın olup arada çört tabaka ve mercekleri olağandır [12]. Kalınlığı bazen 200 m'ye ulaşan Çökköy Formasyonu, genelde orta kalınlıkta ve iyi tabakalanmalı olup birimin yaşı içerdiği fosil içeriklerine göre Alt Pliyosen olarak belirlenmiştir [10].

Gösel kireçtaşlarından oluşan Emet Formasyonu ve bünyesinde bazalt ve andezit bulunduran Taşlıtepe Volkanitleri, Çökköy Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak yerleşmişlerdir. Emet Formasyonu'na ait kireçtaşları beyaz, gri, krem renkli, yer yer bol gözenekli, alt kesimleri fazlaca killi, üste doğru yer yer silisiliye, orta kalın tabakalı yatay veya yataya çok yakındır. Killi kireçtaşı ve marnlar daha çok formasyonun alt kesimlerinde yaygındır. Bu da formasyonun Alt Pliyosen yaşlı Çökköy Formasyonu ile dereceli geçişli olduğunu göstermektedir. Üste doğru kil oranı azalmakta ve kireçtaşlarına geçiş gözlenmektedir. Silisleşmiş kireçtaşı ve dolomitlerin üzerinde ve aralarında 2 m kalınlığında ve dolomitik breş parçalarından oluşan bir seviye bulunmaktadır. Bu seviye bej, açık kahve renkli, oldukça köşeli, birkaç santimetre boyutunda kırıklı parçaları ve bunların arasını dolduran mikrokristalin karbonat matriksinden oluşmaktadır [16]. Birim fosil içeriklerine ve stratigrafik konumuna göre Orta-Geç Pliyosen yaşlıdır [10]. Taşlıtepe Volkanitleri genellikle koyu gri, siyah ve yeşilimsi siyah renkli, bol gözenekli bazaltlar ve koyu pembe, kahvemsi bordo renkli andezitlerle temsil edilmektedir. Birim, Taşlıtepe civarında dayk şeklinde, Ören köyü civarında ise domlar şeklinde mostra vermektedir. Saha gözlemlerine göre Taşlıtepe Volkanitleri Üst Pliyosen yaşlı Emet Formasyonu'nu keserek gelmekte ve Kuvaterner yaşlı birimler arasında sill şeklinde sokulum yapmaktadır. Birimin yaşı stratigrafik konumuna göre Üst Pliyosen - Kuvaterner olarak verilmektedir.

Çalışma alanının en genç birimlerden olan Kuvaterner yaşlı Kocayataktepe Formasyonu kırmızı, kahve renkli, az tutturulmuş konglomera, yeşil renkli kil, bej renkli kumtaşı ve sarımsı bej renkli tüflerden meydana gelmiştir [17]. Yaklaşık 80 m kalınlığa sahip olan birim kendisinin yaşlı tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. Çalışma alanı içerisinde geniş bir alanı kaplamakta olan alüvyon, Orhaneli Çayı'nın ve bölgedeki yan derelerin getirip biriktirdiği kahve, bej, kırmızımsı renkli kil, kum, çakıl ve blok boyutunda tutturulmamış kırıntılılardan oluşmaktadır.

3.2 Çalışma alanının hidrojeolojisi ve yeraltısuyu dinamiği

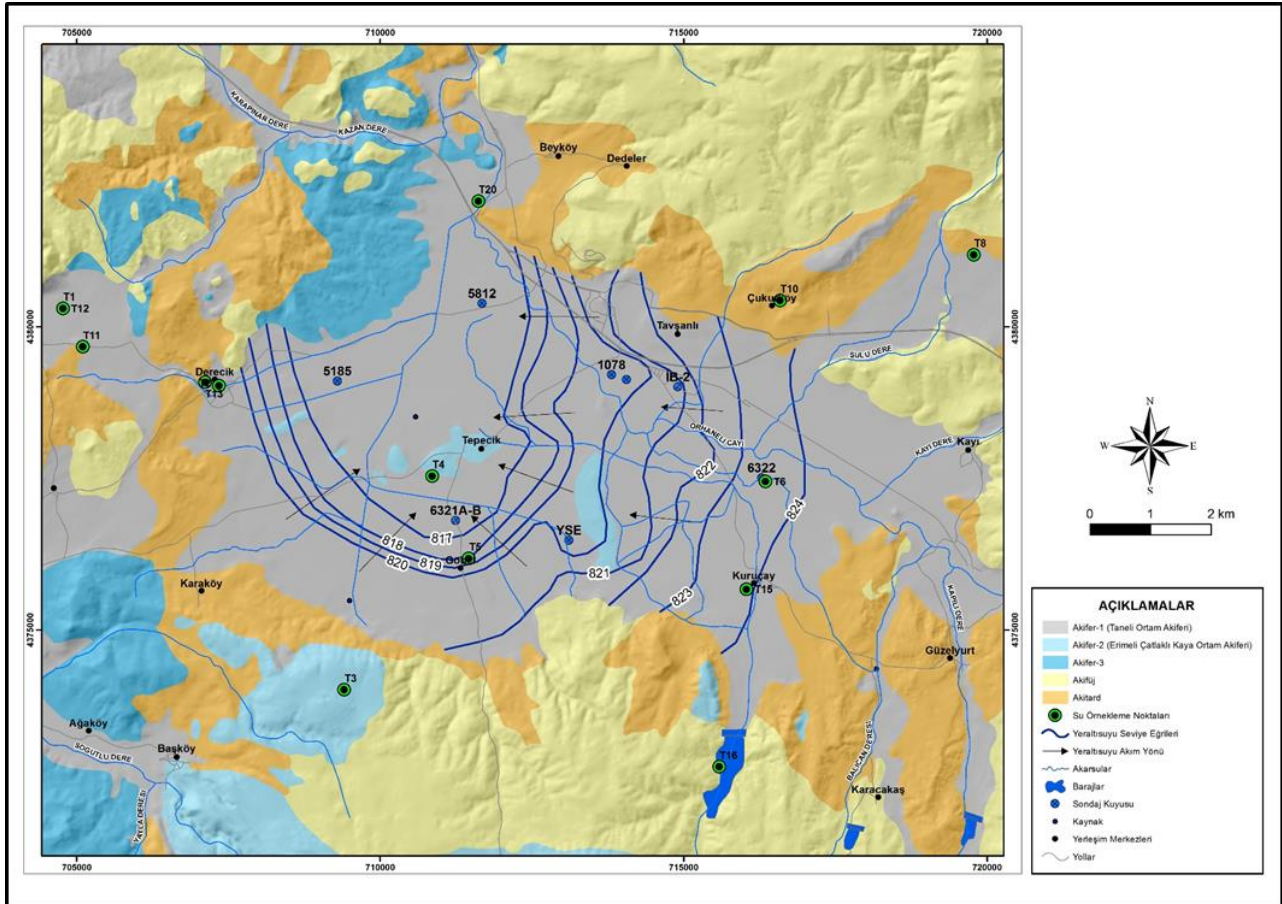
Çalışma alanının hidrojeoloji haritasının hazırlanabilmesi için bölgede yüzeyleyen her bir litolojik birim akifer olabilme potansiyeline göre değerlendirilerek sınıflandırılmıştır (Şekil 3). Araştırma konusunu oluşturan alanda yer alan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri bakımından Akifer-1, Akifer -2, Akifer-3, Akitard ve Akifüj olmak üzere beş ayrı grupta incelenmiştir.

Çalışma alanında su iletme yeteneği olmayan ve geçirimsiz özelliğe sahip Dağardı Melanjı, Miyosen yaşlı Oklukdağ Volkanitleri ve Pliyosen yaşlı Taşlıtepe Formasyonu Akifüj Ortam olarak tanımlanmıştır. Dağardı Melanjı başlıca radyolarit, mafik-ultramafik kayalar, şist ve kireçtaşı blokları, yer yer kumtaşı-grovak-şeyl, kumlu kireçtaşı, şist, tüfit ve konglomera birimlerinden oluşan bir karmaşık özelliği sunmaktadır. Oklukdağ Volkanitleri dasit ve riyolitik bileşimli volkanik kayalardan, Taşlıtepe Formasyonu ise bazalt, andezit ve volkanik kayalardan oluşmaktadır. Söz konusu birimlerin litolojik özellikleri bakımından akifer olma potansiyeli olmaması sebebiyle geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında oldukça geniş alanlarda yüzeyleyen Sarıcasu Formasyonu, Kırkbudak Formasyonu, Tunçbilek Formasyonu ve Çökköy Formasyonu bünyelerinde yeraltısuyu bulundurma özellikleri bakımından benzer hidrojeolojik yapıya sahip

olduklarından tek bir hidrojeolojik birim olarak kabul edilmiş ve Akitard Ortam olarak tanımlanmıştır. Metamorfik birimlerden oluşan Sarıcasu Formasyonu genel olarak granatlı mika-şist, kuvars-şist, metavolkanik kayalar ve kireçtaşı mercekleri içermektedir. Birimin bünyesindeki kireçtaşı seviyelerinde ve geçirdiği metamorfizma sonucunda oluşan kırık ve çatlaklarında yeraltısuyu bulundurması mümkündür. Ayrıca, söz konusu birim içerisinde yer yer kaynak boşalimleri gözlenmektedir. Kırkbudak, Tunçbilek ve Çökköy formasyonları içerisindeki kumtaşı, konglomera ve kireçtaşı seviyeleri yayılım ve kalınlıkları ile doğru orantılı olarak yeraltısuyu içerebilmektedirler. Bu nedenle söz konusu birimler düşük hidrolik iletkenliğe sahip hidrojeolojik olarak yarı geçirimli birimler olarak kabul edilmiştir.

Çalışma alanında, ovanın büyük bir kısmını oluşturan alüvyon ile konglomera ve kaba kırıntılardan oluşan Kocayataktepe Formasyonu yayılımı ve verimi fazla olan taneli ortam akiferini temsil etmekte olup Akifer-1 olarak tanımlanmıştır. Alüvyon birimi genel olarak değişik boyutlarda çakıllar içeren, geniş düzlüklerde ince tane oranı artan bir yapı ortaya koymaktadır. Alüvyon birimi içindeki kum-silt oranı taşkın düzlüklerinde ve mendereslerde artmaktadır. Birim doğuda Güzelyurt-Kayı, güneyde Kuruçay-Çardaklı-Göbel, batıda Derecik, kuzeyde Moymulu-Çukurköy arasında kalan alanlarda yüzeylenmektedir.

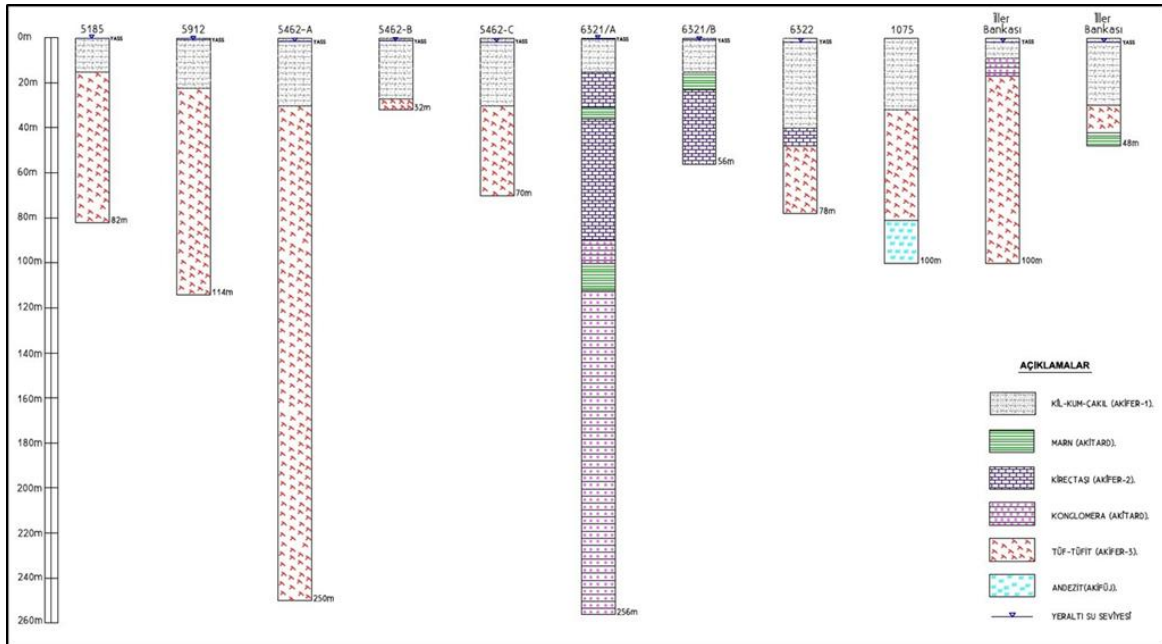


Şekil 3: Çalışma alanının hidrojeoloji ve yeraltısuyu seviye haritası.

Alüvyonun ova genelindeki yayılımı 60 km² olup yaklaşık 10-60 m arasında kalınlığa sahiptir. Ovanın güneybatısında 10-20 m arasında kalınlık gözlenirken kuzey kesimlerde Orhaneli çayına paralel olarak 60 m. kalınlığa ulaşmaktadır. Alüvyon ortam içerisinde açılmış sondaj kuyularının debileri 20-69 lt/sn arasında, özgül verimleri ise 3-23 lt/sn/m arasında değişmektedir. Kocayataktepe Formasyonu ise daha çok kaba kırıntılar ile yer yer kil, kumtaşı ve tuf seviyelerinden oluşmakta ve çalışma alanında oldukça dar alanlarda gözlenmektedir.

Çalışma alanının güneyinde Budağan Dağı ve çevresinde yüzeylenen Budağan Kireçtaşları ve Emet Formasyonu'na ait görsel kireçtaşları ve dolomitler Erimele Çatlaklı Kaya Ortam Akiferini temsil etmekte olup Akifer-2 olarak tanımlanmıştır. Karstik birimler yapısındaki erime boşlukları ve kırık-çatlak sistemleri nedeniyle bünyelerinde önemli ölçüde yeraltı suyu bulundurabilen ve iletebilen bir özelliğe sahiptirler. Çalışma alanında ovanın güney kesimlerinde açılan sondaj kuyularında alüvyon birimin altında yaklaşık 30-40 m kalınlığında kireçtaşı birimleri kesilmiştir. Bu birimlerden yaklaşık 32-35 lt/sn debilerde yeraltı suyu alınmaktadır. Çalışma alanının batısında Ağaköy çevresinde, kuzeybatısında Kayaarası çevresinde ve güneyinde gözlenen Civandağ Tüfleri Akifer-3 olarak tanımlanmıştır. Birim Neojen öncesine ait çakıllar ile yer yer kil, kireçtaşı, aglomera ve volkanik kayaç parçaları içermektedir. Ovada alüvyon birimlerde açılan sondaj loglarında önemli seviyelerde tuf ve aglomera birimleri kesilmekte ve yaklaşık 10-16 lt/sn debi ile yeraltı suyu alınmaktadır. Bu nedenle bölgede haritalanan Civandağ Tüfleri akifer birim olarak kabul edilmiştir. Ovanın kuzey ve doğu kesimlerinde volkanik tuf ve aglomeralar alüvyon birim altında yaklaşık 100-150 m kalınlığa sahiptir ve alüvyon altındaki kireçtaşı birimleri ile yanal geçişlidir. Çalışma alanı içerisinde özel kişilerin ve resmi kurumların sulama ve içme suyu amacıyla açılmış olduğu çok sayıda sondaj kuyusu bulunmaktadır. Tavşanlı Ovası içerisinde

şahıslar tarafından açılmış çok sayıda bulunan sığ kuyuların derinlikleri 4-20 m arasında değişmekte olup açıldıkları tarihteki yeraltı suyu derinlikleri 0-7 m arasındadır. Resmi kurumlar tarafından açılan kuyularının 2 tanesi İller Bankası, 14 tanesi DSİ 3. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan kuyulardır. İnceleme alanında açılan sondaj kuyularının büyük bir kısmı alüvyon akifer üzerinde açılmıştır. DSİ ve İller Bankası tarafından açılan kuyuların derinlikleri 32.00-250.40 m arasında, açıldıkları tarihteki yeraltı suyu derinlikleri 0.00 (artezyen)-12.50 m arasında, düşüm değerleri 0.85-18.79 m arasında, debileri ise 0.50-51.00 lt/sn arasında değişmektedir (Şekil 4), [18]. Çalışma alanında bulunan akiferlerin hidrodinamik parametrelerini belirleyebilmek için bölgede yer alan DSİ 3. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış olan sondaj kuyularından 5 adedi (5185, 5462/A, 5462/B, 6321/A ve 6321/B No.lu kuyular) temsili olarak seçilmiştir. Bu kuyulardan açıldıkları tarih itibarıyla DSİ 3. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılan pompaj deneylerinden elde edilen zaman-düşüm verileri kullanılarak akiferlerin permeabilite katsayısı (K), transmisibilite katsayısı (T) ve depolama katsayısı (S) değerleri Cooper-Jacop düşüm-zaman ilişkisi kullanılarak hesaplanmıştır. Çalışma alanında alüvyon, kireçtaşı ve tuf seviyelerinden yeraltı suyu alınmakta olup bölgedeki akifer birimler serbest akifer özelliğindedir. Yapılan hesaplamalar sonucunda taneli gözenekli akifer olarak tanımlanan alüvyonda açılmış olan kuyularda permeabilite katsayısı 1.23×10^{-6} m/sn ile 3.22×10^{-7} m/sn, transmisibilite katsayısı 1.51×10^{-4} m²/sn ile 4.04×10^{-4} m²/sn, depolama katsayısı ise %1.88 ile 15.40 arasında değişmektedir. Alüvyon ile birlikte kireçtaşı seviyelerinin de kesildiği sondaj kuyularında permeabilite katsayısı 5.86×10^{-6} m/sn ile 3.22×10^{-7} m/sn, transmisibilite katsayısı 2.11×10^{-4} m²/sn ile 3.81×10^{-4} m²/sn, depolama katsayısı ise %2.21 ile 15.40 arasındadır. Sadece alüvyonun kesildiği kuyular 26.18 lt/sn debiye sahip iken Göbel tarafında alüvyon ile birlikte kireçtaşının kesildiği kuyularda işletme debisi artmaktadır (Tablo 1).



Şekil 4: Çalışma alanında açılmış sondajlara ait kuyu logları.

Nisan (2015) döneminde ölçüm yapılan kuyuların hepsi alüvyon ortamda olup bölgede yeraltısuyu derinlikleri 1.5 m ile 25 m arasında değişmektedir. Göbel civarında yeraltı suyu derinlikleri 1.5 m ile 7 m arasında iken Ovacık-1 kuyusunda yeraltısuyu derinliği 25 m olarak belirlenmiştir. Yapılan seviye ölçümlerine göre hazırlanan yeraltısuyu seviye eğrileri incelendiğinde, yeraltısuyu yüzeyinin düzgün bir morfolojiye sahip olduğu görülmektedir. Seviye eğrileri genel olarak birbirine paralel ve gidişleri düzdür. Bu durum akifer ortamın izotrop ve homojen olduğunu göstermektedir. Ayrıca, Göbel civarında oldukça sık seviye eğrileri, Tavşanlı ve Kuruçay civarında ise daha seyrek seviye eğrileri gözlenmektedir. Yeraltısuyu seviye eğrilerinin sık olması akifer ortamın düşük permeabiliteye ve yüksek hidrolik eğime sahip olduğunu belirtmektedir. Göbel civarında açılmış olan 6321/A ve 6321/B No.lu sondaj kuyularında akifer birim içerisinde bulunan marn seviyeleri ortamın geçirimsizliğini kısıtlamakta olup, eğrilerin sık gözlemlendiği bölgelerin düşük permeabiliteye sahip olduğunu desteklemektedir. Buna karşın seviye eğrilerinin seyrek olması

bölgelerde permeabilite değerinin yüksek, hidrolik eğimin ise düşük olduğunu göstermektedir. Bölgede yeraltısuyu akımı ise ovanın doğusunda batıya doğru olup yeraltısuyu alüvyon akiferden Orhaneli Çayı'na boşalmaktadır. Ovanın güneyinde Göbel ve Karaköy civarlarında ise yeraltısuyu akım yönünün kuzeydoğuya doğru olduğu ve yeraltısuyu boşalmanın drenaj kanallarına gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3).

3.3 Su kimyası

Çalışma alanında yer alan yüzey suyu ve yeraltısularının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, Nisan-2015 döneminde 20 farklı lokasyondan örnekleme yapılmıştır. Çalışma alanı içerisinde bulunan yüzey suyu ve yeraltısularının kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sodyum iyon yüzdesi (%Na) gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilmiştir (Tablo 2).

Tablo 1: Akiferlerin hidrodinamik parametreleri (K, T, S) ve sondaj kuyularına ait bilgiler.

Bölge	Kuyu No	Derinlik (m)	Debi (lt/sn)	Cooper-Jacop Zaman-Düşüm			Özgül Debi (lt/sn/m)	Statik Seviye (m)	Litoloji
				K (m/sn)	T (m ² /sn)	S (%)			
Derecik	5185	82,25	22,00	1,23x10 ⁻⁶	1,51x10 ⁻⁴	6.45	1,17	0,3	Alüvyon-Tüf
Tepecik	5462/A	250,4	10,00	4,58 x10 ⁻⁶	4,04x10 ⁻⁴	1.88	0,53	1,76	Alüvyon-Tüf
Tepecik	5462/B	32,0	26,18	1,38x10 ⁻⁶	1,69x10 ⁻⁴	9.13	3,07	1,5	Alüvyon
Göbel	6321/A	256,5	13,80	3,22 x10 ⁻⁷	3,81x10 ⁻⁴	15.40	0,78	0,59	Alüvyon-Kireçtaşı
Göbel	6321/B	58,0	32,36	5,86 x10 ⁻⁶	2,11x10 ⁻⁴	2.21	5,42	1,14	Alüvyon-Kireçtaşı

Tablo 2: Yüzey suyu ve yeraltısularının kimyasal analiz sonuçları.

Mevki	Numune Tipi	Num no	Na ⁺ mek/lt	K ⁺ mek/lt	Ca ⁺⁺ mek/lt	Mg ⁺⁺ mek/lt	Cl ⁻ mek/lt	SO ₄ ⁼ mek/l	HCO ₃ ⁼ mek/l	CO ₃ ⁼ mek/l	Sıc. (C°)	Sertlik (Fr°)	EC µS/cm	pH	%Na	SAR	Su Sınıfı
AYVALI-1	Yeraltısuyu	T1	0.74	0.13	2.66	3.73	0.26	0.02	0.41	0	18,00	2,20	114	6,3	10,19	0,41	Mg-Ca-HCO ₃
DERECİK-3	Yeraltısuyu	T2	0.41	0.03	2.40	6.06	0.41	0.008	2.31	0.47	15,60	3,09	313	8,7	4,61	0,20	Mg-Ca-HCO ₃
TEPECİK-1	Yeraltısuyu	T3	0.52	0.06	3.66	2.77	0.48	0.10	6.23	0	16,70	2,05	728	7,8	7,42	0,29	Ca-Mg-HCO ₃
GÖBEL-1	Yeraltısuyu	T4	0.49	0.06	2.77	3.31	0.36	0.02	3.98	0	13,70	2,05	501	8,0	7,39	0,28	Mg-Ca-HCO ₃
GÖBEL-2	Yeraltısuyu	T5	0.73	0.28	5.35	3.74	0.91	0.52	6.23	0	14,00	2,87	708	7,6	7,23	0,34	Ca-Mg-HCO ₃
KURUÇAY-1	Yeraltısuyu	T6	0.56	0.05	4.23	3.79	0.65	0.13	2.26	0	13,20	2,61	631	7,3	6,49	0,28	Ca-Mg-HCO ₃
KARCIK-1	Yeraltısuyu	T7	0.52	0.04	4.52	7.03	0.24	1.35	6.39	0	13,00	4,02	907	7,1	4,29	0,22	Mg-Ca-HCO ₃
KAYIKÖY-1	Yeraltısuyu	T8	0.35	0.08	2.36	13.12	0.47	0.05	5.11	0	13,80	5,99	647	7,2	2,20	0,13	Mg-Ca-HCO ₃
DEVEKAYA-1	Yeraltısuyu	T9	0.08	0.004	0.61	10.34	0.22	0.05	6.13	0	13,20	4,41	707	7,9	0,72	0,03	Mg-HCO ₃
ÇUKURKÖY-1	Yeraltısuyu	T10	0.15	0.02	2.63	5.83	0.36	0.25	3.72	0.4	13,90	3,06	502	8,4	1,74	0,07	Mg-Ca-HCO ₃
HOTANLI-1	Yeraltısuyu	T11	0.20	0.14	0.28	0.13	0.28	1.25	4.59	0	18,00	0,12	649	7,4	26,7	0,44	Ca-Mg-HCO ₃
AYVALI-2	Yeraltısuyu	T12	2.98	0.006	0.22	0.05	0.35	0.5	6.23	0	16,20	0,08	682	7,6	91,5	8,11	Na-HCO ₃
DERECİK-2	Yeraltısuyu	T13	0.32	0.03	1.87	6.15	0.30	0.64	4.72	0	14,00	3,00	597	7,5	3,82	0,16	Mg-Ca-HCO ₃
OVACIK-1	Yeraltısuyu	T14	0.52	0.005	4.52	2.33	0.65	0.96	3.67	0	12,50	2,09	673	7,7	7,05	0,28	Ca-Mg-HCO ₃
KURUÇAY-2	Yeraltısuyu	T15	0.33	0.04	3.56	3.62	0.36	0.86	6.15	0	13,00	2,38	757	7,3	4,37	0,17	Mg-Ca-HCO ₃
KURUÇAY GÖLETİ	Yüzey suyu	T16	0.35	0.04	1.97	3.71	0.39	0.5	3.41	0.27	11,00	2,02	453	8,4	5,77	0,21	Mg-Ca-HCO ₃
KOCASU+GÜDÜL ÇAYI	Yüzey suyu	T17	0.27	0.05	2.93	2.42	0.42	2.54	9.20	0	13,60	1,73	1214	7,6	4,76	0,16	Ca-Mg-HCO ₃
GÜDÜL ÇAYI	Yüzey suyu	T18	0.18	0.11	3.17	1.71	0.28	0.38	6.00	0.4	12,30	1,49	835	8,4	3,48	0,11	Ca-Mg-HCO ₃
KOCASU ÇAYI	Yüzey suyu	T19	0.26	0.04	2.78	1.99	0.30	2.51	0.16	0	12,30	1,51	1074	7,4	5,13	0,17	Ca-Mg-HCO ₃
KOCASU ÇAYI 2	Yüzey suyu	T20	0.94	0.16	2.85	3.68	0.69	0.42	2.80	0.53	14,20	2,23	444	8,5	12,32	0,52	Mg-Ca-HCO ₃

Aynı zamanda, suların Piper ve Chadha diyagramları kullanılarak sınıflandırılmasında su örneklerinin major anyon ve katyon analiz sonuçlarından yararlanılmıştır (Tablo 2).

3.3.1 Sertlik

Sularda sertlik kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve +2 veya daha yüksek değerliğe sahip metal katyonlarından (Sr²⁺, Mn²⁺, Fe²⁺, Fe³⁺, Al³⁺) ileri gelmektedir [19]. Fransız Sertlik Derecesi (Fr°) suların sertlik sınıfını belirlemede kullanılan bir parametre olup, 1 lt suda, 10 mg Ca ve Mg bikarbonat veya buna eşit miktarda diğer sertlik verici iyonların bulunması 1 Fransız sertlik derecesi olarak tanımlanır. Fransız Sertlik Derecesi'ne göre suların sınıflandırılması Tablo 3'te verilmiştir. Çalışma alanındaki yüzey suyu ve yeraltısularının toplam sertlik değerleri 0.08 F° ile 5.99 F° arasında değişmekte olup yapılan sertlik sınıflamasına göre 'çok yumuşak sular' sınıfında yer almaktadır.

Tablo 3: Suların sertlik sınıflaması.

Fransız Sertliği	Su Sınıfı
0.0-7.2	Çok yumuşak
7.2-14.5	Yumuşak
14.5-21.5	Az sert
21.5-32.5	Oldukça sert
32.5-54.0	Sert
>54.0	Çok sert

3.3.2 Hidrojen iyon konsantrasyonu (pH)

Hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösteren bir ölçü birimidir. Serbest mineral asitleri ve karbonik asitleri suyun asidik özellikte olmasına sebep olurken, karbonat, bikarbonat ve hidroksit iyonları suyun bazikliğini artırır. Genel olarak yüzey sularının bazik karakterli, yeraltısularının ise asidik karakterli olduğu bilinmektedir. Suların pH değerine göre sınıflaması Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4: Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması [19].

pH	Sınıf
>8.5	Bazik
8.5 - 7.0	Bazik Karakterli
7.0	Nötr
7.7 - 4.5	Asit Karakterli
<4.5	Asidik

Çalışma alanındaki yüzey suyu ve yeraltısuyu örneklerin pH değerleri 7.10 - 8.70 arasında olup genel olarak "**Bazik karakterli**" sular sınıfında yer almaktadır. Sadece Ayvalı-1 (T1) No.lu örneğin pH değeri 6.3 olup "**Asit karakterli**" sular sınıfındadır.

3.3.3 Özgül elektriksel iletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliği, özgül elektriksel iletkenlik ise, +25 °C'deki 1 cm³ suyun iletkenliği olarak tanımlanmaktadır [20]. Özgül elektriksel iletkenlik (EC) içme ve sulama sularının değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Sularda sıcaklık ve iyon konsantrasyonunun artışı ile doğru orantılı olarak elektriksel iletkenlik değerleri artmaktadır. İletkenliği 50000 µS/cm'den fazla olan sular için bu orantı geçerli değildir [19],[20].

Çalışma alanından alınan su örneklerinin özgül elektriksel iletkenlik değerleri yerinde ölçümler ile belirlenmiş olup 114-1214 µS/cm arasında değişmektedir. Yüzey sularının özgül

elektriksel iletkenlik değerleri yeraltısularına göre daha yüksek değerlerde ölçülmüştür. Yapılan arazi gözlemlerine göre, bu durum çalışma alanındaki evsel ve endüstriyel atıklar ile tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirleticilerin yüzey sularına karışmasının bir sonucudur.

3.3.4 Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR)

Suların SAR değeri sulama suyu olarak kullanıma uygunluğun belirlenmesinde en fazla yararlanan ölçütlerden birisidir. Sulama suyundaki yüksek sodyum miktarı sulamadan sonra toprak üzerinde kabuksu yapılarının oluşumuna neden olarak toprağın yapısını bozar ve geçirgenliğini azaltır. Bu durumda, bitki köklerinin hava alması mümkün olmaz ve üretim kalitesi düşer [19]. Bu nedenle su kimyası çalışmalarında SAR değerinin bilinmesi önemlidir. SAR oranı aşağıda verilmiş formül ile hesaplanır (1) ve bağıntıda iyonların mek/l değerleri kullanılır.

$$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{(rCa + rMg)/2}} \quad (1)$$

Çalışma alanındaki yüzey suyu ve yeraltısularının analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan SAR değerleri genel olarak 0.07 ile 8.11 arasında değişmekte olup Ayvalı-2 (T12) sondaj kuyusundan alınan yeraltısuyu örneği en yüksek SAR değerine sahiptir.

3.3.5 Sodyum iyon yüzdesi (%Na)

Sulama suyu olarak kullanımda yeraltısularının Na iyonu yüzdesinin tespiti çok önemlidir. %Na artışı topraktaki kalsiyum ve magnezyumla baz değişikliğine neden olacağından istenmeyen bir özelliktir. %Na değeri iyonların mek/l değerleri kullanılarak aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır (2).

$$\%Na = \frac{rNa}{rNa + rCa + rMg + rK} \times 100 \quad (2)$$

Çalışma alanındaki yüzey suyu ve yeraltısularının analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan %Na değerleri 0.72-91.50 arasında değişmektedir.

3.3.6 Schoeller' e göre suların sınıflandırılması

Schoeller (1955) yapmış olduğu sınıflandırmada suları klorür, sülfat ve karbonat miktarlarına göre sınıflandırmıştır (Tablo 5). Schoeller (1955)'in yapmış olduğu sınıflamaya göre alınan su örneklerinin hepsi klorür derişimi bakımından "olağan klorürlü sular" sınıfına, sülfat derişimi bakımından "olağan sülfatlı sular" sınıfında yer almaktadır. Karbonat-Bikarbonat derişimi bakımından ise T17 No.lu örnek "hiperkarbonatlı sular" sınıfında, T1 ve T19 No.lu örnekler "hipokarbonatlı sular" sınıfında, diğer tüm örnekler ise "olağan karbonatlı sular" sınıfında yer almaktadır.

3.3.7 Piper' e göre suların sınıflandırılması

Piper (1944) diyagramı suların genel anyon-katyon içeriğini dikkate alarak su fasiyeslerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Çalışma alanındaki yüzey suyu ve yeraltısuları temsil eden su örneklerine ait analiz sonuçları Piper diyagramı üzerinde gösterilerek su örneklerinin hidrojeokimyasal fasiyesleri belirlenmiştir (Şekil 5). Buna göre, T12 No.lu su örneği dışındaki tüm yüzey suyu ve yeraltısuyu örnekleri alkali toprak elementlerin toplamı (Ca+Mg), alkali elementlerin toplamından (Na+K) büyük, zayıf asit kökleri toplamının (HCO₃+CO₃) güçlü asit köklerinin toplamından

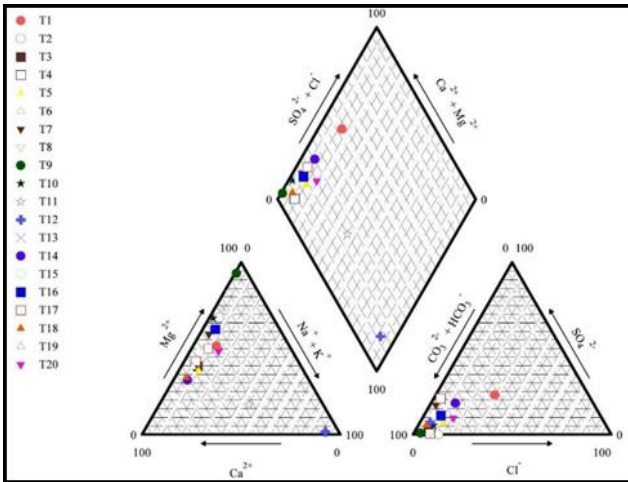
(SO₄+Cl) büyük ve karbonat sertliği %50'den fazla olan suları temsil etmektedir.

Piper diyagramına göre, su örneklerinin tamamının genel olarak Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum su örneklerinin alüvyon birim altında yeralan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit birimleri ile kayaç-su etkileşimine bağlı olarak gelişmektedir.

Piper diyagramına göre, su örneklerinin tamamının genel olarak Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Bu durum su örneklerinin alüvyon birim altında yeralan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit birimleri ile kayaç-su etkileşimine bağlı olarak gelişmektedir.

Tablo 5: Schoeller (1955) klorür, sülfat, karbonat-bikarbonat sınıflaması.

Klorür Sınıflaması	Su sınıfı	Klorür Miktarı (mek/l)
	Hiperklorürlü Sular	> 700
	Klorotalasik Sular	420-700
	Klorürce Zengin Sular	140-420
	Orta Klorürlü Sular	40-140
	Oligoklorürlü Sular	15-40
Olağan Klorürlü Sular	< 15	
Sülfat Sınıflaması	Su sınıfı	Sülfat Miktarı (mek/l)
	Hiposülfatlı Sular	> 58
	Sülfatlı Sular	24-58
	Oligosülfatlı Sular	6-24
Olağan Sülfatlı Sular	< 6	
Karbonat-Bikarbonat Sınıflaması	Su sınıfı	Karbonat+Bikarbonat Miktarı (mek/l)
	Hiperkarbonatlı Sular	> 7
	Olağan Karbonatlı Sular	2-7
	Hipokarbonatlı Sular	< 2



Şekil 5: Piper diyagramı (Nisan 2015).

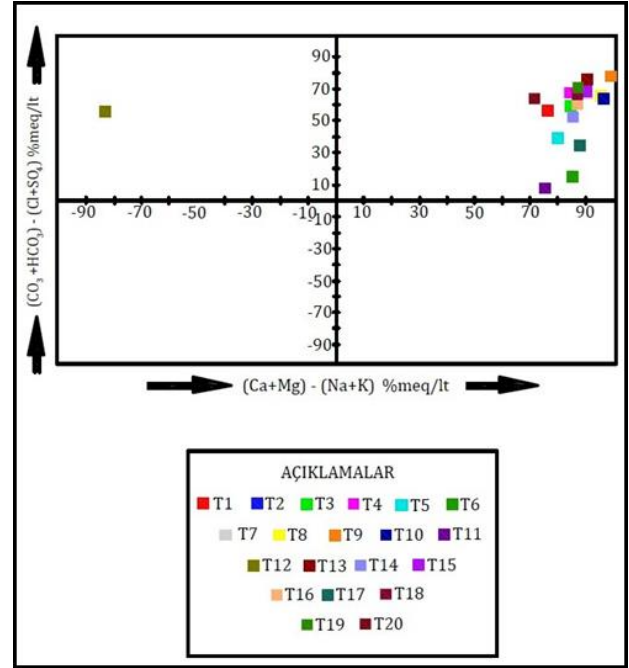
T12 No.lu yüzey suyu örneği ise Na-HCO₃'lü sular fasiyesinde yer almaktadır. Bu durum örnek lokasyonu da dikkate alındığında havzada yaygın olarak gözlenen dasitik ve riyolitik bileşimli tüfler ile kayaç-su etkileşiminin sonucunda gelişmektedir.

3.3.8 Chadha diyagramına göre suların sınıflaması

Su örneklerinin anyon ve katyon değerleri Chadha Diyagramı (1999) üzerine yerleştirilerek suların hidrojeokimyasal

işlevleri tanımlanmaya çalışılmıştır (Şekil 6). Bu diyagram, Piper Diyagramının (1944) değiştirilmiş ve Durov Diyagramının (1948), [21] ise genişletilmiş halidir. Farkı ise, iki eşkenar üçgenin çıkarılmış olmasıdır.

Hazırlanan Chadha diyagramına göre T12 No.lu yüzey suyu örneği dışındaki tüm yüzey suyu ve yeraltı suyu örnekleri Ca-Mg-HCO₃ su tipindedir. T12 No.lu su örneği ise Na-HCO₃ su tipindedir. Su tipleri tamamen kaya-su etkileşiminin bir sonucu olup Ca-Mg-HCO₃ su tipini çalışma alanı içerisindeki kireçtaşı ve dolomitik kayaçların varlığı ile, Na-HCO₃ su tipini ise geniş yayılıma sahip olan ve akifer olarak tanımlanan volkanik birimlerin varlığı ile açıklamak mümkündür.



Şekil 6: Chadha diyagramı (Nisan 2015).

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, Tavşanlı (Kütahya) ovası ve çevresinde jeolojik ve hidrojeolojik araştırmalar yapılarak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bölgenin hidrojeolojik özelliklerini ortaya koymak amacıyla hazırlanan jeoloji haritasına göre çalışma alanında en yaşlı birim Paleozoyik yaşlı Sarıcasu Formasyonudur. Temel kayayı oluşturan metamorfik birimlerin üzerinde Mesozoyik yaşlı Kırkbudak Formasyonu, Budağan Kireçtaşları ve bu birimler üzerine bindirmeli dokanak ile yerleşen Dağardı Melanjı yer almaktadır. Mesozoyik birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelen Senozoyik birimler sırası ile Miyosen yaşlı Tunçbilek Formasyonu, Okludağ ve Civandağ tüfleridir. Serinin devamında ise Pliyosen yaşlı Karaköy volkanitleri, Çökköy Formasyonu ve Emet Formasyonu'na ait gösel kireçtaşları ile Taşlıtepe Formasyonu yüzeylenmektedir. Tüm bu birimlerin üzerinde örtü birimleri olarak Kuvaterner yaşlı Kocayataktepe Formasyonu ile Alüvyon bulunmaktadır.

Araştırma konusunu oluşturan alanda yer alan jeolojik birimler fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri ile akifer olabilme potansiyelleri bakımından incelendiğinde çalışma alanında yer alan Sarıcasu formasyonu'na ait şist birimleri, Kırkbudak formasyonu'na ait konglomera, kumtaşı, siltaşı, kiltası birimleri, Tunçbilek formasyonu ve Çökköy formasyonu'na ait birimler akıtar grubunda yer almaktadır. Dağardı melanjı,

Oklukdağ volkanitleri ve Taşlıtepe formasyonları akifüj grubunda yer alırken, Alüvyon, Kocayataktepe formasyonu, Emet formasyonu ve Civanadağ tüfleri akifer birimleri oluşturmaktadır. Çalışma alanında DSİ 3. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış olan sondaj kuyularında açıldıkları tarihte yapılan pompaj deneylerinden elde edilen zaman-düşüm değerleri kullanılarak yeraltı suyu alınan akiferlerin permeabilite katsayısı (K), transmisibilite katsayısı (T) ve depolama katsayısı (S) değerleri hesaplanmıştır. Buna göre serbest akifer özelliğinde olan ve taneli gözenekli akifer olarak tanımlanan alüvyonda açılmış olan kuyularda permeabilite katsayısı 1.23×10^{-6} m/sn ile 3.22×10^{-7} m/sn, transmisibilite katsayısı 1.51×10^{-4} m²/sn ile 4.04×10^{-4} m²/sn, depolama katsayısı ise %1.88 ile 15.40 arasında değişmektedir. Ova içerisindeki kuyularda Nisan (2015) döneminde yapılan yeraltı suyu seviye ölçümlerine göre yeraltı suyu seviyesi 1.5 m ile 25 m arasında değişmektedir. Göbel civarında yeraltı suyu derinlikleri 1.5 m ile 7 m arasında iken Ovacık-1 kuyusunda yeraltı suyu derinliği 25 m olarak belirlenmiştir. Hazırlanan yeraltı suyu seviye haritasına göre izotrop ve homojen bir özellik gösteren akifer ortamda yeraltı suyu akımı ovanın doğusunda batıya doğru olup yeraltı suyu alüvyon akiferden Orhaneli çayına boşalmaktadır. Ovanın güneyinde Göbel ve Karaköy civarlarında ise yeraltı suyu akım yönünün kuzeydoğuya doğru olduğu ve yeraltı suyu boşalımının drenaj kanallarına gerçekleştiği görülmektedir.

Çalışma alanı içerisinde bulunan yüzey suyu ve yeraltı sularının kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) ve sodyum iyon yüzdesi (%Na) gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre su örneklerinin toplam sertlik değerleri 0.08 F° ile 5.99 F° arasında değişmekte olup yapılan sertlik sınıflamasına göre 'çok yumuşak sular' sınıfında yer almaktadır. Suların pH değerlerine (7.10-8.70) göre genel olarak "**Bazik karakterli**" sular sınıfında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki suların EC değerleri incelendiğinde, yüzey sularının yeraltı sularına göre bölgedeki kirleticilerden daha fazla etkilendiği ve yüksek EC değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Çalışma alanındaki suların SAR değerleri genel olarak 0.07 ile 8.11 arasında, %Na değerleri ise 0.72-91.50 arasında değişmektedir. Piper diyagramına göre su örneklerinin tamamının genel olarak Ca-Mg-HCO₃ ve Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Bu durum alüvyon akifer altında yer alan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit birimleri ile kayaç-su etkileşimine bağlı olarak gelişmektedir. Hazırlanan Chadha diyagramına göre T12 No.lu yüzey suyu örneği dışındaki tüm yüzey suyu ve yeraltı suyu örnekleri Ca-Mg-HCO₃ su tipindedir. T12 No.lu su örneği ise Na-HCO₃ su tipindedir. Elde edilen sonuçlar çalışma alanındaki su tiplerinin gelişiminde kaya-su etkileşimine bağlı olarak kimyasal ayrışma süreçlerinin etkin olduğunu göstermektedir.

5 Teşekkür

Bu çalışma SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan yüksek lisans tez çalışmasının bir ürünüdür. Yazarlar, çalışmayı finansal olarak destekleyen SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na (Proje No: 3570-YL1-13) teşekkür ederler.

6 Kaynaklar

[1] Erkakan F, Özeren C. "İznik Gölünün Su Kalitesi ve Balıkçılık Bakımından Yönetimi". TÜBİTAK, Tarım Araştırma Projesi, Ankara, Türkiye, 251, 2001.

- [2] Aksoy A, Bulut E, Yenilmez F. "Uluabat Gölü Ötrofikasyon Kontrolü için Maksimum Alıcı Ortam Fosfor Yüklerinin Belirlenmesi". TÜBİTAK, Deniz Bilimleri ve Çevre Araştırmaları Grubu Projesi, Ankara, Türkiye, 105, 2006.
- [3] Nas B, Berktaş A, Sevimli F, Yağcı K, Yılmaz S. "Beysehir Gölü Koruma Eylem Planı". Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Su ve Toprak Yönetimi Dairesi, Ankara, Türkiye, 122, 2008.
- [4] Şener Ş, Şener E, Davraz A. "Stream water quality in the Eğirdir Lake catchment area, Isparta, Turkey". *International Earth Sciences Colloquium in the Egean Regions, IESCA*, İzmir, Türkiye, 1-5 Ekim 2012.
- [5] Baalousha H. "Vulnerability assessment for the gaza strip, palestine using DRASTIC". *Environmental Geology*, 50(3), 405-414, 2006.
- [6] Schoeller H. "Gechemie des eaux souterraines". *Review Institue*, 10, 230-244, 1955.
- [7] Piper AM. "A Graphic procedure in geochemical interpretation of water analyses". *American Geophysical Union Transactions*, 25(6), 914-923, 1944.
- [8] Chadha DK. "A Proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data". *Hydrogeology Journal*, 7(5), 431-439, 1999.
- [9] Kalafatçıoğlu A. "Tavşanlı-Dağardı Arasındaki bölgenin jeolojisi ve serpantin ve kalkerlerin yaşı hakkında not". *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 58, 76-89, 1962.
- [10] Baş H. "Domanıç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz Yöresinin Tersiyer Jeolojisi ve Volkanitlerin Petrolojisi". Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 72, 1983.
- [11] Baş H. "Domanıç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz yöresinin Tersiyer jeolojisi". *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27, 11-18, 1986.
- [12] Baş H. "Tavşanlı-Domanıç (Kütahya) volkanitlerinin özellikleri ve Batı Anadolu Senozoyik volkanizmasındaki önemi". *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 30, 67-80, 1987.
- [13] Akdeniz N, Konak N. "Simav-Emet-Tavşanlı -Dursunbey-Demirci yörelerinin jeolojisi". Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 168, 1979.
- [14] Delibaş O, Parlak O, Pekdemir F, Baran C. "Pınarbaşı Granitoidi (Gediz-Kütahya) Mo-Cu, Pb-Zn ve Sb±Ag cevherleşmeleri: Polimetalik cevherleşmelere Orta-Batı Anadolu'dan bir örnek". *Yerbilimleri*, 33(2), 151-176, 2012.
- [15] Kaya O. "Tavşanlı yöresi "Ofiolit" sorununun ana çizgileri". *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 15(1), 26-108, 1972.
- [16] Arık F. Gümüşköy (Kütahya) Gümüş Yatağının Jeokimyasal Modellemesi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2002.
- [17] Akkuş MF. "Kütahya-Gediz arasındaki sahanın jeolojisi". *Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi*, 58, 21-30, 1962.
- [18] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. "Tavşanlı Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu". Devlet Su İşleri, Ankara, Türkiye, 107, 1978.
- [19] Şahinci A. *Doğal Suların Jeokimyası*. 1. baskı. İzmir Türkiye, Reform, 1991.
- [20] Erguvanlı K, Yüzer E. *Yeraltı Suları Jeolojisi*. İstanbul, Türkiye, İTÜ Yayınları, 1987.
- [21] Durov SA. "Natural waters and graphic representation of their compositions". *Akademiya Nauk SSSR Doklady*, 59, 87-90, 1948.