



Tecer Dağının (Sivas) karst hidrojeolojisi incelemesi

Karst hydrogeological investigation of the Tecer Mountain (Sivas)

Tülay EKEMEN, Fikret KAÇAROĞLU, Kaan Şevki KAVAK

Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 58140 SİVAS

Geliş (received) : 20 Şubat (February) 2006

Kabul (accepted) : 07 Temmuz (July) 2006

ÖZ

Tecer Dağı Sivas'ın yaklaşık 40 km güneydoğusunda yer almakta olup, Mestrişiyen-Tanesiyen yaşlı kireçtaşından (Tecer kireçtaşı) oluşmaktadır. Bu çalışmada, Tecer kireçtaşının hidrojeolojik özelliklerinin, su kimyası ve kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tecer kireçtaşı, oldukça kırıklı, çatlaklı ve karstik yapılıdır. Birimde karstik yapı olarak çoğunlukla karenler, dolinler, düdenler, yeraltı kanalları ve mağaralar gözlenmiştir. Karstik Tecer kireçtaşında yeraltısuyu dolaşımı genellikle kireçtaşının çözünmesiyle genişlemiş eklemeler, çatlaklar ve karstik kanallar boyunca yerel dolaşım şeklindedir. İnceleme alanında Tecer kireçtaşından boşalan kaynakların debileri 0.5-565 l/s arasında değişmektedir. Tecer kireçtaşından boşalan en büyük debili karstik kaynak olan Beşgözeler kaynağının debisi 150-565 l/s arasında değişmektedir. CaHCO₃'lü tipte olan bu suların elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 215-585 µS/cm arasında, sertlikleri ise 10-20 Fransız sertlik derecesi (°F) arasında değişmektedir. Kaynaklar, sulama suyu açısından, ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nda orta tuzlu-düşük sodyumlu sular (C₂-S₁) sınıfında yer almaktadır. Tecer Deresi sularının EC değerleri 630-885 µS/cm arasında, sertlikleri 30-45 °F arasında değişmektedir. Karstik yapılara ve eklem sistemlerine ilişkin arazi gözlemleri, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri incelemelerine göre Tecer kireçtaşında özellikle süreksizliklerin denetiminde karstlaşma gelişmiştir. Kırık izleri, eklemeler ve faylar ile karstlaşmanın yoğunlaştığı zonlar arasında oldukça belirgin bir uyumluluğun bulunduğu gözlenmektedir.

Anahtar kelimeler: Hidrojeoloji, karst akiferi, karst kaynağı, Tecer Dağı, yeraltısuyu.

ABSTRACT

Tecer Mountain, located about 40 km to the southeast of Sivas city is formed of Maestrichtian-Thonetian aged limestone (Tecer Limestone). This study aims to determine the hydrogeological, hydrochemical and water quality characteristics of the Tecer Limestone aquifer. Tecer Limestone is densely fractured, jointed and karstified. Karrens, dolines, ponors, underground channels and caves are among the karstic features observed in the unit. Groundwater circulation within the karstified Tecer Limestone occurs mainly along the fractures, joints and solutional conduits, as concentrated (conduit) flow. The flow rate of the springs discharging from the Tecer Limestone in the study area ranges between 0.5 and 565 l/s. The discharge of the Beşgözeler Spring, the largest karst spring in Tecer Limestone, ranges between 150 and 565 l/s. The electrical conductivity (EC) and hardness of the spring waters that issue from the Tecer Limestone range between 215 and 585 µS/cm, and 10 and 20 °F (French Hardness), respectively. The spring waters are of a calcium bicarbonate type. The spring waters plot in medium salinity-low sodium water (C₂-S₁) class in the U.S. Salinity Laboratory Diagram. EC and hardness values of the Tecer River waters range between 630 and 885 µS/cm, and 30 and 45 °F, respectively. Field observations on karstic features and joint systems, and studies of air photographs and satellite images have revealed that karstification has developed in Tecer Limestone as an affect of the surface drainage, joints and faults. There is a rather strong correlation between the fracture traces, densely jointed zones, faults and the intensively karstified zones.

Key words: Hydrogeology, karst aquifer, karst spring, Tecer Mountain, groundwater.

T. Ekemen

E-mail: tekemen@cumhuriyet.edu.tr

GİRİŞ

Çalışma alanı Sivas'ın güneydoğusunda yer alan Tecer Dağı ve çevresini kapsamaktadır (Şekil 1). Tecer Dağını tamamen kaplayan Tecer kireçtaşı kırıklı, çatlaklı ve karstik yapısından dolayı su taşıma niteliğine sahiptir. Bu nedenle Tecer kireçtaşından boşalan kaynakların hidrojeolojik ve hidrokimyasal özelliklerinin saptanması, yıllık su potansiyellerinin belirlenmesi, içme ve kullanma suyu problemi bulunan Cumhuriyet Üniversitesine su sağlama olanaklarının araştırılması amacıyla Tecer Dağı ve çevresinin hidrojeoloji haritası hazırlanmış, su noktalarında ölçümler, su örneklemeleri ve analizleri yapılmıştır. Ayrıca arazi ölçümleri, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri yardımıyla kırık izleri ve karstik yapılar incelenmiş ve kırık izi haritaları hazırlanmıştır.

Bu çalışmada alanın jeolojisi; Gürsoy (1986), İnan (1987), İnan vd. (1993) ve Gökten (1993)'in çalışmaları dikkate alınarak tanımlanmıştır. Çalışma alanında karstik Tecer kireçtaşından boşalan 11 kaynak, 5 akarsu ölçüm noktasının arazideki yerleri ve yükseltileri saptanarak debi (Q), elektriksel iletkenlik (EC), pH, toplam çözünmüş katı madde (TDS) ve sıcaklık (T) değerleri ölçülmüştür. Alınan su örneklerinin analizi yapılmış ve analiz sonuçları çeşitli diyagramlarda değer-

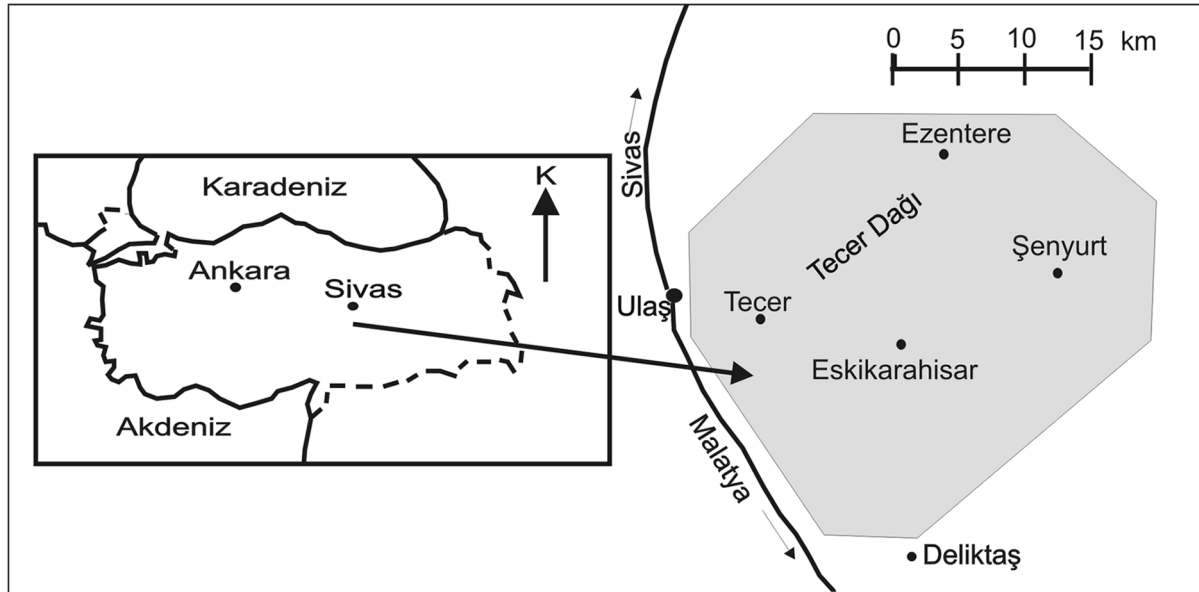
lendirilmiştir. Tecer Deresi üzerinde havzanın çıkış noktasındaki 15-259 nolu Tecer akım gözlem istasyonuna (AGİ) ait akımlar değerlendirilmiştir. Havzanın yıllık ortalama yağış miktarı hesaplanarak su kaynakları potansiyeli belirlenmiştir. (Ekemen, 2001). Ayrıca, çalışma alanı ve çevresinin "Sayısal Arazi Modeli (DEM)" oluşturularak Landsat uydusunun 7. bandının üç boyutlu görüntüsü elde edilmiş ve bu görüntü üzerine karstik yapılar ve kaynak çıkış yerleri işaretlenmiştir.

JEOLOJİ

Litostratigrafik Birimler

İnceleme alanında çoğunlukla sedimanter, ofiyolitik ve yer yer volkanik kayalar bulunmaktadır (Şekil 2 ve 3). Bölgedeki Divriği ofiyolitik karışığı ve Tecer kireçtaşı allokon olup, diğer birimler otoktondur.

Çataldağ kireçtaşı çalışma alanının güneydoğusunda çok dar bir alanda yüzeylenmektedir. Kireçtaşının tabanı gözlenememiş olup tavanı Üst Kretase yaşlı Divriği ofiyolitik karışığı tarafından tektonik olarak üstlenmektedir. Üst Jura-Alt Kretase yaşlı birim mavi-bej, yer yer masif, yer yer kalın katmanlı, bol çatlaklı kireçtaşları ile temsil edilmektedir (İnan vd., 1993).



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

Divriği ofiyolitli karışığı, çalışma çevresinde oldukça geniş bir alanda yer almaktadır ve kalınlığı 2000 m'dir. Karışık, genelde ofiyolit (peridotit, lertzolit, serpantin, amfibolit, harzburjit, dunit vb.) ve sedimanter kökenli (kireçtaşı, radyolarit vb.) kayalarından oluşmuştur. Üst Kretase'de bölgeye yerleşen karışığın üzerine Tecer Kireçtaşı uyumsuz olarak gelmektedir (İnan vd., 1993).

Tecer kireçtaşı, çalışma alanını oluşturan Tecer Dağı silsilesini tamamen kaplamaktadır. Birimin egemen litolojisi gri kireçtaşlarıdır. Yer yer kalın katmanlı (30-70 cm) olup, yüzeyleri bol karstik boşluklu ve çatlaklıdır. İnan vd. (1993) tarafından tanımlanan fosillere göre, birime Üst Maastrihtiyen - Tanesiyen yaş aralığı verilmiştir.

Bozbel formasyonu, Tecer kireçtaşı tarafından tektonik olarak üzerlenmektedir. Formasyon, genel olarak ince-orta katmanlı, bej, sarımsı-gri killi kireçtaşı bantları içeren kumtaşı ve silttaşışeyl ardalanmasından oluşmaktadır. Üst kesimlerde ise, yer yer jips merceklerine rastlanmaktadır. Birimin kalınlığı 1200-1500 m arasında değişmekte olup, Lütesiyen yaşındadır (İnan vd., 1993).

Selimiye formasyonu, kırmızımsı kahverenkli çakıltaşı-kumtaşı, yeşil-gri miltaşı, silttaşı ve yer yer jips mercekleriyle temsil edilmektedir. Formasyonun toplam kalınlığı 500-700 m arasında ve yaşı Oligosen'dir (İnan vd., 1993).

Karacaören formasyonunu, Gürsoy (1986) tarafından üç üyeye ayrılmıştır. Formasyonun tabanında yer alan kumtaşı-kilttaşı-çakıltaşı ardalanmasından oluşan bölümünü Kızılkaya Tepe üyesi, killi kireçtaşından oluşan bölümü Eskiköy üyesi, bazaltlarla temsil edilen bölümü ise Alibaba Tepe üyesi olarak adlandırılmıştır. Ayrıca formasyon içerisinde yer yer beyaz-gri jips mercekleri yer almaktadır. Formasyon 750 m kalınlığında olup, Miyosen yaşındadır (İnan vd., 1993).

Deliktaş formasyonu, inceleme alanının güney kesimlerinde Karacaören Formasyonu ile yanal ve dikey geçişli, güney-güneydoğu kesimlerinde ise Divriği ofiyolitli karışığı napı üzerinde açılı uyumsuz olarak yer almaktadır (İnan vd., 1993). Formasyonun kumtaşı-çakıltaşı-şeyl ardalan-

masından oluşan düzeyleri Örencik üyesi olarak, killi kireçtaşından oluşan üst düzeyleri ise Kulmaç üyesi olarak adlandırılmıştır. Formasyonun kalınlığı 750 m'dir (İnan vd., 1993).

Örenlice formasyonu, değişik boyutlarda silis, radyolarit, kireçtaşı, bazalt, killi kireçtaşı ve ofiyolitik kayaç parçalarından türemiş çakıltaşlarından oluşmaktadır. Formasyon Pliyosen yaşında olup, kalınlığı 50-75 m'dir (Gürsoy, 1986; İnan vd., 1993).

Traverten, çalışma alanının kuzeybatı kesiminde yer alan Demircilik Köyü civarında yüzeylenmektedir. Birim oldukça kırıklı ve çatlaklı olup, bundan dolayı tam bir tabakalanma gözlenememiştir. Bununla birlikte, topoğrafyaya paralel olarak görüldüğü kesimler göze çarpmaktadır. Birim, İnan (1987) tarafından Pliyosen olarak yaşılandırılmıştır.

Soğukpınar formasyonu, karasal çakıltaşlarından oluşmaktadır ve kalınlığı 100 m'yi geçmektedir. Formasyona, stratigrafik konumu dikkate alınarak, Pliyo-Kuvaterner yaşı verilmiştir (Gökten, 1993).

Alüvyon, Tecer deresi ve yan kollarının yataklarında bulunmakta ve pekişmemiş çakıl, kum, silt ve killerden oluşmaktadır.

Yapısal Jeoloji

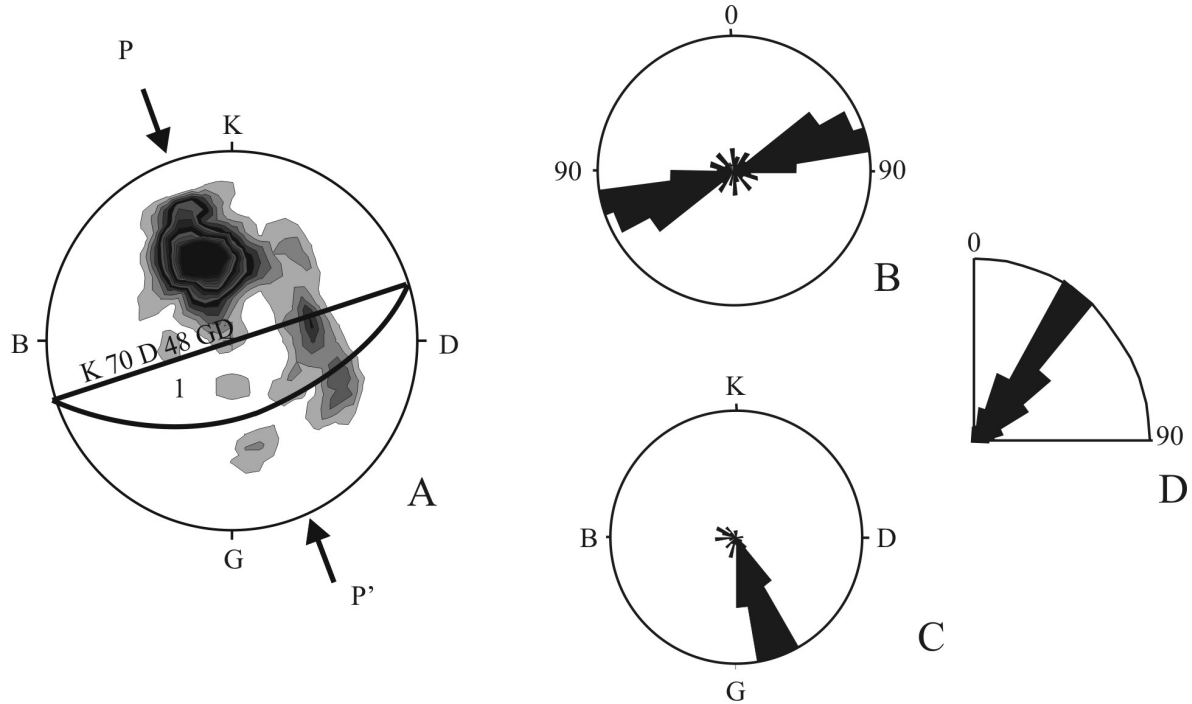
Çalışma alanı, Anatolidler ile Toridler'in doğu kesiminde her iki birliğin sınırlarında yer almaktadır (Gürsoy, 1986). Tecer Dağı, Alpin tektonik özellik gösteren Torid Tektonik Kuşağı içerisinde kabul edilmiştir. İnceleme alanında bölgenin KKB-GGD doğrultulu sıkışma tektoniği ile uyumlu olarak meydana gelmiş çok sayıda bindirme, doğrultu atımlı sağ ve sol yanal ve eğim atımlı normal faylar bulunmaktadır. Doğrultu atımlı sağ yanal faylardan en belirginini Tecer Dağı'nı Gezbel Boğazı'nda KB-GD yönünde kesen faydır (bkz. Şekil 3). Alanın güneydoğu sınırında, Üst Kretasede Çataldağ Kireçtaşları üzerine, Divriği Ofiyolitli Karışığı kuzeyden güneye doğru bindirmiştir (Yılanlıdağ bindirmesi) (İnan vd., 1993). Alt Miyosende, Tecer kireçtaşı, Tecer Dağı'nın kuzeyinde Bozbel ve Selimiye formasyonları üzerine güneyden kuzeye doğru bindirmiştir (Te-

cer bindirmesi) (Gökten, 1986). İnceleme alanında yer alan en büyük kıvrım, Eskiköy civarında bulunan ve Miyosen yaşlı Karacaören formasyonu içerisinde gelişmiş olan Eskiköy senkinalidir. Tecer kireçtaşında bölgede etkin olan sıkıştırmaya bağlı olarak katmanlanma her kesimde belirgin değildir. Katmanlanmanın belirgin olduğu yerlerden tabaka doğrultu ve eğimleri ölçülmüş ve bu değerler kontur ve gül diyagramları hazırlanarak değerlendirilmiş, buna göre birimin egemen katmanlanma düzleminin $K7^{\circ}D/48^{\circ}$ GD olduğu saptanmıştır (Şekil 4).

HİDROLOJİ

Çalışma alanını oluşturan Tecer Dağı ve yakın çevresinde yağış gözlem istasyonu bulunmaktadır. İnceleme alanı çevresindeki Ulaş, Kangal, Deliktaş, Celalli ve Sincan Devlet Meteoroloji istasyonlarının 1976-1995 yılları arasındaki değerlerine göre eşyağış eğrileri yöntemi yardımıyla inceleme alanının ortalama yıllık yağışı 500 mm olarak bulunmuştur.

İnceleme alanının büyük bölümü Tecer Deresi tarafından drene edilmektedir. Derenin havza çıkış noktasında (Tecer Köyü) DSİ XIX. Bölge Müdürlüğü'ne ait 15-259 nolu akım gözlem istasyonu (AGİ) bulunmaktadır. Bu istasyonda (TD-1) 1994-2000 yılları arasındaki aylık ortalama akım değerlerine göre 7 yıllık ortalama akım $1.08 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir. Tecer Deresi'nin bu istasyon kesitindeki drenaj alanı 210 km^2 'dir. Bu istasyona ait 1994-2000 yılları arasındaki aylık ortalama akım değerlerinin akım zaman grafiği çizilmiş ve kurak dönemlerdeki akımlar dikkate alınarak toplam akımdan baz akım ayrılmış ve ayrılan alanlar yardımıyla 7 yıllık ortalama baz akım $0.66 \text{ m}^3/\text{s}$ ve ortalama yüzeysel akış $0.42 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Çizelge 1'de Tecer Deresi'nde yapılan ölçüm değerleri verilmiştir. Beşgözeler kaynağı Tecer Deresi üzerindeki TD-2 ile TD-3 ölçüm noktası arasında Tecer Deresine katılmaktadır. Bu nedenle TD-2'nin debisinde artma ve EC miktarında azalma gözlenmektedir. Ayrıca TD-2 ölçüm noktasından sonra Ulaş Devlet Üretim Çiftliğine sulama amaçlı olarak su veril-



Şekil 4. Tecer kireçtaşı tabaka ölçümlerinin kontur ve gül diyagramları (A: kontur diyagramı, B: doğrultuya göre, C: eğim yönüne göre, D: eğim miktarına göre gül diyagramları).
Figure 4. Contour and rose diagrams of the Tecer limestone bedding plane measurements (A: contour diagram, B: rose diagram of the strike of the bedding planes, C: rose diagram of the dip direction, D: rose diagram of the degree of the dip).

Çizelge 1. Akarsularda yapılan arazi ölçümleri.
Table 1. Field measurements on river waters.

Akarsu no	Akarsu adı	Ölçüm tarihi	Debi (l/s)	T (°C)	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)
TD-1	Tecer Deresi 1	03.07.2000	325	23.3	815	520
TD-1	Tecer Deresi 1	28.09.2000	174	14.1	810	540
TD-1	Tecer Deresi 1	13.11.2000	538	9.8	890	600
TD-2	Tecer Deresi 2	03.07.2000	604	22.0	630	410
TD-3	Tecer Deresi 3	05.07.2000	299	24.7	875	580
TD-4	Tecer Deresi 4	07.07.2000	250	18.2	886	620
TD-5	Tecer Deresi 5	10.07.2000	302	16.2	865	550

diğinden dolayı TD-1'in debisi azalmaktadır. TD-5 ölçüm noktasından sonra yöredeki pancar vb. sebzelerin sulanması amacıyla Tecer Deresi'nden tarım arazilerine su verilmektedir.

HİDROJEOLOJİ

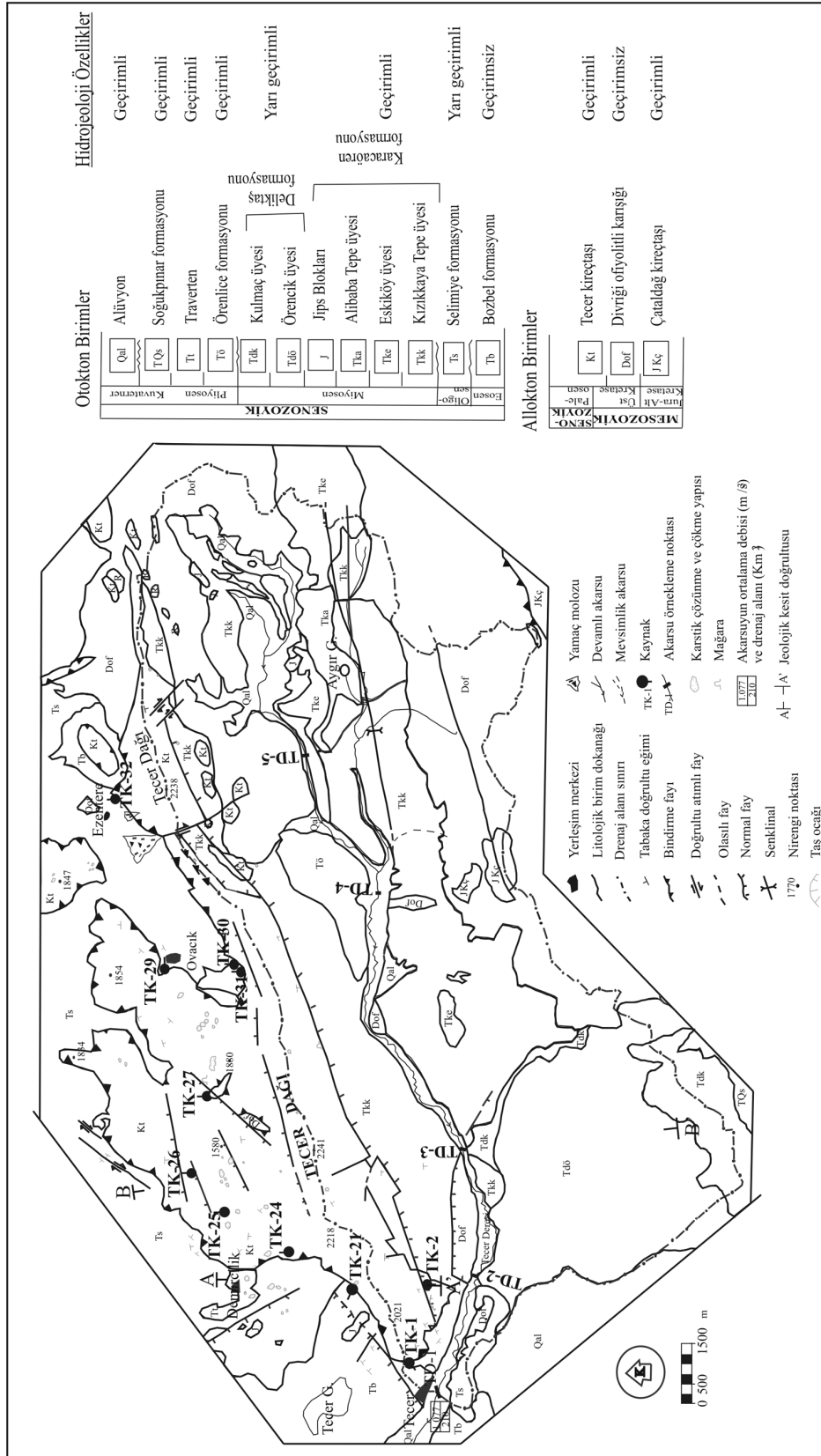
Tecer kireçtaşı oldukça kırıklı, çatlaklı ve yoğun karstlaşmış olması nedeniyle iyi bir akifer olma özelliğine sahiptir. Şekil 5'te çalışma alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası verilmiştir. Tecer kireçtaşından 11 adet karstik kaynak boşalmaktadır. Bu kaynakların 2000 yılı yaz döneminde muline ile ölçülen debileri Çizelge 2'de verilmiştir. Kaynakların en büyüğü Beşgözeler kaynağıdır (150-398 l/s). Bentbaşı, Karapınar, Göllü ve Çağlayan kaynakları bu birimden boşalan diğer büyük debili (4.3-55.6 l/s) kaynaklardır. Bu kaynakların farklı dönemlerde ölçülmüş debi değerleri Çizelge 3'te verilmiştir. Şekil 6'da faylar ile

ilişkili boşalan yapan kaynakların jeolojik kesitleri görülmektedir.

Beşgözeler kaynağı, Tecer köyünün doğusunda yer almakta olup, boşalım noktası Tecer Dağı'nın güneyindeki normal fay (Tecer Fayı) üzerinde bulunmaktadır. Kaynağın debileri çeşitli amaçlar için farklı kişi ve kuruluşlar tarafından değişik tarihlerde ölçülmüştür (Çizelge 3). Çizelge 3'ten görülebileceği gibi, debi değerleri 150-495 l/s arasında değişmektedir. Beşgözeler kaynağı suyunun bir kısmı Sivas Demir Çelik İşletmesi'ne, Ulaş'a ve yakın civarlardaki köylere içme ve kullanma suyu olarak verilmektedir. Verilen su miktarı çeşitli dönemlerde 70 l/s (Kaçaroglu ve Değirmenci, 2001) ile 120 l/s arasında değişim göstermiştir. Alınan sudan geri kalanı Tecer Deresi'ne karışmakta ve bu suyun bir kısmı alabalık üretim çiftliğinde kullanılmaktadır. Beşgözeler kaynağı Tecer Deresi'ne karıştıktan

Çizelge 2. Kaynaklarda yapılan arazi ölçümleri.
Table 2. Field measurements on spring waters.

Kaynak No.	Kaynak adı	Çıktığı formasyon / birim	Yükselti (m)	Ölçüm tarihi	Debi (l/s)	T (°C)	TDS (mg/l)
TK-1	Çağlayan	Tecer kçt.-Kızılkaya Tepe üy.dokanağı	1510	03.07.2000	42	12	380
TK-2	Beşgözeler	Tecer kireçtaşı	1530	03.07.2000	398	10	195
TK-21	Tatlı Pınar	Tecer kçt.-Bozbel form. dokanağı	1740	11.07.2000	0.5	10	170
TK-24	Deliabu	Tecer kireçtaşı	1780	11.07.2000	0.5	9.1	220
TK-25	Bentbaşı	Tecer kireçtaşı	1740	12.07.2000	56	8.8	180
TK-26	Karapınar	Tecer kireçtaşı	1770	12.07.2000	37	9	190
TK-27	Göllü	Tecer kçt.-Divriği of.karş. dokanağı	1750	12.07.2000	21	9	200
TK-29	Yukarı Pınar	Tecer kçt.-Selimiye form. dokanağı	1730	13.07.2000	2	9	180
TK-30	Kızılbayır	Tecer kçt.-Divriği ofy.karş. dokanağı	1740	13.07.2000	1	7.7	280
TK-31	Soğuk Pınar	Tecer kçt.-Divriği ofy.karş. dokanağı	1790	13.07.2000	5	5.7	140
TK-32	Ezentere	Tecer kçt.-Selimiye form. dokanağı	1690	13.07.2000	1	8.5	250



Şekil 5. İnceleme alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası.
 Figure 5. Hydrogeological map of the investigated area and its vicinity.

Çizelge 3. Bazı büyük kaynakların debileri.
Table 3. Discharges from some of the large springs.

Kaynak adı	Ölçüm tarihi	Debi (l/s)	Kaynak
Beşgözeler	03.07.2000	398	Ekemen (2001)
"	31.07.2000	399	Ekemen (2001)
"	28.09.2000	425	Ekemen (2001)
"	13.11.2000	265	Ekemen (2001)
"	21.09.2001	150	Kaçaroğlu ve Değirmenci (2001)
"	28.05.2003	450	Kaçaroğlu vd. (2004)
"	09.04.2004	495	Kaçaroğlu vd. (2004)
"	10.11.2005	190	Kaçaroğlu vd. (2005 b)
Bentbaşı	12.07.2000	55.6	Ekemen (2001)
"	03.08.2000	18.7	Ekemen (2001)
"	28.09.2000	9	Ekemen (2001)
"	13.11.2000	6.7	Ekemen (2001)
"	24.05.2005	15	Kaçaroğlu vd. (2005 a)
Karapınar	12.07.2000	36.8	Ekemen (2001)
"	03.08.2000	22	Ekemen (2001)
"	28.09.2000	23.4	Ekemen (2001)
"	13.11.2000	15.6	Ekemen (2001)
"	24.05.2005	25	Kaçaroğlu vd. (2005 a)
Göllü	12.07.2000	20.5	Ekemen (2001)
"	03.08.2000	27	Ekemen (2001)
"	28.09.2000	11.1	Ekemen (2001)
"	13.11.2000	4.3	Ekemen (2001)
"	24.05.2005	20	Kaçaroğlu vd. (2005 a)

sonra Tecer Deresi'nden Ulaş Devlet Üretim Çiftliğine sulama amaçlı olarak su verilmektedir.

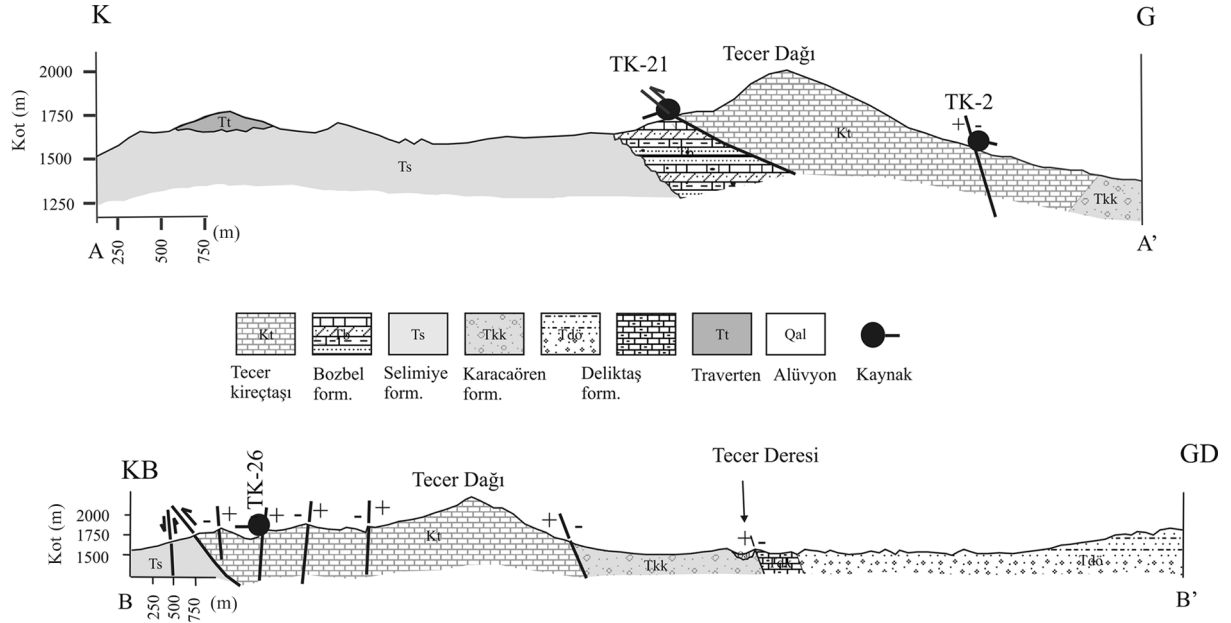
Bentbaşı kaynağı (TK-25) Tecer Dağı'nın kuzeyinde; Demircilik köyü 2.5 km doğusunda bulunan Bentbaşı Mevkiinde, dere yatağı içerisinde boşalmaktadır. Kaynağın debisi 4 farklı ayda ölçülmüş olup, 6.7-55.6 l/s arasında değişmektedir. Karapınar kaynağı (TK-26), Tecer Dağı'nın kuzey kesiminde Tecer kireçtaşıdan boşalmakta olup, boşalım noktası normal fay üzerinde yer almaktadır. Kaynağın debisi, 15.6-36.8 l/s arasında değişmektedir. Bentbaşı ve Karapınar kaynakları Karaşar köyü'nün tarım alanlarını sulamak amacıyla kullanılmaktadır. Göllü kaynağı (TK-27), Ovacık köyünün 3 km güneybatısında bulunmaktadır. Kaynak, Divriği ofiyolitik karışığına ait serpantinitle Tecer kireçtaşı aynı zamanda normal bir fay olan dokanaktan boşalmaktadır. Kaynağın debisi 4.3-20.5 l/s arasında değişmektedir. Kaynak, Göllü Yaylası'nın su gereksiniminin karşılanmasında ve civardaki tarlaların sulanmasında kullanılmaktadır. Çağlayan kaynağı, Tecer kireçtaşı ile Kızılkaya Tepe üyesi dokanağından boşalmaktadır ve debisi Temmuz 2000'de 42 l/s olarak ölçülmüştür. Çağlayan kaynağı Ulaş belediyesi'nin ve Tecer köyü'nün

su gereksiniminin karşılanmasında kullanılmaktadır. Diğer kaynakların debileri 0.5-5 l/s arasında değişmekte ve Tecer kireçtaşı ile diğer birimlerin kantağından boşalmaktadırlar (bkz. Çizelge 2).

SU KİMYASI

İnceleme alanında bulunan kaynak sularının sertlikleri 10-20 Fransız Sertlik Derecesi (°F) arasındadır (Çizelge 4). Kaynak sularının üçgen diyagramı (Piper, 1944) incelendiğinde, çoğunlukla kalsiyum bikarbonatlı tipte sular olduğu görülmektedir (Şekil 7). Sadece Çağlayan kaynağı (TK-1) karışık tip su sınıfındadır. Kaynaklar sulama suyu açısından ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'na göre genellikle "düşük sodyumlu-orta tuzlu" sular olup, C₂-S₁ sınıfında yer almaktadır (Şekil 8). C₂-S₁ sınıfında yer alan sular tuzluluk kontrolüne gerek kalmaksızın, tuza orta derecede dayanıklı bütün bitkilerde kullanılabilir ve sodyum tehlikesi yoktur (Erözel, 1986).

Çalışma alanındaki kaynakların Fe, Mn ve Cr ağır metal içerikleri analiz edilmiş ve Fe miktarı Çizelge 4'te verilmiştir. Mn ve Cr miktarları ise ölçüm eşliğinin altında kalmıştır. Kaynak suları-



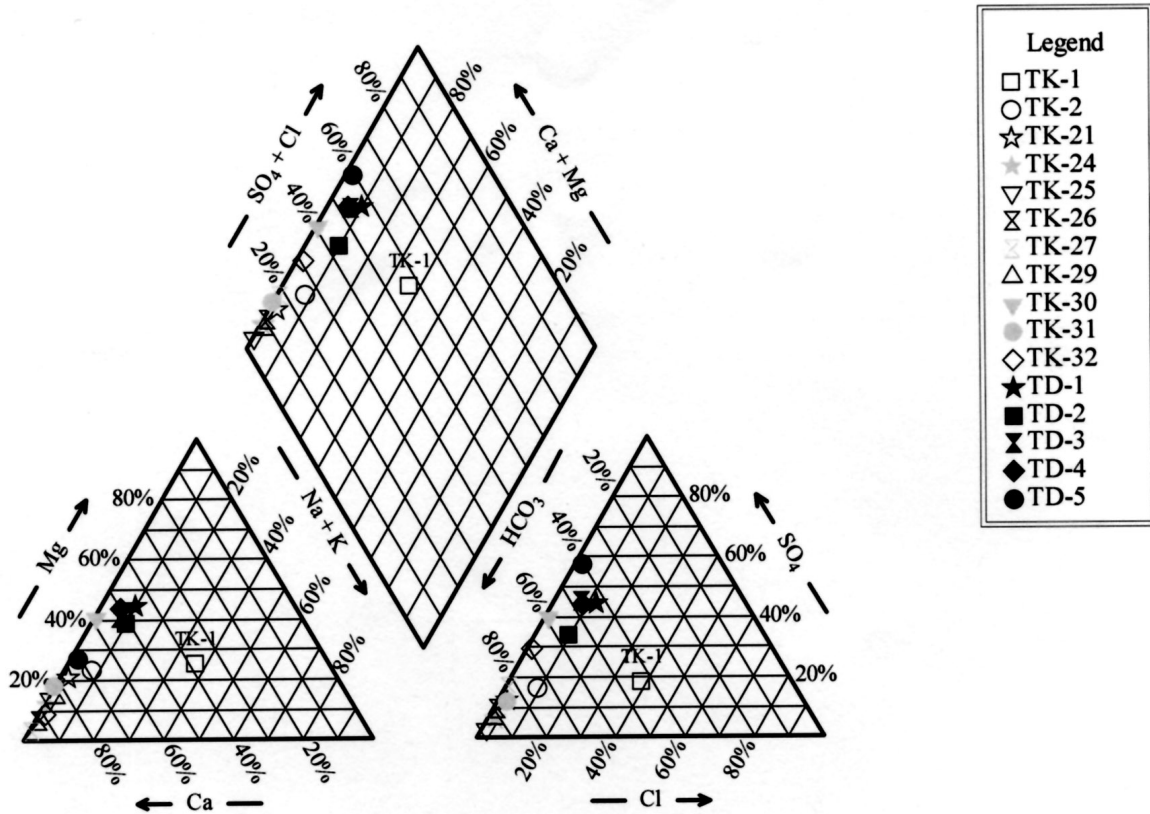
Şekil 6. Bazı kaynakların yerlerini gösteren jeoloji kesitleri.

Figure 6. Geological sections showing the locations of some springs.

Çizelge 4. Kaynak suları ve akarsuların kimyasal analiz sonuçları.

Table 4. Results of chemical analysis of the spring and river waters.

Örnek No	Örnek adı	Alındığı tarih	pH	Öz. EC µS/cm	Kanyonlar (meq/l)				Anyonlar (meq/l)				SAR	Sulama sınıfı	Sertlik (°F)	Fe (mg/l)
					Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻				
TD-1	Tecer Deresi 1	03.07.2000	8.2	815	0.88	0.02	4.0	4.0	0.2	2.8	0.88	3.16	0.44	C ₃ S ₁	40	0.25
TD-2	Tecer Deresi 2	03.07.2000	8.15	630	0.67	0.01	3.4	2.6	0.3	2.9	0.56	1.97	0.39	C ₂ S ₁	30	0.21
TD-3	Tecer Deresi 3	05.07.2000	8.02	875	0.68	0.02	5.0	4.0	0.0	4.0	0.72	3.94	0.32	C ₃ S ₁	45	<0.04
TD-4	Tecer Deresi 4	07.07.2000	8.10	886	0.56	0.02	4.5	4.0	0.2	3.5	0.72	3.50	0.27	C ₃ S ₁	43	<0.04
TD-5	Tecer Deresi 5	10.07.2000	8.19	865	0.20	0.02	6.5	2.5	0.0	3.6	0.20	5.20	0.09	C ₃ S ₁	45	<0.04
TK-1	Çağlayan Kaynağı	03.07.2000	8.00	585	2.13	0.01	2.2	1.5	0.0	2.4	2.12	1.04	1.57	C ₃ S ₁	19	0.25
TK-2	Beşgözeler Kaynağı	03.07.2000	7.85	300	0.23	0.01	2.0	0.7	0.0	2.0	0.26	0.45	0.20	C ₂ S ₁	14	<0.04
"	"	31.07.2000	7.4	304	0.2	0.005	1.5	0.9	0.0	1.9	0.26	0.39	0.18	C ₂ S ₁	12	<0.04
"	"	28.09.2000	8.02	305	0.27	0.005	1.1	1.2	0.0	1.8	0.27	0.38	0.25	C ₂ S ₁	12	0.13
"	"	13.11.2000	7.87	317	0.24	0.005	1.6	0.9	0.0	2.0	0.29	0.06	0.21	C ₂ S ₁	13	
TK-21	Tatlı Pınar	11.07.2000	7.29	254	0.06	0.00	1.8	0.5	0.0	1.8	0.06	0.26	0.06	C ₂ S ₁	12	<0.04
TK-24	Deliabu Kaynağı	11.07.2000	7.92	395	0.03	0.00	2.8	0.4	0.0	2.6	0.06	0.19	0.02	C ₂ S ₁	16	<0.04
TK-25	Bentbaşı Kaynağı	12.07.2000	7.66	268	0.02	0.00	2.4	0.4	0.0	2.4	0.04	0.07	0.02	C ₂ S ₁	14	<0.04
"	"	03.08.2000	7.2	298	0.01	0.003	2.3	0.8	0.0	2.2	0.04	0.06	0.01	C ₂ S ₁	16	<0.04
"	"	28.09.2000	8.30	280	0.02	0.003	2.0	0.1	0.0	1.8	0.05	0.04	0.02	C ₂ S ₁	11	<0.04
"	"	13.11.2000	7.90	296	0.02	0.002	2.2	0.1	0.0	2.2	0.03	0.08	0.02	C ₂ S ₁	12	
TK-26	Karapınar Kaynağı	12.07.2000	7.87	288	0.03	0.01	2.6	0.2	0.0	2.3	0.04	0.25	0.03	C ₂ S ₁	14	<0.04
"	"	03.08.2000	7.15	287	0.01	0.003	2.4	0.1	0.0	2.2	0.06	0.18	0.01	C ₂ S ₁	13	<0.04
"	"	28.09.2000	7.9	310	0.01	0.004	2.4	0.2	0.0	2.2	0.03	0.17	0.01	C ₂ S ₁	13	<0.04
"	"	13.11.2000	7.78	315	0.04	0.003	2.4	0.2	0.0	2.3	0.06	0.16	0.04	C ₂ S ₁	13	
TK-27	Göllü Kaynağı	12.07.2000	8.10	313	0.03	0.00	2.8	0.1	0.0	2.4	0.04	0.50	0.02	C ₂ S ₁	15	<0.04
"	"	03.08.2000	8.11	368	0.02	0.002	2.2	0.3	0.0	1.9	0.04	0.50	0.02	C ₂ S ₁	13	<0.04
"	"	28.09.2000	7.75	375	0.03	0.003	2.2	0.4	0.0	2.0	0.02	0.50	0.03	C ₂ S ₁	13	<0.04
TK-29	Yukarı Pınar	13.07.2000	8.15	268	0.04	0.00	1.7	0.3	0.0	1.8	0.04	0.13	0.04	C ₂ S ₁	10	<0.04
TK-30	Kızılbaş Kaynağı	13.07.2000	8	425	0.04	0.00	2.3	1.6	0.0	2.3	0.05	1.57	0.03	C ₂ S ₁	20	<0.04
TK-31	Soğuk Pınar	13.07.2000	8.06	215	0.00	0.00	1.8	0.4	0.0	1.7	0.06	0.25	0.00	C ₁ S ₁	11	<0.04
TK-32	Ezentere Kaynağı	13.07.2000	7.94	380	0.06	0.01	3.0	0.3	0.0	2.3	0.05	1.00	0.05	C ₂ S ₁	17	<0.04



Şekil 7. Kaynak sularının ve akarsuların üçgen diyagramda sınıflandırılması.
Figure 7. Classification of spring and river waters in the trilinear diagram.

nin çoğunluğunun EC, pH, Cl, SO₄, Na, Fe, Mn ve Cr içerikleri açısından Türk İçme Suyu Standartları'na (TS266, 2005) uymaktadır. Sadece Çağlayan kaynağının demir içeriği 0.25 mg/l olup, içme açısından izin verilebilecek maksimum değer olan 0.2 mg/l'yi çok az aşmaktadır. Çalışma alanında yer alan kaynakların beslenme alanları civarında herhangi bir yerleşim alanı, tarım arazisi, maden işletme tesisi, çöp deponi alanı vb. kirlilik kaynakları bulunmamaktadır. Bu nedenle mevcut durumuyla bu kaynaklar herhangi bir kirlenme riski altında bulunmamaktadır.

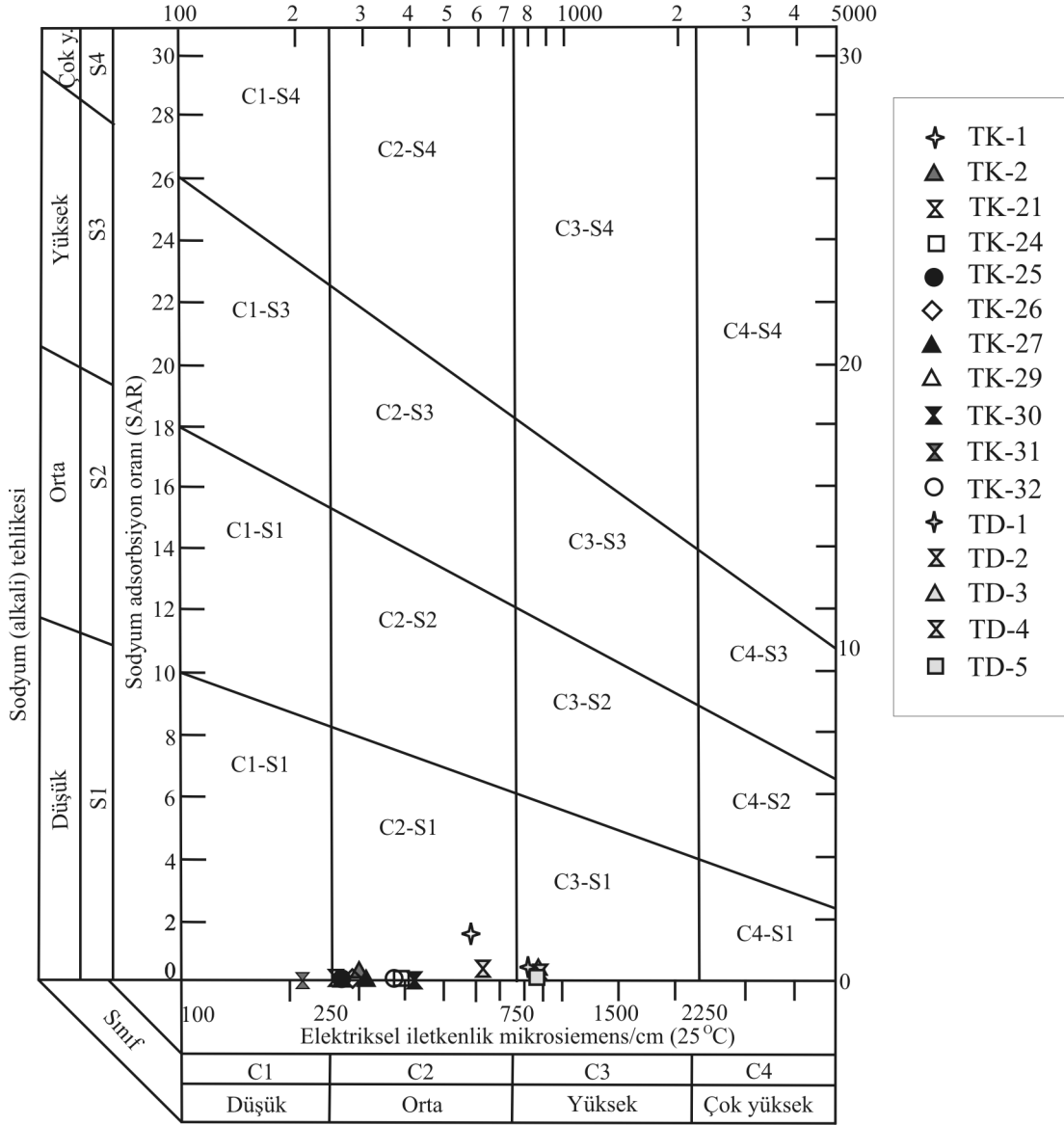
Arazi çalışmaları sırasında 5 akarsu noktasından su örneği alınmıştır. Bu örneklerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4'te verilmiştir. Akarsuların sertlikleri 30-45 °F arasındadır. Akarsular, üçgen diyagrama (Piper, 1944) göre, kalsiyum, magnezyum bikarbonatlı ve kalsiyum, magnezyum sülfatlı sularlardır (Şekil 7). ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'na göre ise, çoğunlukla C₃-S₁ yani, "düşük sodyumlu-yüksek tuzlu" sula-

ma suyu sınıfında yer almaktadır (Şekil 8). C₃-S₁ sınıfında yer alan bu sular tuza dayanıklı bitkilerde tuz kontrolü yapılarak kullanılabilir (Eröz, 1986).

Doğunluk Analizi

Yeraltısuyu sisteminde oluşan kimyasal tepkimeler hidrokimyasal ortam hakkında yorum yapabileceği sağlanmaktadır. Bu amaçla yeraltı suyunun çeşitli mineraller bakımından doğunluk durumunun araştırılması gerekmektedir. Doğunluk indeksi (SI) suların çözülmüş mineraller açısından denge durumundan sapmalarını sayısal olarak belirtmektedir (Apello ve Postma, 1996; Drever, 1996; Langmuir, 1997).

Çalışma alanındaki kaynakların ve akarsuların çeşitli mineraller açısından doğunluk durumlarını saptamak amacıyla WATEQ (Trusdell and Jones, 1974) programı kullanılmıştır (Çizelge 5). Çizelge 5'ten akarsular aragonit, kalsit ve dolomit açısından aşırı doğun durumda iken, diğer



Şekil 8. Kaynak suları ve akarsuların sulama suyu sınıflaması.

Figure 8. Classification of spring and river waters in the irrigation water diagram.

mineraller açısından doymun durumda değildirler. Kaynaklardan ise; TK-1 kalsit ve dolomit minerallerine aşırı doymun olup, TK-24, TK-26, TK-27, TK-29, TK-30, TK-32 sadece kalsit mineraline aşırı doymundurlar. TK-2, TK-21, TK-25 ve TK-31 ise, hiçbir minerale doymun değildir.

UZAKTAN ALGILAMA ÇALIŞMALARI

Çalışma alanındaki karstlaşma ile tektonizmanın ilişkisini saptayabilmek amacıyla hava fotoğ-

rafları ve uydu görüntüleri incelenmiş, bu fotoğraf ve görüntüler yardımıyla çizgisellik haritaları hazırlanmış ve arazi çalışması sırasında ölçülen eklemeler yardımıyla gül diyagramları çizilmiştir (Şekil 9, Şekil 10). Şekil 10'da gösterilen çizgisellik haritası hazırlanırken Landsat TM 7. bandına kuzeybatıdan verilen ışıklandırma yardımıyla bu yöne dik olarak gelişebilecek çizgiselliklerin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu analiz gerçekleştirilirken bölgede insan eliyle yapılmış kültürel eserlerin oluşturduğu çizgisellik-

Çizelge 5. Akarsu ve kaynak sularının doygunluk indeksi değerleri.
Table 5. Saturation indices of the spring and river waters.

	Anhidrit	Aragonit	Brusit	Kalsit	Dolomit	Epsomit	Jips	Halit	Huntit
TD-1	-1.694	0.636	-3.494	0.781	1.672	-3.896	-1.468	-7.787	-0.897
TD-2	-1.906	0.565	-3.838	0.711	1.401	-4.209	-1.675	-8.088	-1.575
TD-3	-1.533	0.682	-3.782	0.826	1.681	-3.849	-1.312	-7.995	-0.954
TD-4	-1.617	0.599	-4.047	0.748	1.488	-3.817	-1.375	-8.061	-1.403
TD-5	-1.311	0.778	-4.233	0.929	1.455	-3.856	-1.065	-9.063	-1.866
TK-1	-2.302	-0.011	-5.024	0.143	0.066	-4.568	-2.049	-6.977	-4.468
TK-2	-2.615	-0.251	-5.772	-0.095	-0.741	-5.156	-2.359	-8.830	-6.414
TK-21	-2.867	-0.888	-7.008	-0.733	-2.114	-5.511	-2.612	-10.045	-9.257
TK-24	-2.855	0.050	-5.951	0.206	-0.546	-5.780	-2.599	-10.351	-6.432
TK-25	-3.332	-0.292	-6.483	-0.136	-1.170	-6.189	-3.076	-10.699	-7.621
TK-26	-2.751	-0.070	-6.354	0.086	-1.057	-5.944	-2.495	-10.524	-7.725
TK-27	-2.432	0.196	-6.204	0.352	-0.857	-5.957	-2.176	-10.526	-7.657
TK-29	-3.175	-0.062	-5.600	0.094	-0.680	-6.006	-2.918	-10.391	-6.610
TK-30	-2.076	-0.067	-5.327	0.090	-0.114	-4.302	-1.820	-10.311	-4.904
TK-31	-2.867	-0.211	-5.907	-0.053	-0.939	-5.580	-2.610	-11.810	-7.092
TK-32	-2.127	0.024	-6.098	0.181	-0.762	-5.201	-1.871	-10.132	-7.028

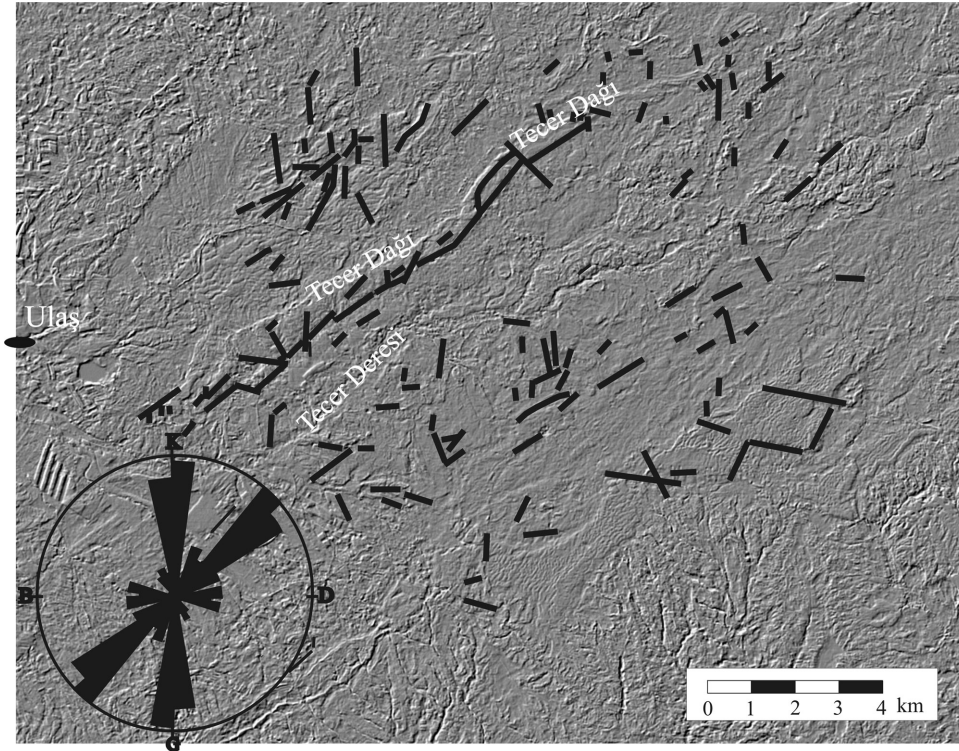
ler topoğrafik haritalar yardımıyla kontrol edilerek ayıklanmıştır. Ayrıca bölgeye ait 1/25.000 ölçekli topoğrafik haritalar sayısallaştırılarak inceleme alanının sayısal arazi modeli (bkz. Şekil 10) oluşturulmuştur. Bu model yardımıyla Landsat TM uydusunun 7. bandının sayısal arazi modeliyle desteklenmiş üç boyutlu görüntüsü elde edilmiştir (Şekil 11). Bu görüntü üzerinde karstik yapılar ve büyük debili kaynak çıkış noktaları kendini açıkça göstermektedir. Ayrıca uydu görüntülerindeki çizgisellikler yardımıyla gül diyagramı hazırlanmıştır (bkz. Şekil 10). Bu gül diyagramı ve arazi çalışmaları sırasında ölçülen eklemelerin gül diyagramlarına bakıldığında her ikisinde de genellikle egemen yönlerinin KD-GB doğrultusunda olduğu görülmektedir. Arazi çalışmaları ve hazırlanan çizgisellik haritaları yardımıyla, bölgede karstlaşmanın çoğunlukla faylar boyunca ve fayların ana doğrultuları olan ve aynı zamanda eklem sistemlerinin egemen doğrultularından biri olan KD-GB uzanımına paralel olarak geliştiği saptanmıştır (bkz. Şekil 9, Şekil 10). Faylar bazen geçirimli ve geçirimsiz birimleri karşı karşıya getirdiğinden geçirimsiz bariyer ile karstik birimlerin sınırlarında büyük karst kaynakları oluşturmaktadır (bkz. Şekil 9). Tecer Kireçtaşındaki karstik çöküntü alanları, çoğunlukla

batı ve kuzeybatı kesimde yer almaktadır. Çalışma alanında gözlenmiş olan karst yüzey şekillerinin en gelişmiş olanları, genellikle çözünme olukları (karenler), çözünme ve çökme yapıları (dolinler) ve daha seyrek olarak mağaralardır.

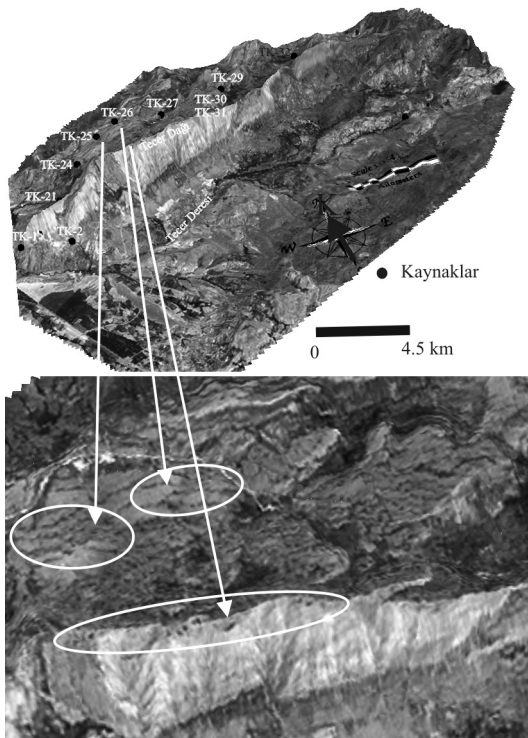
SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tecer Dağı ve çevresinin hidrojeoloji incelemesini konu alan bu çalışmada Tecer kireçtaşının kırıklı, çatlaklı ve karstik yapısından dolayı büyük debili kaynak boşalılarının olduğu saptanmıştır. Kaynaklar çoğunlukla kalsiyum bikarbonatlı tipte sular olup, EC değerleri 215–585 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sertlikleri ise 10-20 $^{\circ}\text{F}$ arasında değişmektedir. Kaynakların beslenme alanları civarında herhangi bir yerleşim alanı, tarım arazisi, maden işletme tesisi, çöp deponi alanı vb. kirlilik kaynakları bulunmamaktadır. Bu nedenle mevcut durumuyla bu kaynaklar herhangi bir kirlenme riski altında bulunmamaktadır. Çağlayan kaynağının Fe miktarındaki hariç bütün kaynaklar EC, pH, Cl, SO_4 , Na, Fe, Mn ve Cr içerikleri açısından Türk İçme Suyu Standartlarına uymaktadır.

Tecer kireçtaşındaki karstik yapıların çoğunluğu bölgedeki kırık hatları, faylar civarında ve genel-



Şekil 10. İnceleme alanı ve çevresinin uydu görüntüsü yardımıyla çizilen kırık izi haritası.
Figure 10. Fracture trace map of the area studied based on satellite images.



Şekil 11. Çalışma alanı ve çevresinin sayısal arazi modeli ve Landsat uydu görüntüsü (7.bant).
Figure 11. Digital elevation model and satellite image (band 7) of the study area and its vicinity.

likle bunların doğrultusuna paralel olarak gelişmiştir. Bu kırık ve çatlak sistemlerinin bölgenin etkisinde kaldığı egemen sıkıştırma yönü olan KKB–GGD doğrultusuyla uyumlu olarak gelişmiştir. Çalışma alanındaki büyük debili karst kaynakları fay zonları üzerinde bulunmaktadır.

Cumhuriyet Üniversitesi'nin su gereksinimi Kızılırmak boyunca uzanan alüvyon akiferde ve kampüsün güney kesimindeki dere ağızlarında bulunan alüvyon yelpazesinde açılmış olan sondaj kuyularından sağlanmaktadır. Bu kuyulardan sağlanan sular oldukça düşük kalitede olup içme amaçlı olarak kullanılamamakta, laboratuvarlarda faydalanılamamakta ve laboratuvarlardaki cihazlarda hasarlara yol açmaktadır. Beşgözer kaynağı suyunun bir kısmı Ulaş, yakın civardaki köyler ve Sivas Demir Çelik İşletmesine içme ve kullanma suyu olarak verilmekte, bir kısmı da alabalık üretiminde kullanılmakta ve buradan Tecer Deresi'ne verilmektedir. Kaynak suyunun kullanımdan artan kısmından Cumhuriyet Üniversitesi'ne su sağlama amacıyla yararlanılabilir. Bunun için, kaynak suyunun çeşitli kullanıcılar arasında bölüşümü ile ilgili yeni hu-

kuki düzenlemeye gerek vardır. Ayrıca karstik ve kırık-çatlaklı akiferlerden boşalan kaynakların boşalım noktalarında veya yakınlarında taş, maden işletme vb. nedenlerle patlatmalar yapılması, yeni kırık-çatlakların ve yeraltısuyu akım yollarının oluşmasına ve kaynak boşalımının (debinin) azalmasına neden olabileceğinden dolayı Beşgözeler kaynağı'nın doğusundaki taş ocaklarının kapatılması kaynağın korunması açısından önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Appello, C.A.J., and Postma, D., 1996. Geochemistry, Groundwater and Pollution. Balkema, Rotterdam.
- Drever, J.I., 1996. The Geochemistry of Natural Waters (3rd ed.). Prentice Hall, New Jersey.
- Ekemen, T., 2001. Tecer Dağı (Sivas-Ulaş) kaynaklarının hidrojeoloji incelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas (yayımlanmamış).
- Erözel, Z., 1986. Sulamada su kalitesi ve tuzluluk sorunları. Kültürteknîğe Giriş, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayını No. 996, 96-110.
- Gökten, E., 1993. Ulaş (Sivas) doğusunda Sivas havzası güney kenarının jeolojisi: İç Toros Okyanusu' nun kapanmasıyla ilgili tektonik gelişim. TPJD Bülteni, 5(1), 35-55.
- Gürsoy, H., 1986. Örenlice-Eskiköy (Sivas) yöresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas (yayımlanmamış).
- İnan, N., 1987. Tecer Dağının (Sivas) jeolojik özellikleri ve foraminiferlerinin sistematik incelemesi. Doktora Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas (yayımlanmamış).
- İnan, S., Öztürk, A. ve Gürsoy, H., 1993. Ulaş-Sincan (Sivas) yöresinin stratigrafisi. TÜBİTAK Doğa Dergisi, 2, 1-15.
- Kaçaroğlu, F. ve Değirmenci, M., 2001. Sivas-Ulaş Beşgözeler kaynağı debi ölçüm raporu. Cumhuriyet Üniversitesi Raporu, Sivas (yayımlanmamış).
- Kaçaroğlu, F., Söylem, B. ve Polat, S., 2004. Tecer Dağı Taş Ocaklarının Beşgözeler kaynağı suyuna etkileri hakkında rapor. Cumhuriyet Üniversitesi -DSİ-MTA Raporu, Sivas (yayımlanmamış).
- Kaçaroğlu, F. ve Değirmenci, M., Sül, Ö.L., Yücel, A. ve Başeski, H., 2005a. Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsüne su sağlama alternatifleri. Cumhuriyet Üniversitesi Raporu, Sivas (yayımlanmamış).
- Kaçaroğlu, F., Değirmenci, M., Eleroğlu, H., Gürleyük, Ö., Yücel, A., Başeski, H., Gökcalp, K. ve Öksüz, H., 2005b. Cumhuriyet Üniversitesi Kampüsüne Tecer Dağı Beşgözeler kaynağından (Sivas-Ulaş) su sağlama olanaklarının incelemesi. Cumhuriyet Üniversitesi Raporu, Sivas (yayımlanmamış).
- Langmuir, D., 1997. Aqueous Environmental Geochemistry. Prentice-Hall Publication, USA.
- Milanovic, P.T., 1981. Karst Hydrogeology. Water Resources Publication. Littleton Colorado, USA.
- Piper, A.M., 1944. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. American Geophysical Union Transactions, 25, 914-923.
- Trusdell, A.H., and Jones, B.F., 1974. WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibria of natural waters. U.S. Geological Survey Journal, 2, 233-248.
- TS266, 2005. İçme suları. Türk Standartları Enstitüsü, TS 266, Ankara.