



## Sızır (Gemerek – Sivas) kaynakları akiferinin hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri

*Hydrogeological and hydrogeochemical properties of the Sızır (Gemerek – Sivas) springs aquifer*

**Harun AYDIN, Mehmet EKMEKÇİ**

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Bölümü, 06800, Beytepe, ANKARA

Geliş (received) : 2 May 2005

Kabul (accepted) : 28 June 2005

### ÖZ

Sızır kaynakları, Paleozoyik yaşlı Akdağmadeni Litodeminden oluşan kısmen karstlaşmış kırıklı – çatlaklı mermer akiferden boşalmaktadır. Ortalama 4 m<sup>3</sup>/s boşalığa sahip olan kaynakların hidrodinamik yapısı; bölgenin jeolojik, hidrolojik ve hidrokimyasal özelliklerine bağlı olarak ortaya konmuş, böylece söz konusu akifer için etkin bir yönetim modelinin oluşturulması için temel hidrojeolojik bilgiler sağlanmıştır. Sızır kaynaklarının yer aldığı Yukarı Kızılırmak Havzasında, litolojiye bağlı olarak meydana gelen kirlilikten kaynaklanan su kalitesi problemi, kaynakların hidrojeolojik davranışının anlaşılmasının önemini daha da arttırmıştır. Hidrolojik analizler, akiferin aktif depolama kapasitesinin 117\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> olduğunu ve çekilme dönemi sonunda bu hacmin 60\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>lük bir kısmının depolamada kaldığını ortaya koymuştur. Kütle denge hesaplamaları, kaynakların beslenme alanının topoğrafik drenaj sınırının dışında daha geniş bir mermer alanını kapsayacak şekilde yayıldığını göstermektedir. Hidrojeolojik yapıya göre havzada iki tür kaynak görülmektedir. Mevsimsel akışlı memba kaynakları sığ dolaşım – düşük depolamalı sistemleri temsil ederken Sızır kasabasında görece kararlı debi ile boşalan mansap kaynakları (Sızır kaynakları) ise, daha uzun/derin dolaşım ve yüksek depolama kapasitesine sahip ana akifer ile temsil edilmektedir. Kaynakların hidrojeolojik ve hidrokimyasal özellikleri dikkate alındığında, Sızır kaynaklarının sürdürülebilir verim anlayışıyla geliştirilebileceği sonucuna varılmıştır. Beslenme alanının sarp bir topoğrafyaya sahip olması nedeniyle, yerleşim ve tarıma uygun olmayan mermer akiferde insan kaynaklı kirlilik beklenmemektedir. Bu nedenle, bu kaynakların korunması için uygun bir kaynak başı koruma önerilmektedir. Diğer taraftan, düşük depolama kapasitesi ve mevsimsel akışlı memba kaynaklarının geliştirilmesi olanaklı görülmemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrojeoloji, mermer akifer, Sızır kaynakları (Sivas), su kalitesi, yeraltısuyu.

### ABSTRACT

*Sızır Springs discharge from a partly karstified fissured – fractured marble aquifer made of Paleozoic Akdağmadeni Lithodem. The hydrodynamic structure of the springs having a mean flow rate of 4 m<sup>3</sup>/s, was studied in terms of the geological, hydrological and hydrochemical characteristics of the region, these providing basic hydrogeological information for an effective management for the aquifer. Water quality problems due to lithological contamination in the Upper Kızılırmak Basin, where the Sızır springs are located, make it even more important to understand the hydrogeological behaviour of these fresh water springs. Hydrological analyses revealed that the active storage capacity of the aquifer is 117\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>, and 60\*10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> of this volume remained in the storage at the end of the recession period. Mass balance computations suggested that the catchment area of the springs extends well beyond the topographical drainage boundary, including a larger area than that of the marble. Due to the hydrogeological structure, two types of springs occur in the basin. The upstream springs with variable flow rate represent shallow circulation – low storage systems whereas the downstream springs (Sızır springs) that discharge in the*

*Sızır area and that have a rather steady flow rate represent the main aquifer of longer/deep circulation and high storage capacity. Based on hydrogeological and hydrochemical characteristics of the springs, it was concluded that the aquifer should be developed through the Sızır springs, considering the sustainable yield concept. Owing to the rugged topography, which does not favour settlement and agriculture, the recharge area of the marble aquifer is not under the risk of anthropogenic pollution. Therefore, an appropriate spring head protection is proposed to protect the springs. The upstream springs on the other hand are not suitable for further development due to their low storage capacity and variable flow rates.*

**Key Words:** Hydrogeology, marble aquifer, Sızır springs (Sivas), water quality, groundwater.

## GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, yoğun tarım ve sanayileşmenin yanı sıra, beklenen iklim değişimlerinin olumsuz etkileri karşısında daha da önem kazanan su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi ulusal ve uluslararası gündemin en önemli maddesi durumundadır. Nitekim Birleşmiş Milletler, 2005 – 2015 döneminde çalışmalarının ana temasını “yaşam için su” şeklinde tanımlamıştır. Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi, her şeyden önce etkin bir korumayı gerektirmektedir. Su kaynaklarının miktar ve kalite açısından etkin bir koruma ve yönetim modelinin oluşturulması için su kaynağının bulunduğu sistemin, fiziksel parametreleri (lito-stratigrafi, tektonik, morfoloji) ile dinamik özellikleri (yağış rejimi, süzülme, beslenme, dolaşım, depolama) arasındaki ilişkilerin sağlıklı bir şekilde tanımlanması ve bu ilişkilerin bir “hidrojeolojik kavramsal model” çerçevesinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yukarı Kızılırmak Havzası'nın coğrafik konumu ve jeolojik yapısı, havzanın su kaynakları açısından yüksek potansiyele sahip olmasını engellemektedir. Bu nedenle havzadaki su kaynaklarının geliştirilmesi ve optimum düzeyde kullanılmasına yönelik koruma ve yönetim modelinin oluşturulması bölge açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Akdağmadeni Litodemi'ne ait metamorfik kayaların yaygın olduğu ve ortalama 4 m<sup>3</sup>/s'lik bir debi ile metamorfik seriye ait kırıklı – çatlaklı ve yer yer karstlaşma gösteren mermerlerden boşalan Sızır kaynakları ve bunların bağlı bulunduğu hidrojeolojik sistemin kavramsal modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu kapsamda; Sızır Mermer Akiferi (SMA) ve yakın dolayının jeolojik yapısı, akifer türü, yayılımı, beslenme, depolama ve boşalım ilişkileri açısından değerlendirilmiş ve su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri

su kalitesi ve koruma stratejilerine yönelik olarak incelenmiştir.

SMA ve yakın dolayının lito-stratigrafi, tektonik ve morfolojiye ilişkin özellikleri Özcan vd. (1980), Sümengen vd. (1987), Şahin (1991), Özaksoy (1993), Yılmaz vd. (1997), Kara vd. (1999) ve Şahin (1999) tarafından yapılmış olan çalışmalardan yararlanılarak tanımlanmıştır. Hidrolojik olarak, Ayanözü Deresi drenaj alanı içinde kalan SMA'nin ana boşalımının % 90'ını Sızır kasaba merkezinde, yaklaşık 40 noktada ve ortalama 4 m<sup>3</sup>/s'lik debi ile Sızır kaynakları gerçekleştirmektedir. Boşalımın çok sayıda yaygın çıkışlı kaynaktan meydana gelmesi kaynak çıkışlarının ayrı ayrı incelenmesini güçleştirmektedir. Bu nedenle, SMA'nin beslenme, depolama ve boşalım özelliklerinin ortaya konması amacıyla Sızır kasaba merkezinde meydana gelen tüm boşalimler grup kaynak olarak tek noktada ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Çalışma alanında Yağış Gözlem İstasyonu (YGİ) bulunmaması nedeniyle, alanın yakın dolayında yer alan Akçakılışa, Çukurören, Felahiye, Gemerek, Hasbek ve Ortaköy YGİ'da kaydedilen verilerden yararlanılmıştır. Sızır kasaba merkezinde kurulu olan Akım Gözlem İstasyonunun (AGİ) gözlem süresi ise, 1944 – 1969 yılları arasında kapsamaktadır. Dolayısıyla beslenme ve boşalım özelliklerinin incelenmesinde, sırasıyla 1974 ve 1997 yılları arasında çalışma alanının yakın civarında bulunan YGİ'da kaydedilen ortalama aylık yağışlar ile 1963 ve 1969 yılları arasında AGİ'da ölçülen aylık akımlar dikkate alınmıştır. SMA'nin depolama özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Sızır Kasaba merkezindeki AGİ'da 1944 ve 1969 yılları arasında ölçülen aylık akım değerlerinin ortalaması kullanılmıştır.

SMA'nin boşalımını gerçekleştiren 13 su noktasından Ekim – Kasım – Aralık 1998, Ocak – Şubat 1999 ve Nisan – Haziran 1999 dönemlerin-

de su kimyası amaçlı aylık aralıklarla yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır (Çizelge 1). Örnek alımı, yerinde ölçümler ve laboratuvar analizleri uluslararası standartlara (APHA vd., 1989) uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Suların pH, elektriksel iletkenlik (EC –  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ve sıcaklık ( $T - ^\circ\text{C}$ ) gibi özellikleri genellikle kaynak çıkışlarında ölçülmüştür. Alınan örnekler üzerinde yapılan majör iyon ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) analizleri ise, TSE belgeli Hacettepe Üniversitesi, Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezi (UKAM) Laboratuvarlarında elektronötralite  $\pm 0.05$  olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Örnekleme noktalarına ait türetilmiş değişkenlerin (mineral doyumluk indisi, SI, karbondioksit kısmi basıncı,  $\text{PCO}_2$  vb.) belirlenmesi amacıyla Plummer vd. (1976) tarafından WATEQF adı ile hazırlanan ve Arıkan (1985) tarafından kişisel bilgisayarlara WATEQB olarak uyarlanan bilgisayar programı kullanılmıştır. Ayrıca, STATISTICA bilgisayar programı ile Kümeleme analiz tekniğinde “Ward Yöntemi” kullanılarak, su noktaları arasındaki benzerlik ve farklılıklar yorumlanmıştır. Kümeleme analizinde su örneklerine ait kimyasal analiz verileri (majör iyon derişimleri), kaynak çıkışında ölçülmüş hidrokimyasal ve fiziksel veriler (T, pH, EC) ve bu verilerden türetilmiş (SI,  $\log \text{pCO}_2$ ,  $\text{PCO}_2$ , vb.) parametreler kullanılarak su noktaları arasındaki olası benzerlikler belirlenmiştir.

Çizelge 1. Çalışma alanındaki kaynak sularının genel özellikleri.

Table 1. General properties of the spring waters in the study area.

Kod	Ad	Lokasyon	Kot (m)	Litoloji	Türü
K1	Bent Kaynağı	Sızır	1378	Mer - Alüv	K
K14	Gazi Pınarı	Sızır	1368	Mer - Alüv	K
K15	Şelale Kaynağı	Sızır	1359	Alüv - Ta	K
K16	Kırgöz Kaynağı - 1	Sızır	1418	Mer - Alüv	K
K17	Çömçe Pınarı	Sızır	1493	Alüv	K
K18	Eşikli Pınarı	Eşikli	1479	Mer	Ç
K19	Kilise Pınarı	Çatköy	1555	Gn - Şi - Mer	Ç
K20	Çatköy Pınarı	Çatköy	2032	Gn - Şi - Mer	Ç
K21	Horozkilise Kaynağı	Horozkilise	1810	Gn - Şi - Mer	K
K22	Dendil Kaynağı	Dendil	1265	Mer - Alüv	K
K23	Pınarbaşı Kaynağı	Sızır	1413	Mer - Alüv	K
KG4	Kırgöz Kaynağı - 2	Sızır	1369	Mer - Alüv	KG
KG8	Saten Kaynağı	Sızır	1368	Mer - Alüv	KG

Alüv: alüvyon; Gn: gnays; Mer: mermer; Şi: şist; Tra: traverten; Ç: çeşme; K: kaynak; KG: kaynak grubu.

## ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI

Yukarı Kızılırmak Havzasındaki SMA'nin yer aldığı Ayanözü Deresi drenaj alanı, Sivas, Yozgat

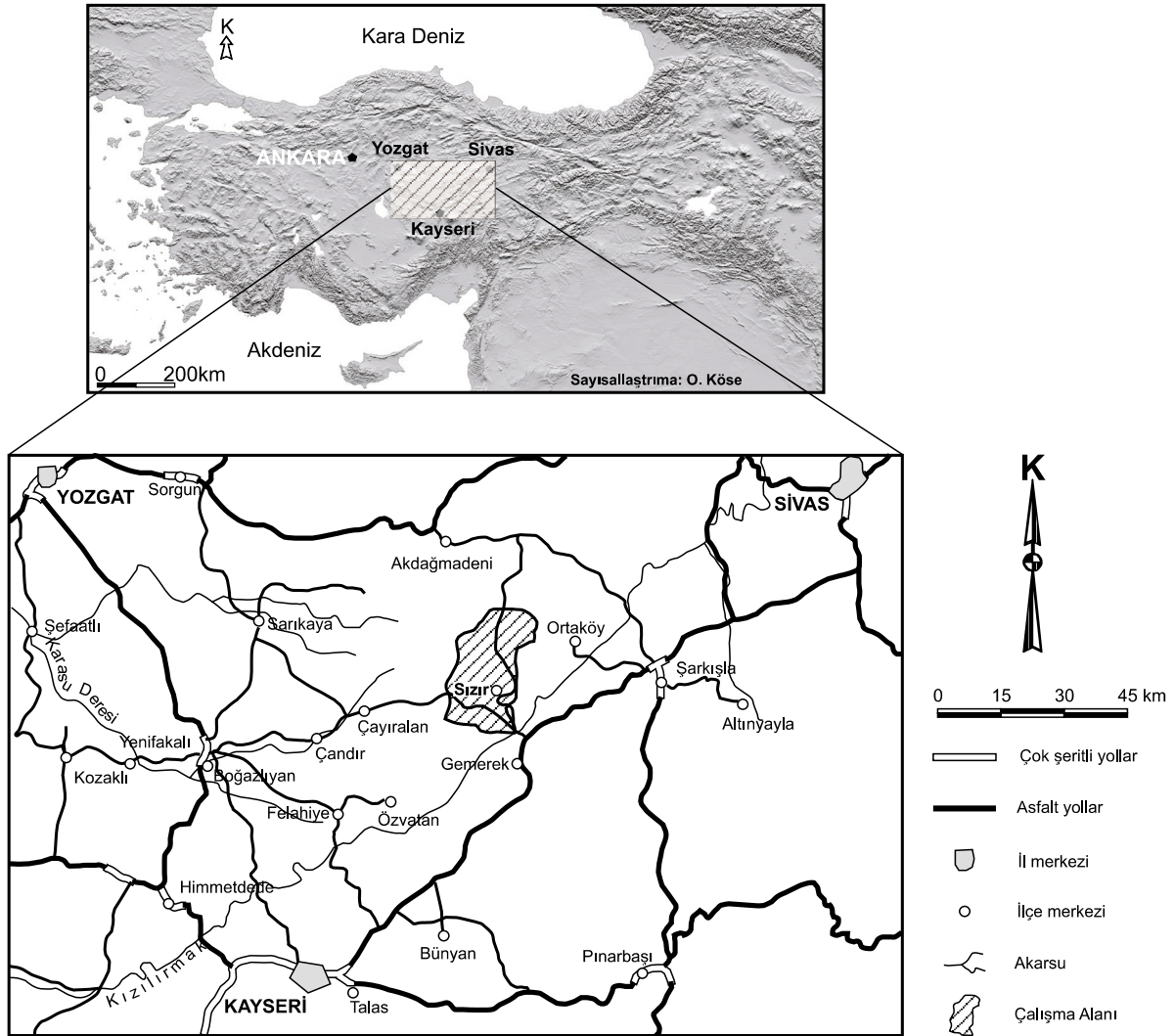
ve Kayseri illeri idari sınırları içinde yer almaktadır. Ayanözü Deresi yaklaşık 484  $\text{km}^2$ 'lik bir drenaj alanına sahip olup, kuzeyde Akdağmadeni, doğuda Ortaköy, güneyde Gemerek ve batıda Çayıralan yerleşim merkezleri ile sınırlanmaktadır (Şekil 1). Dağlık bir topoğrafyaya sahip olan Ayanözü Deresi drenaj alanının ortalama yükseltisi 1675 m olup, drenaj alanının % 58'i ortalama havza yükseltisinin üzerinde kalmaktadır (Aydın, 1999). Çalışma alanı ve yakın civarında İç Anadolu ve Doğu Anadolu bölgesi karasal iklimi hüküm sürmektedir. SMA ve yakın civarında yıllık alansal yağış, gerçek buharlaşma – terleme ve ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla 450 mm, 100 mm ve  $7.9 ^\circ\text{C}$ 'dir. Çalışma alanının kuzey kesimi genelde sık bitki örtüsüne sahip olup, çam ve meşe ağaçları geniş alanlar kaplamaktadır.

## JEOLJİK YAPI

Çalışma alanının büyük bir bölümünde Paleozoyik – Mesozoyik yaşlı Akdağmadeni Litodemi'ni oluşturan metamorfik seri yüzeylenmektedir. Bölgede, Tersiyer yaşlı birimlerin temeli konumunda yer alan metamorfik seri gnays, şist, amfibolit, kuvarsit ve mermerlerden oluşmaktadır (Şekil 2). Şahin (1991), Yılmaz vd. (1997) ve Şahin (1999)'ne göre; söz konusu birim metasedimanter bir istif olup şiddetli yapısal değişime ve metamorfizmaya uğramıştır.

SMA'ni oluşturan kırıklı – çatlaklı ve yer yer karstlaşmalı mermerler metamorfik serinin üst seviyesinde yer almaktadır. Litodemin en yaygın kayalarından olan mermerler, genellikle çalışma alanının orta kesiminde GB - KD doğrultusu boyunca bir şerit şeklinde yüzeylenmektedir (bkz. Şekil 2). Çalışma alanındaki mermerler, genellikle çok kırıklı – çatlaklı, yer yer kuvarsit ve şist katkılı ve kıvrımlanmış, beyaz, kirli beyaz ve açık gri tonlarında gözlenmektedir. Ayrıca, çalışma alanının kuzey – kuzeybatısında gnays, şist ve kuvarsitler arasında kalınlığı fazla olmayan, genellikle beyaz, düzgün tabakalı, yer yer bol kıvrımlı mermerlere de rastlanmaktadır (Özcan vd., 1980; Şahin, 1991).

Çalışma alanı ve yakın civarında, Akdağmadeni Litodemi üzerine Orta – Geç Eosen yaşlı kumtaşı, kiltası ve şeyl aralanmasından oluşan Tokuş Formasyonu açısal uyumsuzlukla gelmektedir (Yılmaz vd., 1997). Eosen yaşlı birimlerin

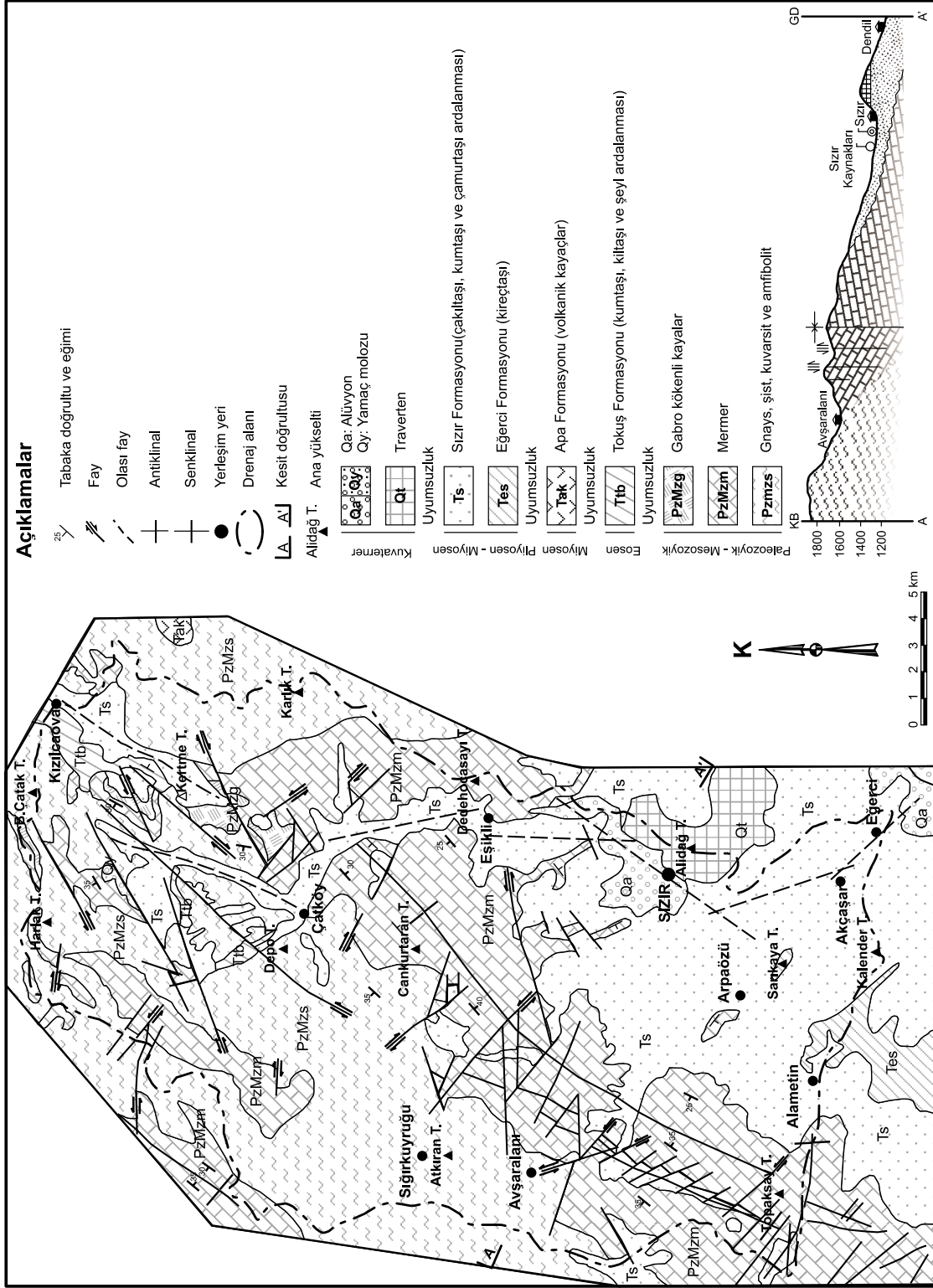


Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası.  
Figure 1. Location map of the study area.

üzerinde ise, Erken – Orta Miyosen yaşlı volkanik kayalar (Apa Formasyonu) ile Geç Miyosen – Pliyosen yaşlı kireçtaşı (Eğerci Formasyonu) ve çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı araldanmasından oluşan Sızır Formasyonu yüzeylenmektedir. Bölgede, Kuvaterner yaşlı çökeller ise traverten, yamaç molozu ve alüvyon ile temsil edilmektedir (Özcan vd., 1980; Sümengen vd., 1987; Özaksoy, 1993).

Şahin (1991)'e göre, çalışma alanında yüzeylenen metamorfik kayalarda gözlenen kıvrımlı yapılar, metamorfizma ve deformasyonun etkisiyle gelişmiş foliasyon ve şistozite düzlemlerinden oluşmuştur. Çalışma alanını KD – GB doğ-

rultusu boyunca kesen senklinal ile kuzeydoğuya dalımlı antiklinal ve KB kesiminde benzer doğrultuda senklinal, harita ölçeğinde izlenebilen büyük ölçekli kıvrımlardır. Çalışma alanında özellikle mermerlerin kırılması ve ötelenmesi ile tipik olan fay sistemleri, kıvrımlı yapıları verev konumunda kesen sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylar ile temsil edilmektedir. Bu fay sistemlerinde gözlenen hakim doğrultu KB – GD yönlüdür. Ayrıca çalışma alanının KKD kesiminde az sayıda KD – GB doğrultulu ve eğim atımlı faylar gözlenmektedir (bkz. Şekil 2). Bunun yanı sıra, metamorfik seri ile allokton birimler arasındaki dokanak faylıdır. Gömülü olan bu faylar yüzeyde gözlenmemektedir (Sümengen vd., 1987).



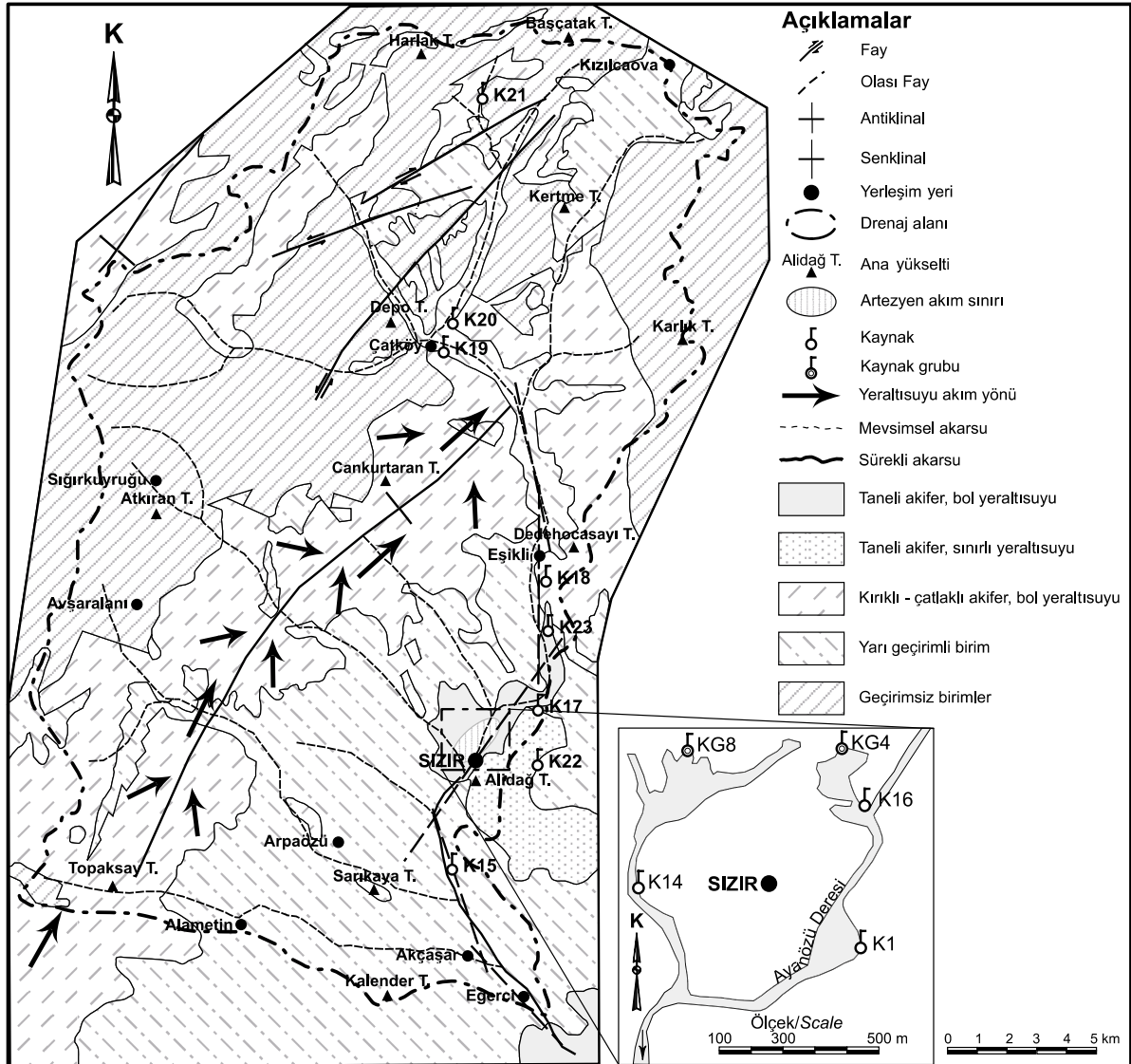
Şekil 2. Çalışma alanının jeolojisi haritası (Kara vd. (1999) ile Şahin (1991)'den uyarlanmıştır).  
Figure 2. Geological map of the study area (modified from Kara et al. (1999) and Şahin (1991)).

## SIZIR KAYNAKLARI AKİFERİNİN HİDROJEOLJİSİ

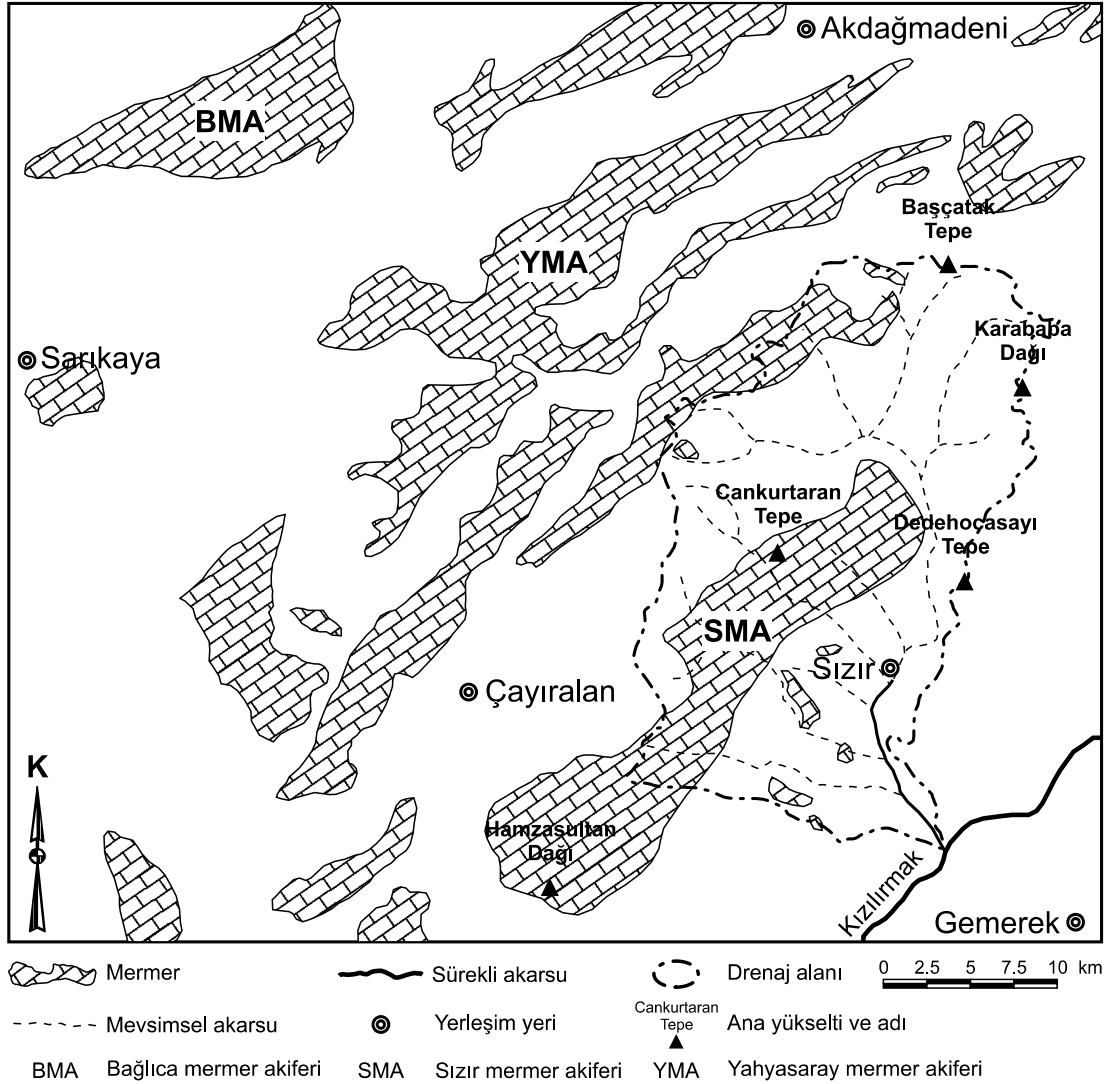
### Akifer Türü ve Yayılımı

Çalışma alanında, Paleozoyik – Mesozoyik yaşlı mermer (SMA) ve Kuvaterner yaşlı alüvyon olmak üzere, iki ana akifer ayırt edilmiştir (Şekil 3). SMA, alta Akdağmadeni Litodemi'ne ait gnays, şist, kuvarsit ve amfibolitten oluşan geçirimsiz seri ile üste ise çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan yarı geçirimli Sızır Formasyonu arasında kalan mermerlerden oluşmaktadır. Çalışma alanında KD

– GB doğrultulu uzanımına sahip SMA, kuzeyde ve doğuda Akdağmadeni Litodemi'ne ait metamorfik seri, güneyde ise Sızır Formasyonu tarafından sınırlanmaktadır. İki birim arasında bulunan SMA, çalışma alanının doğu – kuzeydoğusunda 1400 ile 1850 m (Dedehocasayı ve Cankurtaran Tepe) kotları arasında kalırken, batı – güneybatıda ise 2000 ile 2300 m (Hamzasultan Tepe) kotları arasında ve yaklaşık 360 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yüzeylenmektedir (Şekil 4). Bol kırıklı – çatlaklı ve yer yer karstlaşmalı bir yapıya sahip olan SMA'ni KD – GB uzanımlı ve harita ölçeğinde gözlenebilen asimetrik bir senklinal oluşturmaktadır. Metamorfik seri içinde bulunan



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası.  
Figure 3. Hydrogeological map of the study area.



Şekil 4. Çalışma alanı ve yakın civarındaki mermerlerin yayılımı (Baykal ve Erentöz, 1966'den uyarlanmıştır).  
Figure 4. Marble outcrop map of the study area and surroundings (modified from Baykal and Erentöz, 1966).

mermerlerin kalınlığı bilinmemekle birlikte, serinin kalınlığının 1000 m'den büyük olabileceği ve mermerlerin serinin en üst kesimini oluşturduğu belirtilmektedir (Sümengen vd., 1987; Yılmaz vd., 1997). SMA, yaklaşık 4 m<sup>3</sup>/s debi ile boşalan Sızır kaynaklarının hazne kayasını oluşturmaktadır.

Çalışma alanında akifer özelliği gösteren diğer birim ise, Sızır kasabasında yüzeylenen Kuva-terner yaşlı alüvyondur. Alüvyon, altta yarı geçirimli Sızır Formasyonu ile sınırlanmaktadır. Sızır kasabası ile Eşikli köyü arasında yaklaşık 10 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yüzeylenen birim, kuzey – kuzeydoğuda 1380 m, batı – GBda ise 1365 m

kotları arasında yüzeylenmektedir. Sızır kasabasında sulama suyu sağlamak amacı ile bu akiferden çok sayıda sığ kuyu açılmıştır. Derinliği 20 m'yi geçmeyen bu kuyular alüvyon birimindedir. Bu akiferdeki yeraltı suyu seviyesinin yüzeyden derinliği; kurak dönemde ortalama 8 m, yağışlı dönemde ise ortalama 5 m'dir. Alüvyon akifer, kuzey – kuzeydoğu yönünde mermerlerden gelen yeraltı suyu ile beslenmektedir.

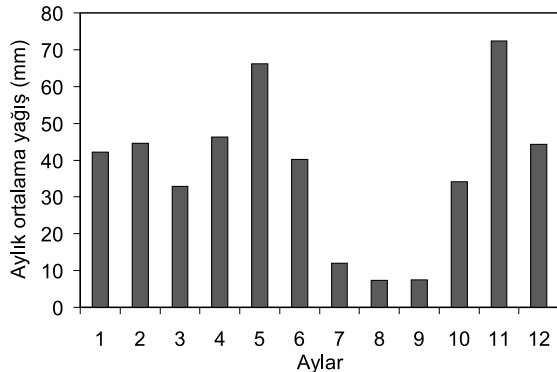
#### Beslenme Özellikleri

SMA ve yakın dolayındaki alansal yağış miktarı, Akçakılşa, Çukurören, Felahiye, Gemerek, Hasbek ve Ortaköy YGİ'da kaydedilen yıllık yağışla-

rın uzun yıllar ortalaması kullanılarak, yağış – yükselti ilişkisi ve eş yağış eğrisi yöntemleri ile hesaplanmış ve sırasıyla 450 mm/yıl ve 438 mm/yıl olarak elde edilmiştir (Aydın, 1999). Her iki yöntemle hesaplanan alansal yağış değerleri arasında önemli bir fark gözlenmemektedir. Değerlendirmelerde, verilerin sağlandığı YGI'nın yükseltileri, Çukurören YGI dışında, çalışma alanının ortalama yükseltisinin (1675 m) altında kalmaktadır. Diğer bir ifadeyle, çalışma alanının yaklaşık %58'ine düşen yağış temsil edilmektedir. Bu nedenle, hesaplamalarda yağış – yükselti ilişkisi ile hesaplanan alansal yağış değerinin kullanılması uygun görülmüştür.

Çalışma alanındaki yağış rejimi beslenme açısından değerlendirildiğinde, aylık yağışların kurak dönem dışında, (Haziran – Ekim) homojen bir şekilde dağıldığı gözlenmektedir (Şekil 5). Aylık yağışların yıllık toplam yağış içindeki dağılımı incelendiğinde, yağışın % 5'inin Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında, geri kalan % 95'inin ise diğer aylarda düştüğü görülmektedir. Diğer taraftan, bölgeye düşen aylık yağış ile Sızır kaynaklarının aylık boşalmaları arasında yapılan analizler, kaynak akımlarının aylık yağışlardan etkilenmediğini göstermiştir. Analizler, yağışların etkisinin yaklaşık iki aylık bir gecikme ile kaynak akımlarına yansıdığını ortaya koymuştur (Aydın, 1999).

Ayanözü Deresi hidrolojik havzası bütçe hesaplamaları, kütle korunumu yaklaşımı esas alınarak yapılmıştır. Bütçe hesaplamaları; a) uzun



Şekil 5. Çalışma alanı ve yakın civarındaki uzun yıllar (1974 – 1997) aylık yağış dağılımı.

Figure 5. Distribution of long term (1974 – 1997) monthly precipitation in the study area and surroundings.

yıllar ortalamaları kullanıldığı için kararlı koşulların sağlandığı, dolayısıyla depolamada değişimin olmadığı, b) noktasal verilerden yola çıkarak hesaplanan alansal ortalama yağışın çalışma alanını temsil ettiği, c) buharlaşma – terleme kayıplarının hesaplanmasında kullanılan Turc yönteminin varsayımlarının çalışma alanında sağlandığı, d) Turc yönteminde kullanılan ve kot – sıcaklık ilişkisinden elde edilen ortalama sıcaklık değerinin çalışma alanını temsil ettiği ve e) ölçülen akımların uzun yıllar ortalamalarını temsil ettiği varsayımlarına dayandırılmıştır. Söz konusu yaklaşım;

Havzaya Giren – Havzadan Çıkan = Depolamadaki Değişim

veya

$$P - (E + R) = Q_v \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada; P, havza üzerindeki alansal yağış girdisi ( $m^3/yıl$ ); E, havzadan buharlaşma – terleme ile çıkan su ( $m^3/yıl$ ); R, havzadan akarsu akışı ile çıkan su ( $m^3/yıl$ ) ve  $Q_v$ , depolamadaki değişim ( $m^3/yıl$ )'dir.

Çalışma alanında bütçe bileşenlerini oluşturan alansal yağış girdisi, yüzeysel akış ile havzadan çıkan su miktarı ve gerçek buharlaşma – terleme değerleri sırasıyla  $218 \cdot 10^6$   $m^3/yıl$ ,  $158 \cdot 10^6$   $m^3/yıl$  ve  $170 \cdot 10^6$   $m^3/yıl$  olarak hesaplanmıştır (Aydın, 1999). Hesaplamalar sonucu elde edilen verilerin yorumlanmasında kolaylık sağlanması amacıyla eşitlik (1) aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$Q_v(m^3/yıl) = P(m^3/yıl) - [ET_g(m^3/yıl) + R(m^3/yıl)] \quad (2)$$

Çalışma alanı için hesaplanan bütçe bileşenleri eşitlik (2)'de yerine konduğunda,  $110 \cdot 10^6$   $m^3/yıl$  yağış eksiği ortaya çıkmaktadır. Bu durum, Sızır kaynaklarının beslenme alanının yüzey drenaj alanından daha geniş alanlara yayıldığını ve kaynak boşalmalarında komşu havzalardan yeraltı suyu katkısı olduğunu göstermektedir. Söz konusu yeraltı suyu katkısının gelebileceği alanların belirlenmesi, mermerler üzerine düşen yağıştan yeraltına süzülen miktarın bilinmesini zorunlu kılmaktadır. Öte yandan, beslenme miktarının hesaplanmasında kullanılan buharlaşma – terleme kayıpları sıcaklığa bağlıdır. Bu durum sıcaklığın da sağlıklı bir şekilde belirlenmesini

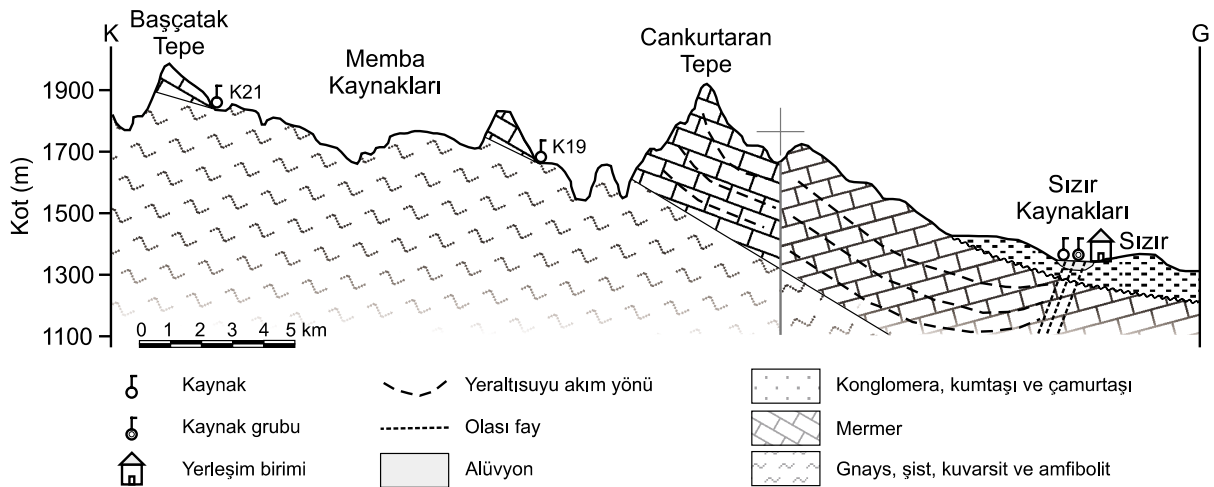


gerektirmektedir. Yukarıdaki varsayımlardan kaynaklanabilecek belirsizliklerin azaltılması amacıyla, çalışma alanında, beslenme alanı geçirimsiz birimlerle çevrili, mevsimsel bir kaynağa ait yağış – boşalım ilişkisinden yararlanılmıştır. Bu yaklaşımda; kaynağın beslenme alanında bulunan toprak – bitki örtüsü ve alansal yağış miktarının tüm havzayı temsil ettiği ve mevsimsel akımlı olması nedeniyle kaynağın boşalttığı suyun sadece söz konusu yıla ait olduğu varsayılmıştır. Diğer bir ifadeyle, kaynaktan yıl boyunca meydana gelen boşalım miktarı, söz konusu yılda yağıştan meydana gelen beslenmeye karşılık gelmektedir. Bu doğrultuda, çalışma alanının kuzeyinde Akdağmadeni Litodemi'ne ait gnays, şist, kuvarsit ve amfibolitlerle sınırlanmış küçük bir alanda yüzeyleyen mermerlerin boşalmasını gerçekleştiren Horozkilise kaynağına (K21) ait bütçe hesaplanmıştır (Şekil 6). K21 kaynağının 4.76 km<sup>2</sup>'lik drenaj alanının 1.8 km<sup>2</sup>'lik (% 37.8) bölümünde mermerler geriye kalan 2.96 km<sup>2</sup>'lik (% 62.2) bölümünde ise metamorfik seriye ait diğer kayalar yüzeylemektedir. Kaynağın drenaj alanında yüzeyleyen kayalardan mermerler geçirimli özellik gösterirken, diğer kayaların geçirimsiz olduğu varsayılmıştır. Söz konusu kaynak ortalama 20 lt/s debi ile mermerlerinin boşalmasını gerçekleştirmektedir. K21 kaynağının boşalım miktarının, drenaj alanındaki mermerin alanına bölünmesi sonucu elde edilen katsayı 0.011 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>'dir. Bu değer, yıllık 350 mm süzülme miktarına karşılık gelmektedir. Buna göre mermerler, toplam

yağışın yaklaşık olarak % 78'ini yeraltına süzdürmektedir.

Yukarıda değinilen yüksek beslenme miktarının denetlenmesi amacıyla, benzer hesaplamalar SMA'ne komşu alanlarda yüzeyleyen Yahyasaray (YMA) ve Bağlıca (BMA) mermer akiferleri için yenilenmiştir (bkz. Şekil 4). Metamorfik seriye ait geçirimsiz kayalar arasında yüzeyleyen YMA ve BMA ortalama debileri ile yüzey drenaj alanları sırasıyla 3.385 m<sup>3</sup>/s ve 0.888 m<sup>3</sup>/s ile 305 km<sup>2</sup> ve 85.5 km<sup>2</sup>'dir. Bu akiferlerin boşalmaları dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda süzülme miktarı sırasıyla 350 mm ve 327 mm olarak elde edilmiştir. Bu değerler, 450 mm alansal yağış değerinin sırasıyla % 0.78 ve % 0.73'üne karşılık gelmektedir. Görüldüğü gibi, benzer jeolojik ve hidrojeolojik özelliklere sahip incelenen kütleler için yapılan hesaplamalar, SMA için bulunan beslenme miktarına yakın sonuçlar vermiştir. Bu durum, mermer kütlelerinin yağışın önemli bir kısmını süzdürecek derecede iyi gelişmiş eklem sistemleri ve/veya karstik kanallara sahip olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

Diğer taraftan, çalışma alanı ve yakın dolay için Turc yöntemi ile hesaplanan gerçek buharlaşma–terleme değeri alansal yağışın yaklaşık % 78'ini oluşturmaktadır (Aydın, 1999). Dolayısıyla bu yöntemle göre inceleme alanında meydana gelen etkin yağış yaklaşık 99 mm'dir. Sızır kaynaklarının boşalımı ve hesaplanan etkin ya-



Şekil 6. Çalışma alanının hidrojeolojik yapısını gösteren boyuna kesit.

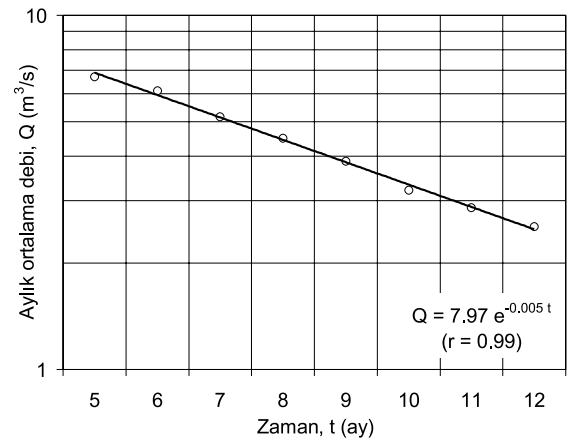
Figure 6. Cross-section illustrating the hydrogeological settings in the study area.

ğış değeri dikkate alındığında, Sızır kaynaklarından ortalama  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik bir boşalmanın sağlanması için yaklaşık  $1272 \text{ km}^2$ 'lik bir alan gerekmektedir. Buna karşın, Ayanözü deresi drenaj alanı içinde, Sızır kaynaklarının akış yukarısında kalan alan ( $352 \text{ km}^2$ ) ile SMA'nin Ayanözü deresi drenaj alanı dışında kalan alan ( $168 \text{ km}^2$ ) toplamı  $520 \text{ km}^2$ 'dir. Görüldüğü gibi süzülme miktarı Turc yönteminden elde edilen değer olarak kullanılacaksa, Sızır kaynaklarının boşalmasını sağlamak üzere yaklaşık  $752 \text{ km}^2$ 'lik ek bir alana gereksinim duyulacaktır. Arazi çalışmaları süresince çalışma alanında yüzeylenen ve mermerler dışında kalan metamorfik seriye ait diğer kayalardan boşalan herhangi bir kaynağın bulunmayışı ve bu kayaların genel jeohidrolojik özelliklerinden dolayı söz konusu kayaların geçirimsiz olduğu kabul edilmiştir. Bölgede birbirlerinden bağımsız bloklar şeklinde yüzeylenen mermerlerin metamorfik seriye ait geçirimsiz kayalar arasında bulunması ve mermerlerin bu serinin en üst kesiminde yer alması (Sümmengen vd., 1987; Yılmaz vd., 1997), bu alanlardan Sızır kaynaklarına herhangi bir katkının söz konusu olamayacağını göstermektedir. Dolayısıyla bölgedeki hidrodinamik yapı ve bitki örtüsü yoğunluğu ve K21 no.lu kaynak için yapılan hesaplamalarda elde edilen süzülme miktarı ile diğer mermer akiferlerde meydana gelen süzülme miktarı dikkate alındığında, etkin yağışın yaklaşık % 78'i süzdürdüğü sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu değere göre, Sızır kaynaklarının yaklaşık  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik boşalmasını sağlamak üzere yaklaşık  $363 \text{ km}^2$ 'lik bir beslenme alanına gereksinim duyulmaktadır. Ayanözü deresi drenaj alanı içinde KD – GB doğrultusu boyunca yüzeylenen, güneybatıda Hamzasultan Dağı'na kadar uzanan ve bölgede  $360 \text{ km}^2$ 'lik beslenme alanı ile en büyük bloğu oluşturan mermerler, Sızır kaynaklarının beslenme alanının oluşturmaktadır (bkz. Şekil 4). Bunun sonucunda çalışma alanında yüzey drenaj alanı ile yeraltı drenaj alanının çakışmadığı, havzaya komşu havzalardan yeraltısuyu akımı olduğu ve yan havzalardan gelen katkının tamamının Sızır kaynaklarından boşaldığı ortaya konmuştur.

### Depolama ve Boşalım Özellikleri

Kaynak hidrograflarının şekli, genellikle birbirlerine benzemekle birlikte bir akiferden veya kaynaktan bir diğerine farklılık göstermektedir. Hidrografın çekilme dönemini temsil eden kesimi-

nin eğimi, iletimlilik katsayısı, depolama katsayısı ve hidrolik eğim gibi akiferin hidrodinamik özelliklerinin yanı sıra, akiferin geometrisi, beslenme alanının jeomorfolojik yapısı ve beslenme rejimi tarafından da kontrol edilmektedir (Eisenlohr, 1996; Dewandel vd., 2003; Kovács vd., 2005). Worthington (1991) tarafından karst akiferleri için yapılan çalışmada, kaynak çekilme eğrisinin şeklinin, akiferin sınır koşulları tarafından kontrol edildiği belirtilmektedir. Söz konusu çalışmada yapılan sınıflamaya göre Sızır kaynakları, azalan bir akış katsayısı ile temsil edilen ve çekilme eğrisinde, hızlı akım bileşeninin olmadığı büyük depolamalı dip savak akımlı kaynaktır (Şekil 7). Tallaksen (1995) tarafından yapılan çalışmada ise, hidrografın çekilme dönemini temsil eden kesiminin birden çok eğime sahip olabileceği belirtilmektedir. Bu tür hidrografların çekilme eğrisinde bulunan her azalma katsayısının, akiferin farklı kesimlerini temsil ettiği ve bu alanlara ait iletimlilik ve depolama katsayılarının azalma katsayıları ile orantılı olduğu belirtilmektedir. Diğer bir ifadeyle, kaynak azalma katsayısının büyük olması, büyük iletimlilik katsayısı ve/veya küçük depolama katsayısını, tersi durumda ise küçük iletimlilik katsayısı ve/veya büyük depolama katsayısını işaret etmektedir. Yüksek çekilme katsayısı, yüksek iletimlilik katsayısına sahip karstik kanallarda meydana gelen hızlı akımı ve boşalımı, düşük çekilme katsayısı ise kırık – çatlak sistemlerinde meydana gelen boşalımı (taban akımı) ifade etmektedir (Tallaksen, 1995). Çekilme eğrisinin, eğiminin değişmesi, diğer bir ifadeyle birden fazla azalma katsayısının bulunması, heterojen



Şekil 7. Sızır kaynaklarının çekilme eğrisi.  
Figure 7. The recession curve of the Sızır springs.

bir akiferi temsil etmektedir. Çekilme eğrisinin tek bir azalma katsayısı ile temsil edildiği koşullarda ise, akiferin homojen iletimlilik katsayısı ve depolama özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir (Amit vd., 2002; Milanovic, 1981).

SMA'nin depolama ve boşalım gibi hidrodinamik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla kaynak azalma analizi yapılmıştır. Belirli bir t zamanında kaynaktan boşalan su miktarı Maillet (1905) eşitliğine göre,

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \Rightarrow \alpha = [(\log Q_t - \log Q_0) / (t_0 \log e)] \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu eşitlikten, akiferin depolama kapasitesi, belirli bir zamanda boşalan ve akiferde kalan su miktarı aşağıdaki şekilde belirlenebilmektedir.

$$V_s = Q_0 / \alpha \quad (4)$$

$$V_d = (Q_0 / \alpha) [1 - e^{-\alpha t}] \quad (5)$$

$$V_r = V_s - V_d \quad (6)$$

Bu eşitliklerde;  $Q_0$  kaynağın azalmaya başladığı andaki debisi ( $L^3 T^{-1}$ ),  $Q_t$  kaynağın t anındaki debisi ( $L^3 T^{-1}$ ),  $\alpha$  kaynak azalma katsayısı ( $T^{-1}$ ), t çekilme süresi (T),  $V_s$  akiferin toplam hacmi ( $L^3$ ),  $V_d$  belli bir t anında akiferde boşalan su miktarı ( $L^3$ ) ve  $V_r$  çekilme dönemi sonunda akiferde kalan su miktarı ( $L^3$ )'dir.

Kaynak çekilme analizi sonucunda, kaynak gerisindeki aktif depolama hacmi ( $V_s$ )  $117 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ , çekilme dönemi sonunda yaklaşık 180 gün sonra akiferde kalan su hacmi ( $V_r$ )  $57 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  ve çekilme dönemi süresince boşalan su hacmi ( $V_d$ )  $60 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda, Sızır kaynaklarına ait kaynak azalma katsayısı ( $\alpha$ )  $0.005 \text{ gün}^{-1}$  olarak elde edilmiştir. Bu değer, depolamada bulunan her  $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  sudan günde  $5000 \text{ m}^3$  su boşaldığını göstermektedir. Ayrıca azalma katsayısı, SMA'de taban akımı oluşturan yeraltısuyunun kırık – çatlak sistemleri boyunca hareket ettiğini ve iletimlilik katsayısının düşük ve/veya depolama katsayısının yüksek olduğu ortamları göstermektedir.

## HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLER

### Su Noktalarının Genel Özellikleri

Çalışma alanındaki su noktalarında (bkz. Şekil 3) ölçülen sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ve

majör iyonlara ait ortalama, en düşük, en yüksek, standart sapma ve değişim katsayısı değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. Kaynak sularının kimyasal yapılarında zaman içinde gözlenen değişim, kaynakların ait oldukları sistem üzerinde hüküm süren beslenme rejimi ile sistem içindeki depolama ve dolaşım koşullarına bağlıdır. Söz konusu parametrelere ait en düşük ve en yüksek değerler arasındaki büyük fark, beslenimden etkilenen sığ dolaşimli kaynakların göstergesi olarak değerlendirilmiştir. Beslenimden etkilenmeyen derin dolaşimli sistemlerde ise, bu fark genellikle daha küçüktür. Ayanözü Deresinin drenaj alanı içinde bulunan kaynakların kimyasal bileşimleri, bu kaynakların iki farklı grupta toplanmasına neden olmaktadır. Birinci grupta kaynaklar, Sızır kasabası merkezinde SMA'nin boşalmasını gerçekleştiren Sızır kaynaklarından (K1, K14, K15, K22, K23, KG4, KG8) oluşmaktadır. Bu kaynaklara ait en düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla  $10.8 \text{ }^\circ\text{C}$  (Şubat 1999),  $17.0 \text{ }^\circ\text{C}$  (Haziran 1999) ve  $14.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Sızır kaynaklarının en düşük, en yüksek ve ortalama özgül EC değerleri ise 576, 986 ve  $728 \text{ }\mu\text{S/cm}$ 'dir. İkinci grupta yer alan memba kaynakları (K16, K17, K18, K19, K20, K21) ise Sızır kasabası ile Ayanözü Deresi drenaj alanının memba kesimi arasında kalan genellikle mevsimsel özellikteki kaynaklardır. Bu kaynakların en düşük, en yüksek ve ortalama sıcaklık değerleri sırasıyla  $2.7 \text{ }^\circ\text{C}$  (Ocak 1999),  $15.2 \text{ }^\circ\text{C}$  (Haziran 1999) ve  $10.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Bu kaynakların özgül EC değerine ait en düşük, en yüksek ve ortalamalar ise sırasıyla 393, 698 ve  $601 \text{ }\mu\text{S/cm}$  olarak hesaplanmıştır. Diğer taraftan, zaman içinde suların kimyasal bileşimindeki farklılığın göstergesi olan değişim katsayısı (CV) değeri, Sızır kaynaklarına oranla memba kaynaklarında daha yüksektir (bkz. Çizelge 2).

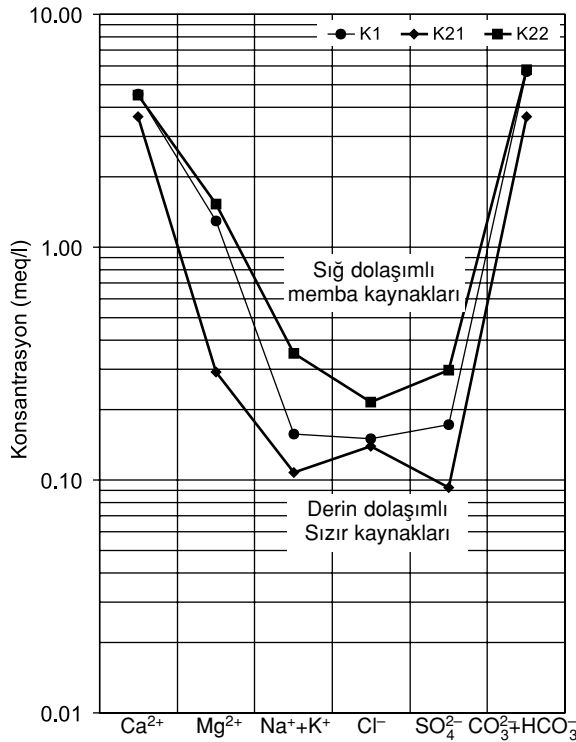
### Hidrojeokimyasal Sınıflandırma

Çalışma alanındaki suların köken ve hidrojeokimyasal fasiyes değerlendirmeleri için sırasıyla Schoeller ve Piper diyagramları kullanılmıştır. Bu kapsamda, suların kimyasal bileşimlerinin kurak ve yağışlı dönemlerde önemli bir değişim göstermemesi nedeniyle değerlendirmeler ortalama değerler kullanılarak yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeler sonucunda çalışma alanı suları, K21 ve K15 sırasıyla memba ve mansap kaynaklarını temsil etmek üzere, bu iki uç su noktasının arasında yer aldığı görülmektedir.



Çalışma alanındaki su noktalarına ait Schoeller ve Piper diyagramları sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da verilmiştir. Bu diyagramlara göre, çalışma alanında yer alan suların "Ca – Mg – HCO<sub>3</sub>" fasiyesinde olduğu görülmektedir. Schoeller diyagramı, K16 ve K21 kaynakları dışında çalışma alanında bulunan diğer suların aynı kökene sahip olduklarını göstermektedir. Piper diyagramı ile yapılan değerlendirme sonucunda ise, çalışma alanındaki suların karbonatlı akiferlerin tatlı su fasiyesini temsil ettiği anlaşılmaktadır. SMA'nin depolama kapasitesinin büyük ve sistemdeki yeraltısuyunun derin dolaşım ile gerçekleşmesi, bu akiferin boşalmasını sağlayan kaynak sularının belirli bir kimyasal olgunluğa erişmiş olmalarına neden olmaktadır. Farklı çıkışlara sahip Sızır kaynak sularının kimyasal açıdan benzer özellik göstermesi bu durumdan kaynaklanmaktadır.

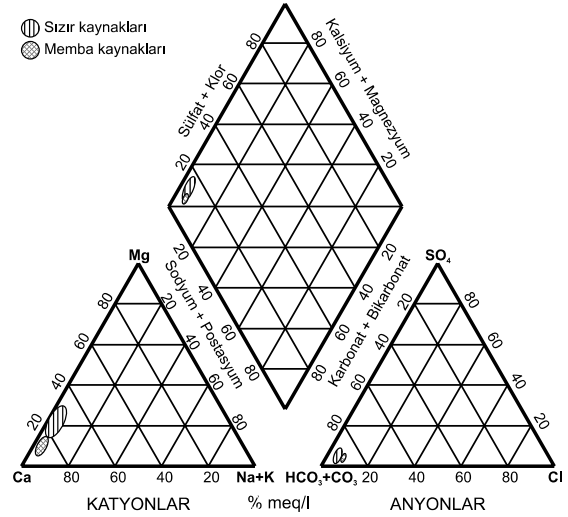
Su noktaları arasındaki olası benzerlik ilişkisinin tanımlanmasında önemli bir araç olarak kullanılan çok değişkenli istatistiksel analiz teknikleri (kümeleme, faktör, vb. analizler), grafiksel yön-



Şekil 8. Çalışma alanındaki kaynak sularının Schoeller diyagramı.

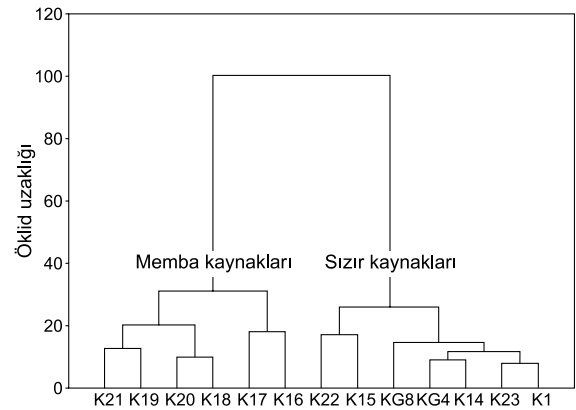
Figure 8. Schoeller diagram of the spring waters in the study area.

temlerden farklı olarak, ölçülen tüm verilerin birlikte değerlendirilmesine olanak vermektedir. Bu nedenle, bu analizler özellikle hidrokimyasal değerlendirmelerde büyük yararlar sağlamaktadır (Atilla, 1996). Bu kapsamda gerçekleştirilen kümeleme analizi sonucunda, çalışma alanındaki su noktalarına ait iki belirgin grup olduğu görülmektedir (Şekil 10). Birinci grup, Sızır kasabası ve yakın dolayında derin dolaşım ile boşalan Sızır kaynaklarından, ikinci grup ise Sızır kasabası ile memba arasında sığ dolaşımı ile boşalan memba kaynaklarından oluşmaktadır. Ya-



Şekil 9. Çalışma alanındaki kaynak sularının Piper diyagramı.

Figure 9. Piper diagram of the spring waters in the study area.



Şekil 10. Çalışma alanındaki kaynak sularının kümeleme analizi grafiği.

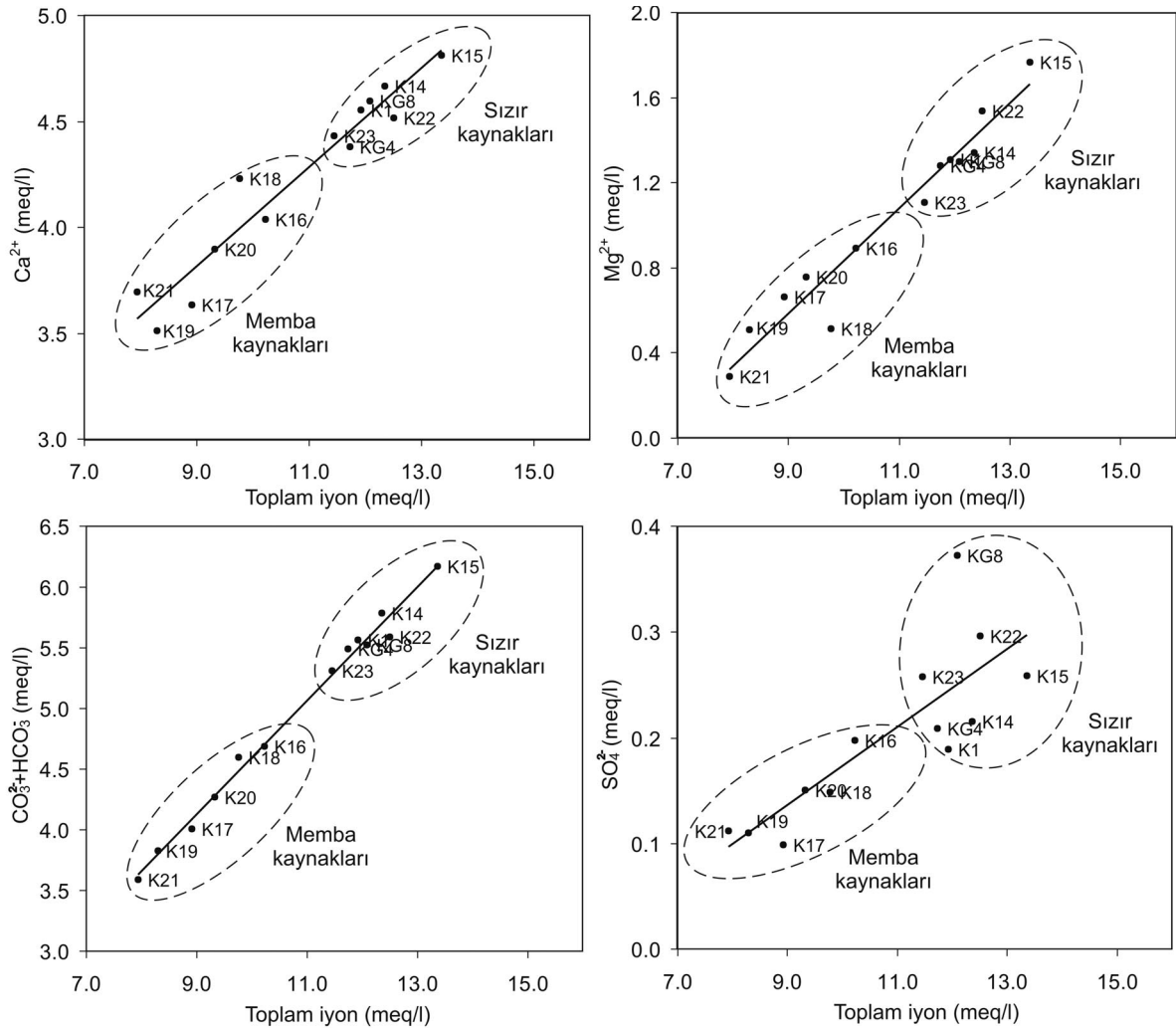
Figure 10. Dendrogram depicting the results of the cluster analysis of the spring waters in the study area.

pılan kümeleme analizi sonucunda Sızır kaynakları grubunda yer alan K15 ve K22 kaynaklarının, grupta yer alan diğer kaynaklardan farklı bir alt grup oluşturdukları gözlenmektedir. K15 ve K22 kaynaklarının çalışma alanında en membada bulunmalarından dolayı, grupta yer alan diğer kaynaklara oranla su – kayaç etkileşim süresinin uzun ve daha derin dolaşım ile boşalmalarına bağlanabilir. Genel anlamda Sızır kaynaklarının geçirdikleri hidrojeokimyasal süreçler açısından benzer oldukları görülmektedir. Mamba kaynakları grubunda ise, K16 ve K17 kaynaklarının diğer kaynaklardan farklı bir alt grupta yer aldıkları gözlenmektedir. K16 ve K17 kaynaklarının gruptan açık bir şekilde ayrılmasının nedeni, bu kaynakların sığ dolaşımli olmalarının yanı sıra, boşalım noktalarına yakın yerle-

şim birimlerinden gelen kirleticilerin katkısı ile açıklanabilir.

### HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİN HİDRODİNAMİK YAPI İLE İLİŞKİLENDİRİLMESİ

Suların, toplam iyon (TI) derişimine karşı majör iyon derişimleri kullanılarak oluşturulan bileşim grafikleri yorumlanarak; suların kökeni, farklı kökenden gelen suların karışımı, karışım oranları, seyrelme dereceleri vb. gibi bilgiler elde edilmektedir (Mazor, 1991). Çalışma alanındaki su noktalarının  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $CO_3^{2-} + HCO_3^-$  ve  $SO_4^{2-}$  iyonları için oluşturulan bileşim grafikleri Şekil 11'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, çalışma alanındaki kaynak sularının, bir doğru



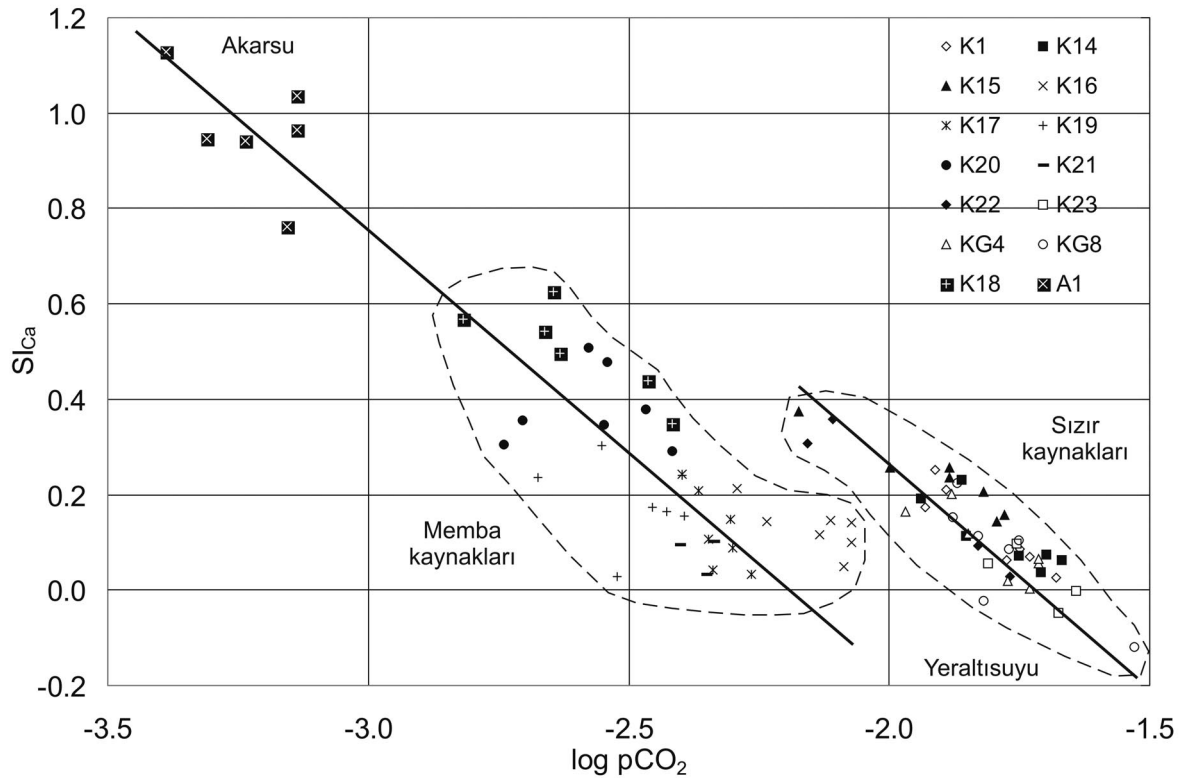
Şekil 11. Çalışma alanındaki kaynak sularının bileşim grafikleri.

Figure 11. Composition diagrams of the spring waters in the study area.

üzerinde seyreltik ve derişik olmak üzere, iki farklı küme oluşturduğu görülmektedir. Diğer bir ifadeyle, bu durum haznede uzun süre kalan sular ile yeni suların karışımını veya akım yolu boyunca zenginleşmeyi ifade etmektedir. Bu gruplar, Sızır kasabası ile memba arasında boşalan ve siğ dolaşımıyla temsil edilen memba kaynakları (K16, K17, K18, K19, K20, K21) ve Sızır kasaba merkezinde boşalan ve derin dolaşımı temsil eden Sızır kaynaklarından (K1, K14, K15, K22, K23, KG4, KG8) oluşmaktadır.  $Ca^{2+}$  ve  $CO_3^{2-} + HCO_3^-$  için oluşturulan bileşim grafiklerinde, karışım doğrusunun  $Ca^{2+}$  ve  $CO_3^{2-} + HCO_3^-$  eksenlerini kestiği görülmektedir. Bu durum, söz konusu iyonların TI derişimi içinde baskın ve iki uç bileşene ait suların  $Ca^{2+}$  ve  $CO_3^{2-} + HCO_3^-$  iyonları açısından zengin olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan,  $Mg^{2+}$  ve  $SO_4^{2-}$  için oluşturulan grafiklerde ise karışım doğrusunun TI eksenini kestiği görülmektedir. Burada uç bileşenlerin, TI derişimleri içindeki  $Mg^{2+}$  ve  $SO_4^{2-}$  iyonlarının daha az miktarda olduğunu ifade etmektedir.

Bir çözeltinin herhangi bir minerale göre doygunluk durumu; doygun olmayan, doygun ve

aşırı doygun çözelti olarak sınıflandırılmaktadır (Stumm ve Morgan, 1981). Suların mineral doygunluk değerleri, su ile kayaç arasındaki etkileşimin bir göstergesidir. Aydın (1999) tarafından SMA'nin boşalmasını gerçekleştiren Sızır kaynak sularının kalsit ve aragonit minerallerine göre yılın her döneminde doygun olduğu belirtilmektedir.  $SI_{Ca}$  değerinin yüksek olması, suyun akifer içerisindeki kalış süresinin uzunluğunun göstergelerinden biridir. Suların kalsit mineraline göre sürekli doygun olması, su – kayaç etkileşim süresinin görece uzun ve olasılıkla yaygın yeraltı suyu akış hızının yavaş olduğu derin dolaşımli sistemleri göstermektedir. Atkinson (1977) tarafından yapılan çalışmada, atmosferik kısmi karbondioksit basıncı ( $PCO_2$ ) değeri ile yeraltı sularının  $\log PCO_2$  değeri arasındaki sınırın  $10^{-3.5}$  atm olduğu ve yeraltı sularının bunun üstünde bir değere sahip oldukları belirtilmektedir. Çalışma alanında, Sızır Kaynaklarının  $\log PCO_2$  değeri -2.17 ile -1.52 arasında değişirken, memba kaynaklarının  $\log PCO_2$  değeri -2.82 ile -2.07 arasında değişmektedir (Şekil 12). Bu durum, Sızır kaynaklarının beslenme alanında bulunan toprak ve bitki örtüsü yoğunluğunun, memba

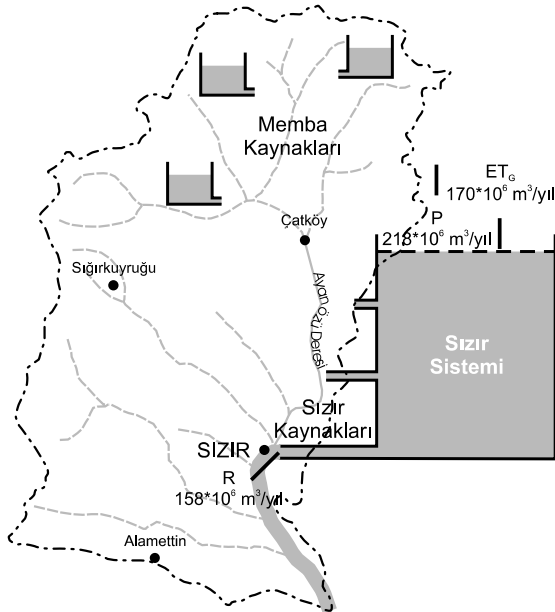


Şekil 12. Çalışma alanındaki kaynak sularında  $\log pCO_2 - SI_{Ca}$  ilişkisi.  
Figure 12.  $\log pCO_2 - SI_{Ca}$  relationship in the study area.

kaynaklarının beslenme alanında bulunan toprak ve bitki örtüsü yoğunluğundan daha fazla olduğunu ve Sızır kaynaklarının derin dolaşımı bir sistemin boşalmasını gerçekleştirdiğini göstermektedir.

### SIZIR KAYNAKLARININ YÖNETİMİ

Çalışma alanında boşalmalarını gerçekleştiren kaynakların kavramsal modeli Şekil 13'de verilmektedir. Sızır kasabası ile memba arasında kalan kaynakların tamamı dokanak kaynağı özelliğinde olup, gnays ve şistler arasında dar alanlarda sınırlanan mermerlerde, jeolojik yapının denetiminde boşalmaktadır. Bu kesimde bulunan kaynakların debisi 0.5 lt/s ile 30 lt/s arasında değişmektedir. Memba kaynakların önemli bir kısmı mevsimsel özellik göstermekte olup, yağışları izleyen iki ay içinde kurumaktadırlar. Çalışma alanının bu kesimindeki kaynakların dokanak kaynağı özelliğinde ve beslenme alanlarının sınırlı olmasından dolayı kaynakların geliştirilmesi mümkün görülmemektedir. Memba kaynaklarının beslenme alanının topoğrafik olarak yüksek kotlarda bulunması, bu alanda yerleşim birimlerinin kurulmasına olanak vermemektedir. Bu nedenle, beslenme alanında kirlenici kaynağı bulunmamaktadır. Bununla birlikte,



Şekil 13. Sızır kaynakları ve yakın dolayının kavramsal modeli.

Figure 13. Conceptual model of the Sızır springs and surrounding area.

memba kaynakları kullanıma sunulacaksa kaynak başı koruması yeterli olacaktır.

Diğer taraftan, bölgede geniş bir alanda yüzeylenen mermerlerin boşalmasını gerçekleştiren Sızır kaynakları yıl içerisinde yaklaşık sabit debi ile boşalmaktadırlar. Ayrıca yapılan değerlendirmeler sonucunda, Sızır kaynaklarının ani yağışlardan etkilenmediği, büyük akifer hacmine ve depolama kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Debi değişiminin düşük olması, bu akiferin güvenli bir su kaynağı olduğunu göstermektedir. Diğer taraftan Sızır kaynakları için yapılan kaynak çekilme analizi sonucunda, bu kaynakların haznesinde bulunan yeraltısuyunun %50'sini 139 günde boşalttığı belirlenmiştir. Ayrıca hesaplamalar sonucunda, yağışların olmaması, diğer bir ifadeyle beslenmenin kesilmesi durumunda yaklaşık 3 yıl süre ile Sızır kaynaklarının, Sızır kasabası su gereksinimi için güvenli bir su kaynağı olduğu belirlenmiştir (Aydın, 1999). Sızır kasaba merkezinde boşalmasını gerçekleştiren kaynakların beslenme alanının büyük olması ve kasaba merkezinde kanalizasyon sisteminin bulunmaması, bu kaynakların korunması amacıyla öncelikle kaynakların kaptaja alınmasını gerektirmektedir. Diğer taraftan, Sızır kaynaklarının beslenme alanının topoğrafik olarak yüksek kotlarda yer alması ve bu alanların yerleşime uygun olmamasından dolayı beslenme alanında kirlenme beklenmemektedir. Bu nedenlerden dolayı, Sızır kaynaklarının kaptajının yapılmasından sonra kaynak başı koruması yeterli olacaktır.

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Ayanözü Deresi drenaj alanı içindeki SMA'nın yayılımı, memba kesiminde birbirlerinden bağımsız bloklar şeklinde yüzeylenmekte olup, bu yapıya bağlı olarak küçük debili dokanak kaynaklar oluşmuştur. Bölgede, Ayanözü Deresi drenaj alanının güneybatısından kuzeydoğusuna doğru, GB – KD uzanımlı senklinal eksenli boyunca yüzeylenen mermerlerde meydana gelen yeraltısuyu hareketi kırıntılı kayaçlar ile mermerler arasında gelişmiş olan örtülü faylar aracılığı ile Sızır kasabasına ulaşmakta ve Sızır kaynaklarından boşalmaktadır.

Hesaplamalar sonucu SMA için elde edilen yüksek süzülme miktarı, kütleli iyi gelişmiş eklem sistemleri ve/veya karstik kanallara sahip olması gerektiğini ortaya koymaktadır. Yapılan bütçe



hesaplamaları, inceleme alanına Ayanözü Deresi drenaj alanı dışından yaklaşık  $113 \cdot 10^6$   $m^3$ /yıl'lık bir yeraltı suyu katkısı olduğunu göstermiştir. Söz konusu katkı, Ayanözü Deresi drenaj alanının güneybatısından kuzeydoğusuna doğru uzanan yaklaşık  $360 \text{ km}^2$ 'lik bir alana sahip olan SMA'den gelmektedir. Sızır kaynaklarının boşalımını gerçekleştiren SMA'nin yaklaşık  $195 \text{ km}^2$ 'lik bir kısmı Ayanözü Deresi drenaj alanı içinde, geri kalan  $168 \text{ km}^2$  ise drenaj alanı dışındadır.

Sızır kaynakları için yapılan kaynak çekilme analizinde, azalma katsayısı  $0,005 \text{ gün}^{-1}$ , kaynak gerisindeki aktif depolama hacmi  $117 \cdot 10^6$   $m^3$  ve çekilme dönemi (6 ay) sonunda kaynak gerisinde kalan hacmin  $57 \cdot 10^6$   $m^3$  olduğu hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar, beslenme ve boşalımın homojen olduğunu, küçük iletkenlik ve büyük depolamaya sahip kırıklı – çatlaklı akiferleri göstermektedir. Ayrıca hesaplamalar, beslenmenin kesilmesi durumunda Sızır kaynaklarının yaklaşık 3 yıl süre ile Sızır kasabası su gereksinimini emniyetli bir şekilde sağlayacağını göstermiştir.

Sızır kaynak sularının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin zaman içinde önemli ölçüde değişmediği ve SMA'de derin dolaşım ile boşaldığı belirlenmiştir. Ayrıca Sızır kaynakları beslenme alanının, topoğrafik olarak yüksek kotlarda bulunması, bu kaynak sularının beslenme alanında kirlenme olasılığını ortadan kaldırmaktadır. Bunun yanı sıra, kaynakların boşalım bölgesinde kaptaj yapılması durumunda Sızır kaynakları için kaynak başı koruması yeterli olacaktır.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar; istatistiksel analizlerin yapılması ve değerlendirilmesinde Hacettepe Üniversitesi'nden Öğr. Gör. Dr. A. Özlem Atilla Tezcan'a, su kimyası analizlerinin yapılmasında Fusun Muslu ve Esin Öncel'e, şekillerin çizilmesinde Bülent Topuz'a ve yayının son şeklini almasında gösterdikleri katkılardan dolayı Orta Doğu Teknik Üniversitesi'nden Prof. Dr. Vedat Doyuran ve diğer hakeme içten teşekkürlerini sunarlar

## KAYNAKLAR

Amit, H., Lyakhovsky, V., Katz, A., Starinsky A., and Burg, A., 2002. Interpretation of spring re-

cession curves. *Groundwater*, 40 (5), 543-551.

APHA, AWWA, and WPCF, 1989. *Standard Methods for the Estimation of Water and Waste Water*. 17th Edition, American Public Health Association, Washington, USA.

Arıkan, A., 1985. WATEQ: A computer program for IBM PC to calculate chemical equilibrium of natural waters. HU – UNDP Project. Technical Report no. TUR/81/004. Hacettepe Üniversitesi Karst Arşivi, Ankara (unpublished).

Atilla, A. Ö., 1996. Çok değişkenli istatistiksel analiz teknikleri kullanarak hidrojeokimyasal verilerin değerlendirilmesi. Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (yayımlanmamış).

Atkinson, T. C., 1977. Diffuse flow and conduit flow in limestone terrain in the Mendip Hills, Somerset (Great Britain). *Journal of Hydrology*, 35 (1-2), 93-110.

Aydın, H., 1999. Sızır (Gemerek – Sivas) kaynakları ve yakın dolayının hidrojeoloji incelemesi. Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (yayımlanmamış).

Baykal, F. ve Erentöz, C., 1966. 1/500000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası Kayseri ve Sivas paftaları. MTA Yayınları, Ankara.

Dewandel, B., Lachassagne, P., Bakalowicz, M., Weng, Ph., and Al – Malki, A., 2003. Evaluation of aquifer thickness by analysing recession hydrographs. Application to the Oman ophiolite hard – rock aquifer. *Journal of Hydrology*, 274 (1-4), 248-269.

Eisenlohr, L., 1996. Variabilité des réponses naturelles des aquifères karstiques, De l'identification de la réponse globale vers la connaissance de la structure de l'aquifère. Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, Non: 1327 (non publié).

Kara, H., Akay, E., Dalkılıç, H., Dökmeci, İ. ve Esentürk, K., 1999. 1:100 000 ölçekli açınsama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, Yozgat – G22 paftası. MTA Jeoloji Etüdüleri Dairesi, Ankara.

Kovács, A., Perrochet, P., Király, L., and Jeannin, P. Y., 2005. A quantitative method for the characterisation of karst aquifers based on spring hydrograph analysis. *Journal of Hydrology*, 303 (1-4), 152-164.

Maillet, E., 1905. *Mécanique et physique du globe*. Essais d'hydraulique souterraine et fluviale, Hermann, Paris.

Mazor, E., 1991. *Applied Chemical and Isotopic Groundwater Hydrology*. Open University Press, Buckingham, UK.

Milanovic, P.T., 1981. *Karst Hydrogeology*. Water Resources Publications, Littleton, Colorado, USA.

- Özaksoy, V., 1993. Özvatan (Kayseri) civarında Akdağ metamorfik masifi – örtü kayalarının stratigrafisi ve tektoniği. Yüksek Mühendislik Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (yayımlanmamış).
- Özcan, A., Erkan, A., Keskin, A., Keskin, E., Oral, A., Özer, S., Sümengen, M. ve Tekeli, O., 1980. Kuzey Anadolu Fayı - Kırşehir masifi arasının temel jeolojisi. MTA Raporu, Derleme No: 6722 (yayımlanmamış).
- Plummer, N., Blair, F.J., and Trusdell, A.H., 1976. WATEQF – A Fortran IV version of WATEQ, A computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. USGS WRI, 76-13, Virginia.
- Stumm, W., and Morgan, J.J., 1981. Aquatic Chemistry; Introduction Emphasizing Equilibria in Natural Waters. John Wiley and Sons, New York, USA.
- Sümengen, M., Terlemez, İ., Bilgiç, T., Gürbüz, M., Ünay, E., Ozaner, S. ve Tüfekçi, K., 1987. Şarkışla – Gemerek dolaylı Tersiyer havzasının stratigrafisi, sedimantolojisi ve jeomorfolojisi. MTA Raporu, Derleme No: 8118 (yayımlanmamış).
- Şahin, M.B., 1991. Başçatak Köyü (Akdağmadeni – Yozgat) doğusunun jeolojik ve petrografik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (yayımlanmamış).
- Şahin, M.B., 1999. Akdağmadeni masifi metamorfitleri, Evciler – Çatköy kesiminin mineralojik ve petrografik özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (yayımlanmamış).
- Tallaksen, L.M., 1995. A review of baseflow recession analysis. Journal of Hydrology, 165 (1-4), 349-370.
- Worthington, S.R.H., 1991. Karst hydrogeology of the Canadian Rocky Mountains, Ph. D. Thesis, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada (unpublished).
- Yılmaz, A., Uysal, Ş., Bedi, Y., Atabey, E., Yusufoglu, H., Havzoğlu, T. ve Aydın, N., 1997. 1:100 000 ölçekli açınısama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları, Sivas – F 22 Paftası. MTA Jeoloji Etüdları Dairesi, Ankara.