

## Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü havzasının hidrojeokimyası

Muhterem DEMİROĞLU\*, Yüksel ÖRGÜN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

### Özet

Yeraltısuları Türkiyenin yarı kurak bölgelerinde çoğu zaman tek su kaynağıdır. Yarı kurak iklim özelliğindeki Günyüzü Havzası, Eskişehir-Sivrihisar ilçesi güneydoğusunda, Sakarya nehri ana drenaj alanı içerisinde yer almaktadır. Havzada, geçirimsiz ortam olarak sınıflandırılan metamorfik şistler, granitik kayalar ve diyabaz daykalarıyla sınırlanan Paleozoyik yaşlı mermerler, sıcak ve soğuk sular için ana rezervuar kayaç niteliğindedir. Aynı zamanda havza içindeki Neojen yaşlı kireçtaşları, konglomeralar ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar da diğer önemli akiferlerdir. Çalışma kapsamında 9 su noktasından kurak (Temmuz-Eylül 2005) ve yağışlı (Mart-Mayıs 2006) dönemlerde sistematik örnekler alınmıştır. Örneklerin analizleri kurak ve yağışlı dönemde suların  $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ > K^+$  ve  $HCO_3^- > SO_4^{--} > Cl^-$  şeklinde bir iyon dizilimine sahip olduğunu göstermiştir. İncelenen sular içinde ortalama  $35^\circ C$  sıcaklık değeri ile termal su niteliğinde olan Çardak Hamamı kaynağı (K7) ise  $Ca^{++} > Na^+ > Mg^{++} > K^+$  ve  $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{--}$  şeklinde bir dizilim sergilemiştir. Elde edilen tüm bu iyon dağılımı, bölgedeki karbonatlı kayaların, suların ana bileşenlerinin oluşumunda belirleyici olduğu ve suların nispeten yüksek magnezyum içeriğinden dolayı da akifer kayaların dolomitik bileşen içerdiğini işaret etmiştir. Sularla ölçülen  $\delta^{18}O$  (‰ -11.2 - ‰-8.9) ve  $\delta^2H$  (‰ -79 - ‰ -60) izotop değerleri, suların atmosferik kökenli olduğunu,  $^3H$  (0 - 8 TU) değerleri ise suların sığ, (Musluk çeşmesi kaynağı (K2), Çukurçeşme kaynağı (K3), Atlas kaynağı (K6), Nasrettin Hoca kaynağı (K8), Babadat kaynağı (K9)) ve derin (Yeniçıkırı kaynağı (K1), Subaşı kaynağı (K5), 55886/A (K4), Çardak Hamamı kaynağı (K7)) dolaşımli olduğunu ortaya koymuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Günyüzü havzası, hidrojeokimya, akifer, izotop.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Muhterem DEMİROĞLU. copuroglum@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 63 14.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü havzası hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 04.02.2008 tarihinde dergiye ulaşmış, 14.05.2008 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.09.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

## Hydrogeochemical characteristics of Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü basin

### Extended abstract

Groundwater is mostly the unique water source in semiarid regions of Turkey. The aim of this study is to define aquifer characteristics by using hydrogeochemical and hydrogeological data obtained from the Günyüzü Basin located in the Sakarya River catchment area at the SW of Eskişehir-Sivrihisar. The study area covers an area of 543 km<sup>2</sup> with an annual average precipitation of 393 mm/year.

The study area comprises Mesozoic metamorphic rocks, Eocene granite, Neogene sedimentary rocks and recent alluvium where different hydrogeological properties such as unconfined-confined-partly karstic, fractured and granular aquifers having thermal component can be observed. The metamorphic basement begins with radiolarite, serpentinite, splitic basalt and diabases which are overlain by micaschist, quartzite, calcschist and marble. The thickness of brown, beige, light gray marble is more than 100 meters and seen at the top of metamorphic series. The metamorphic series are cut by magmatic rocks, where the main marble aquifer is bordered by these impermeable intrusions at sides and by impermeable schists at the bottom within the studied area

The geological units in the study area are hydrogeologically classified as local rich, medium, poor aquifers and aquicludes. Paleozoic marbles have been jointed and faulted and evaluated as local permeable units. They contain and conduct significant amount of groundwater. According to data obtained from pumping tests at wells drilled in the marbles, the hydraulic conductivity ranges between 1.19 and 98.9 m/day and specific capacity is between 0.64 and 75 l/sec/m. Although these figures do not represent the whole aquifer, they provide an idea of the heterogeneity of the system. Most of the spring discharge from this aquifer. Marbles also play an important role on recharge of the basin, because the thickness of marbles is more than 100 meters and seen at the top of metamorphic series at higher altitudes of basin. Short and heavy rainfalls and snowmelts directly affect the recharge in this karstic area where response of these events has been observed in the spring discharges. Quaternary alluvium and Neogene conglomerates and limestones are secondary important aquifers. According to data obtained

from the pumping experiments carried out at the wells drilled in the basin, the hydraulic conductivity of the Neogene limestones varies between 1.39 and 4.1 m/day and specific capacity varies between 1.8 and 2.9 l/sec/m. The hydraulic conductivity of the Neogene conglomerates varies between 0.27 and 0.39 m/day and specific capacity is between 0.38 and 0.55/sec/m. The ophiolite, schists of the metamorphic complex, Eocene granites, Neogene marl, clays and diabases are the other impermeable levels in basin.

Samples obtained from springs and wells within the research area from 9 locations, chosen in order to represent aquifer characteristics, have been examined. The groundwaters have pH values ranging from 6.59 to 7.56, and temperatures changes 14 - 35°C. Piper and Schoeller semilogarithmic diagrams are both used in order to specify the dominant lithology in the formation of chemical composition, and to classify water samples with respect to their chemical composition. Results indicate that they generally have  $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+}$  and  $HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$  anions and cations which show that carbonate rocks are dominant in the formation of chemical composition. The chemical composition of water samples consist with the lithological properties of the researched area. Only Hamamkarahisar spring (K7) is characterized by  $Ca^{++} > Na^{+} > Mg^{++} > K^{+}$  and  $HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$  anions and cations.

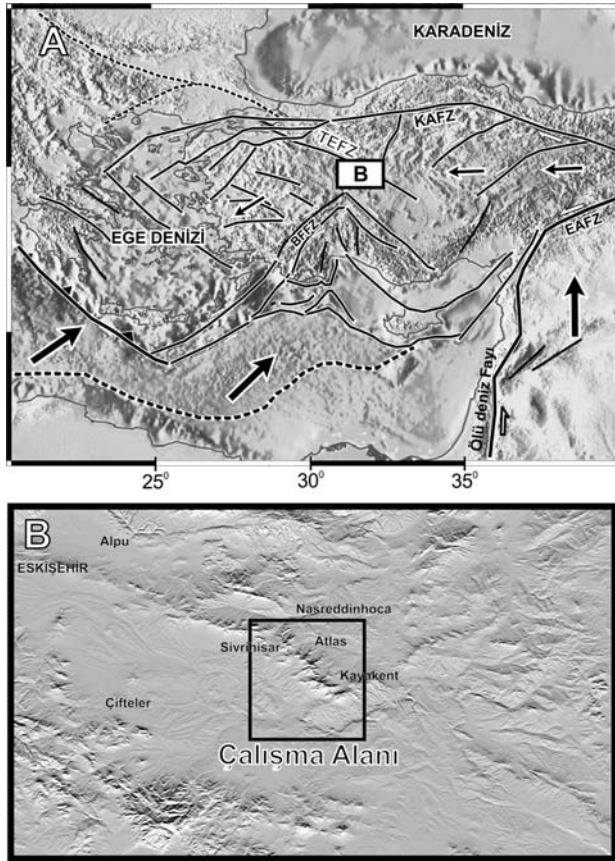
$\delta^{18}O$  (‰-11.2 - ‰-8.9) and  $\delta^2H$  (‰-79 - ‰-60) isotope values show that all water (thermal and cold) samples except for Çukurçeşme spring are located in between the Ankara meteoric line ( $\delta^2H = 8. \delta^{18}O + 14.5$ ) and Global meteoric line ( $\delta^2H = 8. \delta^{18}O + 10$ ) This shows that all waters (thermal and cold) are of meteoric in origin. The elevation-oxygen-18 plot of precipitation is found to be -0.32 ‰/ 100 m. The EC-Tritium relationship indicates the existence of groups with different origins. These groups that have high EC ( 590-1216 mg/l ) and low  $^3H$  ( 0 - 4 TU) values represent the deep circulating waters (K1, K4, K5, K7), low EC ( 309-440 mg/l ) and high  $^3H$  (4-10 TU) values represent the shallow circulating waters ( K2, K3, K6, K8, K9) where these waters mix in various proportions.

**Keywords:** Günyüzü Basin, groundwater, hydrogeochemistry, aquifer, isotope.

## Giriş

Ülkemiz tatlı su kaynakları açısından çok fazla su kıtlığı çeken ülkeler arasında yer almamakla birlikte, bölgesel ve yerel boyutta ciddi sıkıntılar mevcuttur. Hızlı nüfus artışı, kirlenme ve yıllık yağış ortalamasının dünya ortalamasından düşük olması, mevcut kaynakların daha dikkatli kullanılmasını gerektirmektedir. Özellikle kurak, yarı kurak bölgelerde, içme, sulama ve endüstriyel su ihtiyacının karşılanmasında yeraltı suyu kullanımının hızla artması ile yeraltı sularının önemi anlaşılmıştır.

Sakarya havzası içinde küçük bir alt havza olmasına rağmen, hem sıcak, hem de soğuk yeraltı suyu kaynaklarına sahip Günyüzü havzası (Şekil 1). Sivrihisar bölgesinin içme, sulama ve endüstriyel su ihtiyacını karşılamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer bulduru haritası

Sıcak su bileşenli serbest-basınçlı, kırıklı-çatlaklı, taneli akifer sistemleri ile oldukça farklı hidrojeolojik özellikler gösteren inceleme alanında mermerler, ana akifer sistemini oluştur-

maktadır. Mermerler, kısmen gelişmiş karstik sistemi ile yüksek anizotropi ve ileri derecede heterojenite ile karakterize edilirler. Bu heterojenite sulara oldukça farklı köken, transfer ve depolanma süreleri olarak yansır (White, 2002).

Yeraltısularının kimyasal bileşimi, suların içinden geçip geldikleri akiferlerin mineralojik ve kimyasal özelliklerinin, akiferlerde suyun akış hızının, akış koşullarının ve suyun akiferdeki konaklama süresinin bir fonksiyonudur (Freeze ve Cherry, 1979; Appelo ve Postma, 1993; Örgün vd., 2004; 2005; Şahinci, 1991). Dolayısıyla suların ana ve iz element içeriklerinin tanımlanması ve elde edilen sonuçların yorumu, suların yeryüzünde ve yeraltında temas ettikleri kayalar, kayalarla etkileşme mekanizmaları, kayaç-su etkileşme hızları gibi pek çok sorunun cevaplandırılmasına yardımcı olur. Bu çalışma ile suların kimyasal ve izotop içeriklerinden yararlanılarak havzanın akifer karakteristikleri açıklanmıştır.

## Yöntem

Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü havzasının hidrojeolojisi ve sistemin hidrodinamik davranışının açıklanmasında temel oluşturacak, hidrolojik verilerin sağlanacağı ölçüm noktalarında, hidrojeokimyasal yapısının aydınlatılmasına yönelik su kimyası amaçlı yerinde ölçümler ve örneklemeler yapılmıştır. Bu amaçla 9 adet su noktasında kurak dönemi temsilen Temmuz-Eylül 2005 ve yağışlı dönemi temsilen Mart-Mayıs 2006 tarihlerinde yerinde ölçümler yapılmış olup analiz için örnek sular toplanmıştır (Şekil 2).

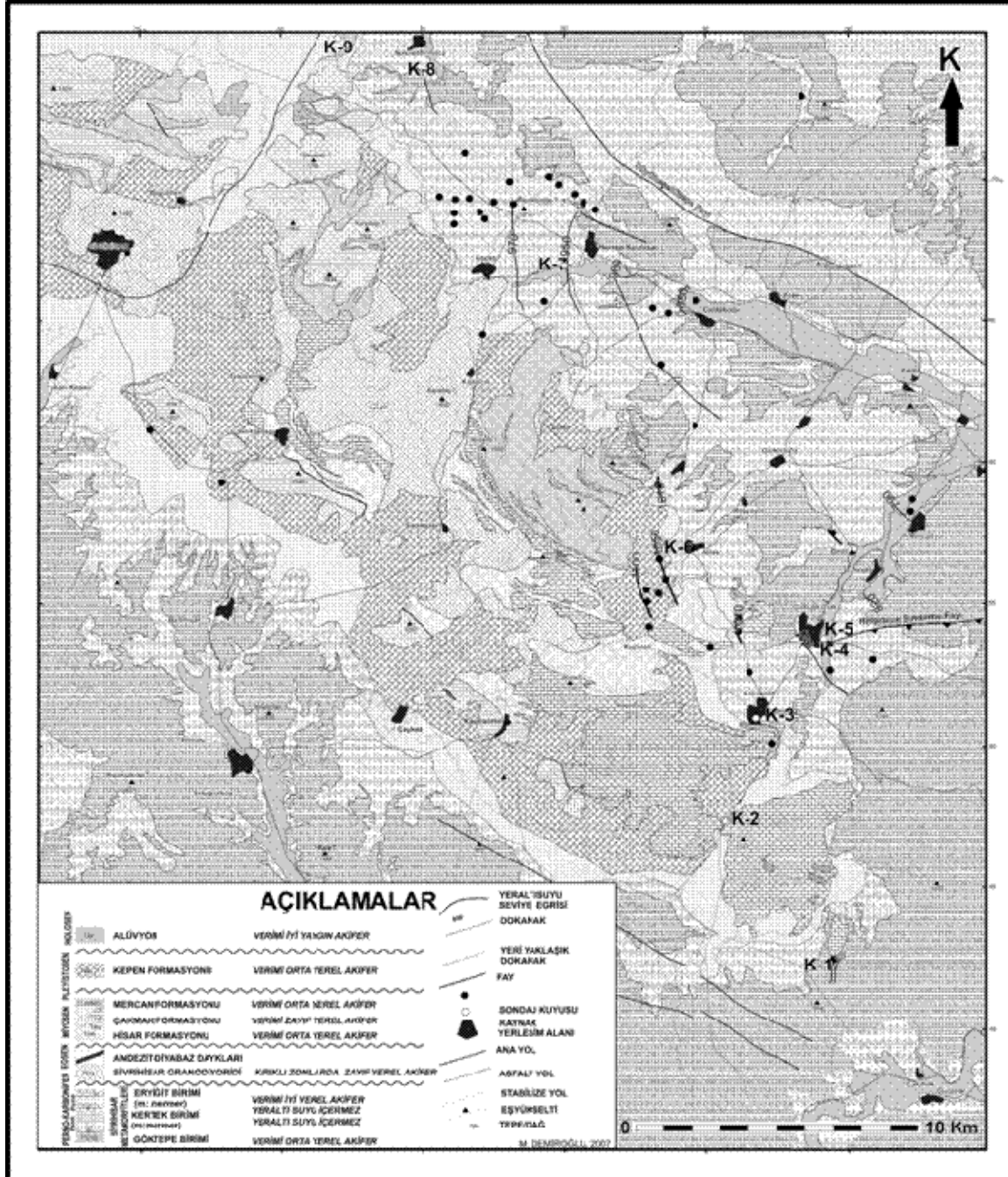
Tablo 1'de özet bilgiler verilen su noktalarında yerinde ölçümler ve laboratuvarında kimyasal analizler yapılmıştır. pH, elektriksel iletkenlik (EC- $\mu$ S/cm), sıcaklık (T- $^{\circ}$ C), çözünmüş oksijen (DO-mg/l), redoks potansiyeli (Eh-mV), toplam çözünmüş madde (TDS-mg/l) ve tuzluluk (NaCl) gibi özellikler yerinde ölçülmüştür.

Alınan örnekler üzerinde yapılan majör iyon ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $Na^{+}$   $K^{+}$ ,  $HCO_3^{-}$ ,  $CO_3^{-2}$ ,  $Cl^{-}$ ,  $SO_4^{-2}$ ) analizleri T.S.E belgeli Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Su Kimyası labo-

ratuarlarında elektronötrallite  $< \pm \%5$  olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca alınan örneklerde F, Ag, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Al, Mn, Ni, Pb, Zn, Co gibi iz element analizleri yapılmıştır. Bununla beraber sultardaki inorganik kirliliği incelemek amacı ile azot bileşikleri ( $\text{NH}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) ile  $\text{PO}_4^3$  analizleri de yapılmıştır.

Bir hidrolik dönemi temsilen alınan su örneklerinin izotop analizleri ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{H}$ ) DSİ Teknik

Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığında yapılmıştır. İkinci dönem (2005-2006 yılları) temsilen alınan su örneklerinin  $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$  izotop analizleri Nevada-ABD Duraylı İzotop Laboratuvarında,  $^3\text{H}$  analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Çevresel Tritiyum laboratuvarlarında yapılmıştır. Analiz sonuçları çeşitli grafik yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2. Günyüzü havzası ve civarı hidrojeoloji haritası

Tablo 1. Su noktalarına ait bilgiler

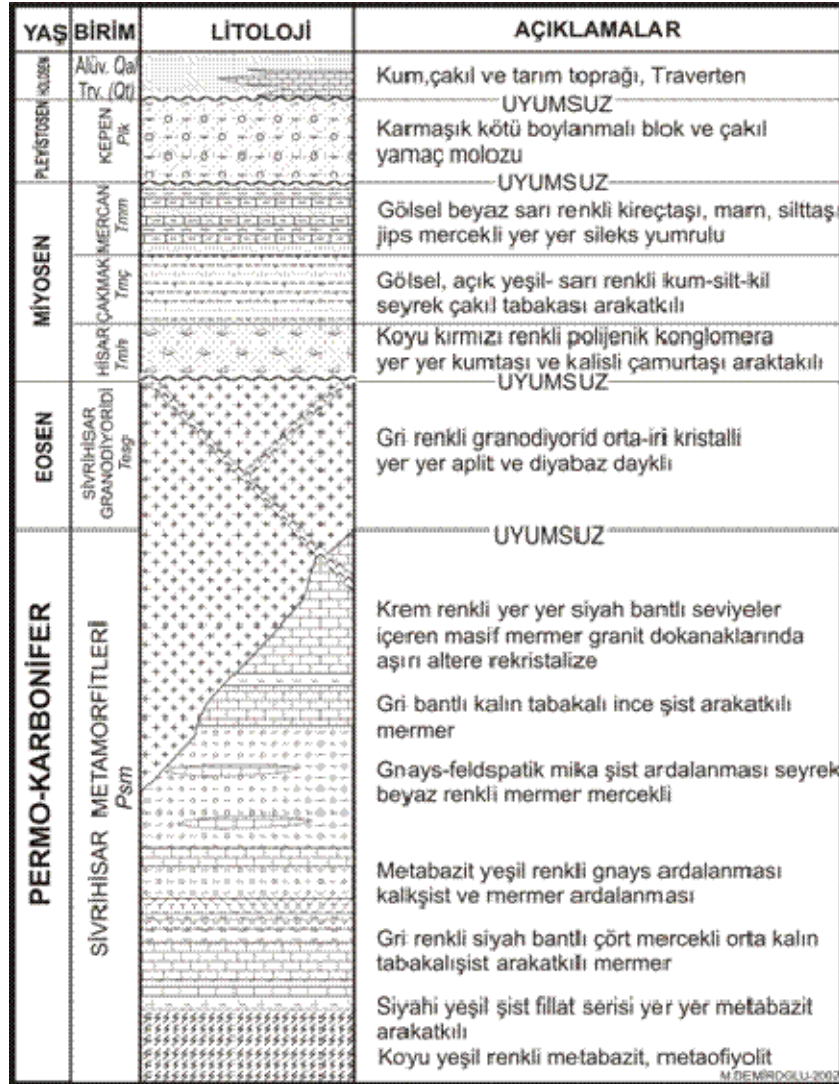
Kaynak No	X (K) m.	Y (D) m.	Kot (m.)	Debi lt/sn	T (°C)
K1	4341980	3993553	887	Kuru	22.8
K2	4347658	395851	1068	0.2	24.9
K3	4351171	396769	1011	5	14.0
K4	4352775	399400	920	65	29.8
K5	4353611	399217	961	137	30.0
K6	4356938	393466	1055	81	19.0
K7	4366839	390127	925	45	35.0
K8	4373481	385292	943	170	22.7
K9	4374508	320558	917	87	20.5

### Jeoloji ve hidrojeoloji

Çalışma alanında yer alan birimler, dört ayrı zaman dilimine aittir (Şekil 2 ve 3). Bunların en

yaşlısı sahada temeli oluşturan Sivrihisar Metamorfileri'dir. Bu birimin üzerine, inceleme alanında farklı büyüklükte yüzlemlerle temsil edilen Sivrihisar Granodiyoriti gelir. Sivrihisar Granodiyoriti ile Sivrihisar Metamorfileri arasındaki dokanakta yer yer magmatik sokulum esnasında oluşmuş kontak metamorfik kayalar bulunur.

Bu iki birimin üzerinde açılal uyumsuzlukla yer alan Miyosen serisi üç ayrı formasyondan oluşur. Bunlar, en altta Hisar formasyonu karasal kırıntılıları, üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak silt, kil, marn ve çamurtaşından oluşan açık renkli Çakmak formasyonu ve bunun üzerinde yanal ve düşey geçişli olarak yer alan Mercan formasyonudur. Mercan formasyonu karbonat



Şekil 3. Çalışma alanının basitleştirilmiş stratigrafik kesiti

yüzdesi yüksek silt, kil, marn ve kireçtaşı ar dalanmasından oluşur. Söz konusu üç formasyon birbirlerini yanal ve düşey geçişli olarak izler ve yan yana ortamların ürünü olarak yer yer birbirlerini üzerlerler. Miyosen serisi Sivrihisar Metamorfitlei ve Sivrihisar Granodiyoriti üzerinde uyumsuz olarak yer alan, değişken kalınlıklı diğer bir birim ise Pleyistosen yaşı Keppen formasyonu'dur. Çalışma sahasında en genç birim vadilere yerleşmiş akarsu çökelleridir.

Çalışma alanı dört ayrı deformasyon ile temsil edilen bir tektonik evrime sahiptir. Bunlardan ilki Sivrihisar Metamorfitlei'nin (Permo-Karbonifer) yapısal özelliklerini oluşturur ve en yaşı yapılar bu döneme aittir. İkinci dönem (Paleosen-Eosen) Sivrihisar Granodiyoridi'nin sokulması ile eş yaşı olan deformasyondur ve bu deformasyon Sivrihisar Metamorfitlei'nin yapısal özelliklerini değişmesine neden olmuştur. Üçüncü dönem (Oligosen-Miyosen) ise Sivrihisar Metamorfitlei'nin ve Sivrihisar Granodiyoriti'nin yükselmesi ve faylanarak yüzeylenmesi ile temsil edilir. Son dönem ise halen süren bölgede eski fayların reaktivasyonu ile meydana gelen güncel sismik aktivite ile temsil edilmektedir.

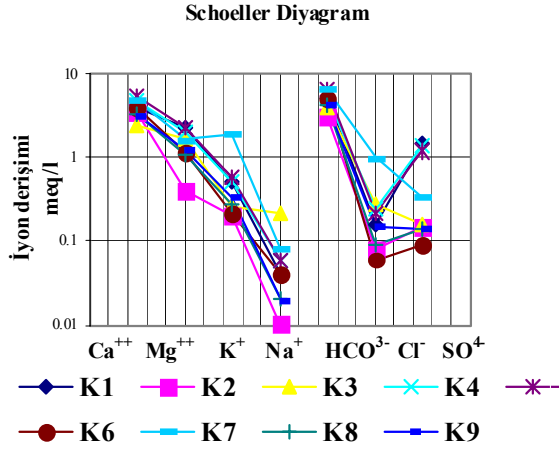
Çalışma alanını oluşturan birimler, hidrojeolojik özelliklerine göre verimi iyi, orta, zayıf akiferler ve su taşımazlar olarak gruplandırılmıştır. Bunlar, özgül debileri 0.1 lt/sn/m'den az olanlar, verimi zayıf akifer ve su taşımazlar, özgül debileri 2 lt/sn/m'den fazla olanlar, verimi iyi yerel akifer, özgül debileri 0.1 lt/sn/m ve 2 lt/sn/m arasında olanlar, verimi orta yerel akifer olarak haritalanmıştır (Şekil 2). Genel olarak geçirimsiz-erimesiz kaya ortam olarak sınıflandırdığımız metamorfik şistler ve granitik kayalar, yüzeydeki kırıklı çatlaklı örtü kalınlığı dışında, geçirimsiz kaya ortamı oluştururlar. Diyabaz dayklar ve siller memeler içinde geçirimsiz perdeler şeklindedir. Ayrıca bölge, geçirimsiz ortam özelliğini, volkanik kayalardaki kayaç yapıcı minerallerden feldispatların ayrışarak killeşmesi ve Neojen istifindeki kil çökeli mi sonunda kazanmıştır. Gerek ayrışma gerekse çökeltme işlevleriyle oluşan killer, kayaların oluşum sırasında sahip oldukları birincil gözenekliliği ve oluşum sonrasında tektonik etkiler altın-

da ortaya çıkan çatlaklar gibi ikincil süreksizlik boşluklarını doldurmuş ve kayaların geçirimliliğini ve iletimliliğini düşürmüştür. Karstlaşma ve mağara gelişimine uygun lito-stratigrafik ve yapısal özelliklere sahip mermerler, metamorfik seri içinde ve üstünde yer alır. Seri içinde ve üstünde yer alan mermerler, çözünebilir kayalar olup, karst hidrojeolojisi açısından yerel geçirimli-düşük erimeli kaya ortam olarak sınıflandırılmıştır.

Metamorfik serinin üstünde 100'lerce metre kalınlığında ve yüksek kotlarda yer alan mermerler havzanın besleniminde de önemli rol oynar. Mermerler içinde açılan sondaj kuyularında yapılan pompa testleri değerlendirmelerine (Kresic, 1997) göre hidrolik iletkenlikleri 1.19 and 98.9 m/gün ve özgül debileri 0.64 ve 75 l/sn/m olarak hesaplanmıştır. Metemorfik seri üzerinde uyumsuz olarak gelen Neojen istif içinde yer alan kireçtaşları çalışma alanında ikinci önemli akiferlerdir ve yerel ve yaygın geçirimli kaya ortam özelliğindedir. Neojen konglomeralar ve kum, kil mil ve çakıllardan oluşan alüvyonlar, yerel ve yaygın geçirimli taneli ortam olarak belirlenmiştir. Konglomeralarda açılan sondaj kuyularında yapılan pompa testleri değerlendirmelerine göre hidrolik iletkenlikleri 0.39 – 0.55 m/gün ve özgül debileri 0.27 – 0.39 l/sn/m olarak hesaplanmıştır.

### Hidrojeokimya

Çalışma kapsamında incelenen suların kimyasal bileşimlerinin litoloji ile ilişkisini ortaya koymak ve anyon - katyon miktarlarının görsel olarak kolaylıkla değerlendirilebilmek için yarı-logaritmik Schoeller diyagramı kullanılmıştır (Şekil 4). Suların kimyasal sınıflanmasını yapmak ve kimyasal bileşimlerinin şekillenmesinde etken olan litolojiyi tanımlamak için de Piper grafikleri çizilmiştir (Piper, 1944). Öncelikle kurak ve yağışlı dönem grafikleri ayrı ayrı çizilmiş belirli bir farklılık gözlenemediği için tek bir grafik olarak verilmiştir (Şekil 4 ve Şekil 5). Şekil 4 ve 5' de görüldüğü gibi su örnekleri  $Ca^{++}>Mg^{++}>Na^{+}>K^{+}$  ve  $HCO_3^{-}>SO_4^{-2}>Cl^{-}$  şeklinde anyon katyon dizilimi sergilemişlerdir. Yalnız Çardak Hamamı  $Ca^{++}>(Na^{+}+K^{+})>Mg^{++}$  ve  $HCO_3^{-}>Cl^{-}>SO_4^{-2}$  şeklinde bir dizilim sergilemiştir.

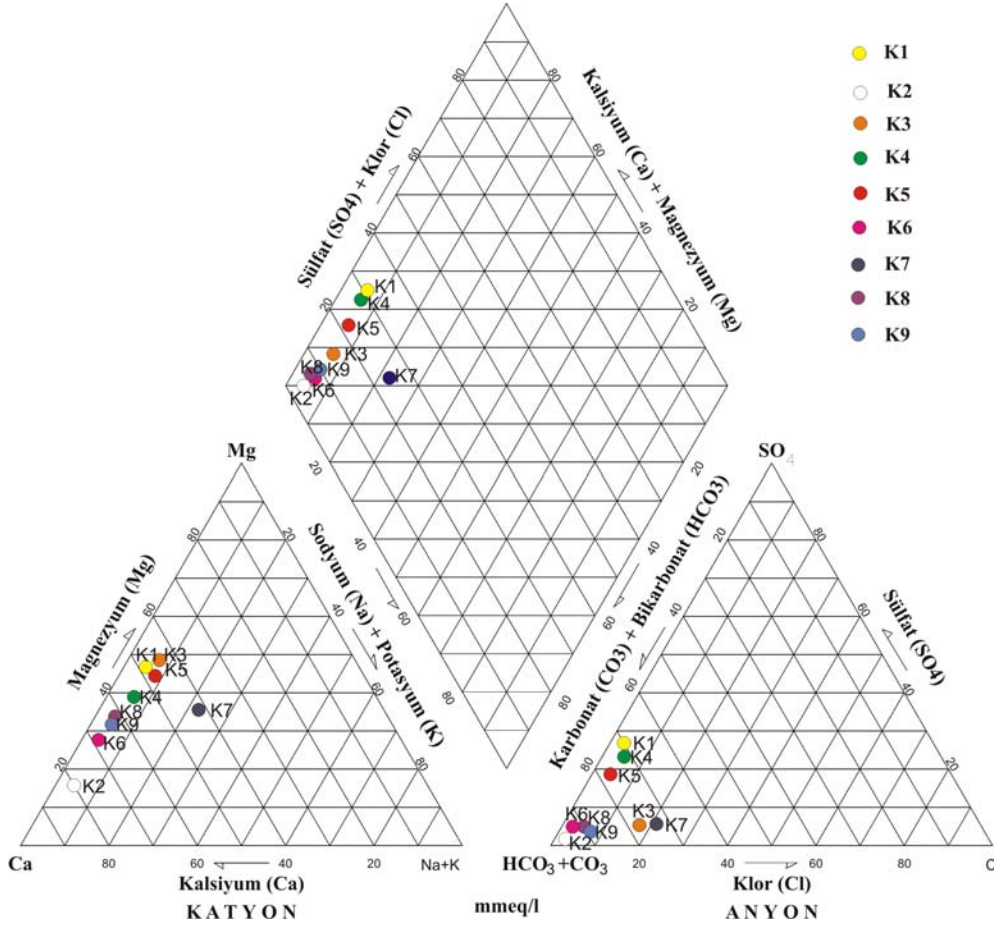


Şekil 4. Su noktalarına ait yarı-logaritmik Schoeller grafiği

Bu dizilim karbonatlı kayalardan gelen suların dizilimlerine benzemektedir ki bu da akifer sisteminin litolojik tanımlamasıyla örtüşmektedir. Suların sınıflamasını yapmak için hazırlanan Piper üçgen diyagramında (Şekil 5) görüldüğü

gibi, K7 dışında tüm sular Ca-Mg- HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> lı sular sınıfında yer almıştır. K7 ise Ca-(Na+K)-Mg-HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> lı sular sınıfında yer almıştır. Piper diyagramında ortaya çıkan bu su sınıflaması yarı logaritmik Schoeller diyagramında ortaya çıkan litolojiyle birebir örtüşmüştür. Suların kimyasal bileşimlerinde etken olan birim karbonatlı kayalardır. Sularda ölçülen nispeten yüksek magnezyum değerlerinin kaynağını dolomitik mermerler oluşturmaktadır.

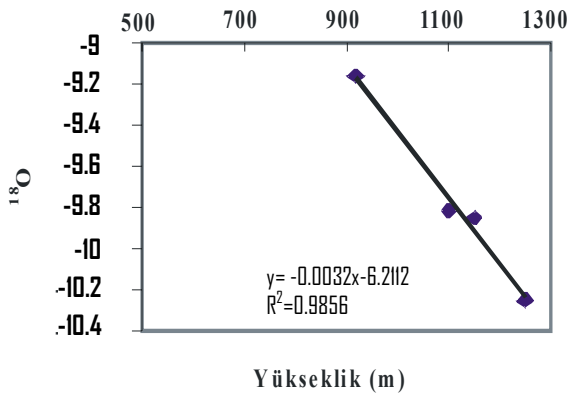
Çalışma kapsamında elde edilen  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri Ankara Meteorik Doğrusu ( $\delta^2\text{H} = 8.\delta^{18}\text{O} + 14,5$ ) ile Dünya meteorik su doğrusu ( $\delta^2\text{H} = 8.\delta^{18}\text{O} + 10$ ) (Özaydın vd., 2001) ile karşılaştırılmış ve Çukurçeşme (K3 no'lu örnek) dışındaki tüm sular Ankara meteorik doğrusu ile Dünya meteorik su doğrusu arasında kalmıştır. Tarihi bir çeşme olan Çukurçeşme kaynağında, su önce bir sarnıçta biriktirilip sonra Çukurçeşme'ye verilmektedir. Bu süreçte buharlaşma



Şekil 5. Su noktalarına ait Piper grafiği

olacağından, elde edilen bu sonuçta normaldir. Sonuç olarak inceleme alanındaki sular atmosferik kökenlidir.

İzotop hidrolojisi konusunda geçmişte yürütölen çalışmalar  $\delta^{18}O$  içeriğinin, coğrafi konum, enlem gibi parametrelerin yanı sıra esas olarak yükselti ile ters orantılı biçimde azaldığı gösterilmiştir (Aquilina vd., 2005). Buna göre her yüz metrelik yükseklik artışına karşılık,  $\delta^{18}O$  içeriğindeki azalma ‰-0.15 ile ‰-0.50 arasında değiştiği ifade edilmiştir (Clark ve Fritz, 1997). Sakarya havzası içinde daha önce ölçölen yağmur suyunu temsil eden kaynakların verileri ile çalışma alanımızda yağmursuyunu temsil eden Musluk çeşmesi (K2) verileri kullanılarak inceleme alanında  $\delta^{18}O$ -yükseklik ilişkisi ‰-0.32 olarak belirlenmiştir; yani her yüz metrelik yükseklik artışına karşılık  $^{18}O$  içeriğindeki azalma ‰-0.32 dir (şekil 6).

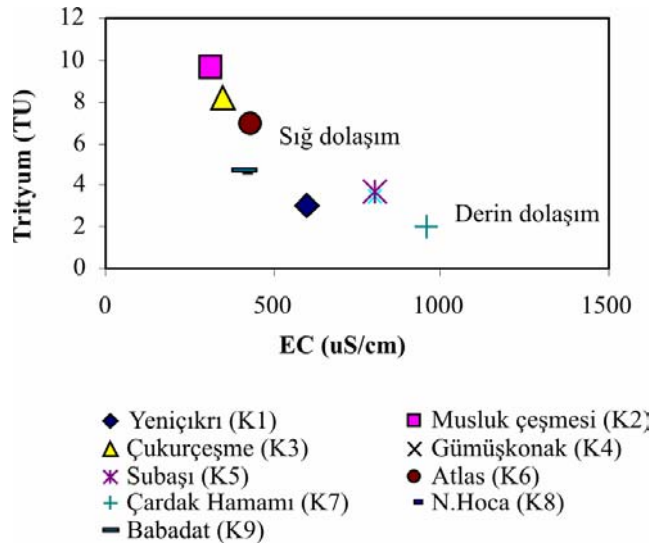


şekil 6.  $\delta^{18}O$ - yükseklik grafiği

Su noktalarının Trityum-EC ilişkisi, yeraltısuyunun akiferde dolaşım ve su -kayaç etkileşim süresi hakkında fikir verir. Trityum-EC grafiği çizilmiş ve şekil 7’de verilmiştir. Buna göre, yüksek EC (590-1216 mg/l) ve düşük  $^3H$  (0 – 4 TU) değeri derin dolaşımlı, düşük EC (309-440 mg/l) ve yüksek  $^3H$  (4-10 TU) değeri sığ dolaşımlı sular olarak gruplandırılmıştır. Bu sular aynı zamanda değişik oranlarda birbirleriyle karışmaktadır.

Su noktalarının trityum değeri ile yeraltısuyunun akiferden geçiş süresi kurak dönem için piston akım modeli yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 2’de veril-

miştir. Piston akım modeli yeraltısuyunun hidrojeolojik sistem içerisinde borularda olduğu gibi hareket ettiği ve birbirini takip eden iki zaman dilimi içerisinde sisteme giren suların hiç karışmadığı kabulüne dayanmaktadır. Hiç karışım olmadığı durum varsayılarak belirlenen yeraltısuyu yaşı, olası yaş aralığının alt sınırını oluşturmaktadır (Tezcan 1993).



şekil 7. Kaynakların Trityum-EC grafiği

Tablo 2. Su noktalarının kurak dönem  $^3H$  verileri ile yeraltısuları dolaşım yaşı

Kurak Dönem Ort.	$^3H$ (TU)	SD	t (yıl)
Yeniçkırı (K1)	2.47		29,40
Musluk Çeşmesi (K2)	12.61	1.67	0
Çukurçeşme (K3)	7.37	1.18	9.68
55886/A(K4)	2.21	1.38	31.40
Subaşı kaynağı (K5)	3.68	0.26	22.21
Atlas kaynağı (K6)	6.9	0.4	10.87
Çardak hamamı K7)	1.46	1.26	38.88
Nasrettin hoca (K8)	4.05	0.79	20.48
Babadat kaynağı (K9)	4.2	0.62	19.82

Bu anlamda, kaynakların dolaşım sürelerinin ya da konaklama sürelerinin çok daha uzun olduğu söylenebilir. Çalışma alanında sıcaklığı en yüksek olan su noktası Çardak Hamamı (34-35.5  $^{\circ}C$  arasında) kaynağıdır. Kaynak, 0-3.45 TU arasında değişen trityum değeri ile çalışma alanında en yaşlı suları temsil etmektedir ( 30-50 yıl). Tablo 2’de göröldüğu gibi çalışma alanında en genç suları bir başka deyişle güncel yağışları, Musluk çeşmesi temsil etmektedir.



Atlas kaynağının trityum değerlerine bakıldığında ise beslenimin kaynağa intikalinin Çukurçeşme kaynağı dışında diğer kaynaklara göre, kısa sürede olduğunu göstermektedir.

## Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- İnceleme alanında Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar, Eosen yaşlı granitik kayalar, Neojen yaşlı sedimanter kayalar ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yer alır. Çalışma sahasını oluşturan Neojen yaşlı birimler konglomera, kireçtaşı, marn, kil ve jipsli serilerdir.
- Genel olarak geçirimsiz ortam olarak sınıflandırdığımız metamorfik şistler, granitik kayalar ve diyabaz daykalarıyla sınırlanan mermerler sıcak ve soğuk sular için ana rezervuar kayac niteliğindedir ve havza içindeki diğer kırıklı çatlaklı, kısmen karst ve taneli akifer sistemlerinin beslenmesinde de önemli rol oynamaktadır.
- Çalışma alanında yapısal olarak birimler dört ayrı dönemin ürünü olarak değerlendirilebilir. İlk dönem (Permo-Karbonifer) çalışma alanında yüzeylenen temel birimlerin yapısal özelliklerini oluşturur İkinci dönem (Paleosen-Eosen) Sivrihisar Granodiyoriti'nin sokulması ile eş yaşlı olan deformasyondur ve bu deformasyonun ürünü olan kapalı kıvrımlar bölgedeki yüksek alanların tamamının yapısını oluşturur. Bu dönemi izleyen dönemde (Oligosen-Miyosen) ise kıvrımları kesen granitleri de deforme eden ve Neojen birimlerinin çökeline eş yaşlı doğrultu atımlı fayların gelişimi ile temsil edilir. Bölgedeki en genç dönem de ise Kuvaterner yaşlı birimlerin içinde yer yer gözlenebilen normal fayların eski bir fay zonu üzerinde gelişen izleridir.
- Dokuz adet su noktasında yerinde ve laboratuvarında yapılan ölçümlere göre, kurak ve yağışlı dönem su örnekleri genel olarak  $Ca^{++}>Mg^{++}>Na^{+}>K^{+}$  ve  $HCO_3^{-}>SO_4^{-2}>Cl^{-}$  şeklinde bir katyon-anyon trendi sergilemektedir. Bu dizilim karbonatlı kayalardan gelen suların dizilimlerine benzemektedir. Bu

veri, akifer sisteminin litolojik tanımlamasıyla örtüşmektedir. Sular baskın olarak  $Ca^{++}$ - $Mg^{++}$ - $HCO_3^{-}$  lı sular sınıfında yer almaktadırlar. Yalnız Çardak Hamamı (K7 no'lu örnek)  $Ca^{++}>Na^{+}>Mg^{++}>K^{+}$  ve  $HCO_3^{-}>Cl^{-}>SO_4^{-2}$  şeklinde bir dizilim sergileyerek,  $Ca^{++}$ - $Na^{+}$  -  $HCO_3^{-}$  lı sular sınıfında yer almıştır.

- Sakarya havzası içinde daha önce çalışılan yağmur suyunu temsil eden kaynakların verileri ile çalışma alanında musluk çeşmesi verileri kullanılarak inceleme alanında  $\delta^{18}O$ /yükseklik ilişkisi ‰-0.32 olarak belirlenmiştir.  $\delta^{18}O$  yükseklik ilişkisinden faydalanılarak su noktalarının beslenme yükseklikleri bulunmuştur.
- Trityum-EC grafiği çizilerek, farklı kökenli suların gruplandırılması sonucu; düşük trityum ve yüksek EC' li sular derin dolaşım (K4, K5, K7 no'lu örnekler), yüksek trityum ve düşük EC'li suların sığ dolaşım sular (K2, K3, K6, K8, K9 nolu örnekler) olduğu görülmüştür. Bu sular aynı zamanda belli oranlarda birbirleriyle karışmaktadır.

## Kaynaklar

- Appello, C.A.J. ve Postma, D., (1993). *Geochemistry, groundwater and pollution*, Balkema, A.A., Rotterdam.
- Aquilina, L., Ladouche, B. ve Dölfliger, N., (2005). Recharge processes in karstic systems investigated through the correlation of chemical and isotopic composition of rain and spring waters, *Applied Geochemistry*, **20**, 2189-2206.
- Clark, D. ve Fritz, P., (1997). *Environmental isotopes in hydrogeology*, USA.
- Freze, A.R. ve Cherry, A.J., (1979). *Groundwater*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J. 07632, London, UK.
- Kresic, N., (1997). *Quantitative solutions in hydrogeology and groundwater modeling*, CRC press Lewis Publishers, 2000 Corporate Blvd., N.W., Boca Raton, Florida 33431.
- Örgün, Y., Altınsoy, N., Gültekin, A.H., Karahan, G. ve Çelebi, N., (2005). Naturalradioactivity levels in granitic plutons and groundwaters in southeast part of Eskişehir, Turkey, *Applied Radiation and Isotopes*, **63**, 267-275.
- Örgün, Y., Gültekin, A.H., Altınsoy, N., Çelebi, N. ve Karahan, G., (2004). Hydrogeochemical cha-

- racteristics and radioactivity levels of some of the groundwaters from western Anatolia, *Proceedings*, International Symposium on Earth System Sciences, 643-650, Istanbul.
- Özaydın, V., Şendil, U. ve Altınbilek, D., (2001). Stable isotope mass balance method to find water budget of a lake, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, **25**, 4, 329-344.
- Piper, A.M., (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses, *Transactions-American Geophysical Union*, **5**, 914-923.
- Şahinci, A., (1991). *Doğal suların jeokimyası*, Reform Matbaası, 51-246, İzmir.
- Tezcan, L., (1993). Karst akifer sistemlerinin tritium izotopu yardımıyla matematiksel modellenmesi, *Doktora Tezi*, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- White, W.B., (2002). Karst hydrology; recent developments and open questions, *Engineering Geology*, **65**, 2-3, 85-10.