

YEŞİLYURT-ÇELİKHAN (MALATYA-ADİYAMAN) DOLAYININ HİDROJEOLJİK İNCELEMESİ

Hydrogeologic Investigation of Yeşilyurt-Çelikhan (Malatya-Adıyaman) Surrounding, SW Anatolia, Turkey

MEHMET ÖNAL
ALİ ŞAHİNCİ
ALİ M. GÖZÜBOL

D.E.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir
D.E.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir
İ.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul

ÖZ: Bölgedeki stratigrafi istifi Permo-Karbonifer yaşlı Pötürge Metamorfileri, Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Permo-Karbonifer yaşlı Malatya Metamorfileri, Kretase yaşlı Gündüzbey Grubu, Eosen yaşlı Yeşilyurt Grubu, Gedik Formasyonu ve Miyosen yaşlı Kilayik ve Beylerderesi Formasyonlarından yapıldır.

Bölgedeki kaynakların oluşumu karstlaşma, karst-fay, geçirimli ve geçirimsiz litoloji dokanıkları ve fayların denetimindedir. Pınarbaşı kaynağı 300 l/sn, Horata kaynağı 90 l/sn. ve İnekinarı kaynağı 0-30 l/sn. arasında değişir. Küçük ölçekli kaynakların debileri 0,52-0,2 l/sn arasındadır.

Bu kaynakların kimyasal tahlilleri incelendiğinde anyonlar $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ katyonlar $r(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$ şeklindedir. Bu sular Piper'e göre "Alkali toprak elementler ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) > Alkali elementler ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$)" ve "karbonat sertliği %50'den fazla olan sular, Scholler sınıflamasında "Olağan klorürlü, sülfatlı ve olağan karbonatlı sular"; Şahinci'ye göre ise A-Iab(ba), A₁C-Iab(ba), AC-IIab(ba) ve C₂A-IIab(ab) sınıfındadır. Sar sınıflamasında kaynak suları "çok iyi özellikte sulama suları", ABD tuzluluk diagramında "C₂S₁"; Wilcox diyagramında ise "çok iyi - iyi" sulama sularıdır. Türk standartları ve Schoeller sınıflamasına göre, bu sular "orta" ve "iyi" kaliteli sular sınıfına girer.

ABSTRACT: Stratigraphic squence of the area consist of the Pötürge Metamorphic in Permo-Carbonifer, Maden Complex in Eocene, Malatya Metamorphics in Permo-Carbonifer, Gündüzbey group in Cretaceous, Yeşilyurt group, Gedik formations in Eocene, Kilayik and Beylerderesi formations in Miocene.

The occurrence of the springs in the study area are effected by karstification, karst-fault, boundairs of the permable and impermeable rock units and faults. Pınarbaşı spring 300 l/s, Horata spring 90 l/s and İnekinarı spring 0-30 l/s are. The small springs are changed between 0,52-0,2 l/s.

The general chemical classifications of these springs are as the following: anions $r\text{HCO}_3^- > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$ and cations $r(\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$. According to Piper these waters are "Alcalie earth ($\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$) > exveed alcalie elements ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) and "carbsonate hardnees exceedds than %50"; according to in Schoeller classification are "normal chlorine, sulphate and carbonate waters"; according to Şahinci these waters are also A-Iab(ba), A₁C-Iab(ba), AC-IIab(ba) and C₂A-IIab(ab). According to Sar classification the pring waters are "excellent for irrigation", C₂S₁ according to USA. laboratory salinity diagram is; although in Wilcox diagram are "excellent to

GİRİŞ

Bu çalışma, "Çat barajı isale tünelinin mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği incelenmesi ile Malatya-Çelikhan alanının jeolojisi" adlı Tübitak projesinin hidrojeolojik kısmını kapsar.

Çalışma Yeşilyurt-Çelikhan arasında 600 km²'lik bir alanda yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, bölgenin hidrojeolojik açıdan değerlendirilmesi ile su kaynaklarının kullanılabilirlik ve içilebilirlik özelliklerinin çıkarılmasını ortaya koymaktadır. Bölge daha çok genel jeolojik amaçlı olarak çalışılmıştır (Perinçek, 1978, DSİ, 1977). Ancak, bölgenin hidrojeolojisi detaylı olarak or-

taya konmamış ve su kimyası hiç yapılmamıştır.

Büyük ve küçük debili kaynaklardan ayrı ayrı 1 litrelik su örnekleri alınmış ve bu örneklerin kimyasal tahlilleri Malatya Topraksu'da yapılmıştır. Su tahlillerinin değerlendirilmesi Piper, Schoeller, Şahinci, Sar, ABD, Wilcox, TSE ve Schoeller'e göre yapılmıştır.

STRATİGRAFI

İnceleme alanında Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı kaya birimlerinin tutul istifi içindeki yeri Şekil 1 ve 2'de basitleştirilmiş jeoloji haritasındaki yayılımı Şekil 3'de gösterilmiştir.

Yas (Age)	Grup (Group)	Formasyon (Formation)	Kalınlık (m) (Thickness (m))	Litoloji Kesiti (Columnar Section)	Açıklamalar (Explanations)	Hidrojeolojik özellikleri (Hydrogeological features)
Permo-Karbonifer (Permo-Carboniferous)	Malatya Metamorfittleri (Malatya Metamorphites)	Kalecik kct. (Kalecik lms)	~700		Bitümlü kireçtaşı, dolomitik ve karstik kireçtaşı (Bituminous limestone dolomitic and karstic limestone)	Akifer (Aquifer) Tabanda su taşır (It carries water on the floor)
		Düzağac (Düzağac)	~1500		Kireçtaşı, dolomit ve kalsiyat arakatlı şist (Intercalated limestone, dolomite and calc schist)	Akifer (Aquifer) Arakatlılar su taşır (Intercalated carry water)
		Koçluk kct. (Koçluk lms)	200		Rekristalize kireçtaşı (Recrystallized limestone)	Tabanda su taşır (It carries water on the floor)
		Pınarbaşı (Pınarbaşı)	~750		Demir (Iron) Metakuvarisit arakatlı şist (Intercalated metaquartzite schist)	Engel kaya (Impermeable rock)
Tersiyer-Terti (Eosen-Eocene)	Maden Karm. (Maden Comp)	Çelikhhan (Çelikhhan)	~350		Kumtaşı, kireçtaşı, bazalt, andezit, spilit ve şeyl (Sandstone, limestone, basalt, andesite, spilit and shale)	Engel kaya (Impermeable rock)
		Enak (Enak)	~150		Çertli kireçtaşı (Cherty limestone)	Akifer (Aquifer)
Permo-Karbi (Permo-Carbo)	Pötürge Metamorfittleri (Pötürge Metamorphites)	Pınarbaşı (Pınarbaşı)	~700		Kuvarisit, mermer, mercerleri ve çeşitli şistler (Quartzite, marble, lenses and various schists)	Engel kaya (Impermeable rock)

Şekil 1. Allaktın kaya birimlerinin genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Gözübol ve Önal, 1986'dan)

Figure 1: Generalized stratigraphic section of allochthon rock units (from Gözübol and Önal, 1986)

Pötürge Metamorfittleri

Genellikle mikaşistlerden oluşan birim, Pötürge dolaylarında tipik görüntülerinin bulunması nedeniyle Perinçek (1978) tarafından adlandırılmıştır. Çalışma alanının güneyde KD-GB gidişli bir yayılım gösterir. Birim yaklaşık 700 m. kalınlıktadır.

Genellikle sarı ve kahverengi, şist ve metakuvarisit bileşenlidir. Şistler iyi yapraklanmalı ve ayrışmalıdır. Metakuvarisitler yerel şistoziteye uyumlu 5-500 cm. kalınlıkta ve mercerseldir. Ayrıca yerel olarak da mermerler bulunmaktadır. Değişik düzeylerde metamorfize andezitik ve dasitik türden kayalarda yer almaktadır. Birim genel olarak muskovit, biyotit, serisit, klorit, albit ve piroksen şistlerden oluşmuştur.

Birimin alt dokanağı görülmemektedir. Üst dokanağı Maden Karmaşığı ile diskordanslıdır. Birim, olasılıkla Permo-Karbonifer yaşındadır.

Birim fliş tipi tortulların yeşil şist fasiyesinde metamorfizmasıyla oluşmuştur. Hidrojeolojik bakımdan engel kaya niteliğindedir. Çalışma alanının yakın doğusundaki maden suları bu birim içinden çıkmaktadır.

Maden Karmaşığı

Çeşitli renklerde kireçtaşı, kumtaşı, çakıltı, kilt, andezit, diyabaz ve spilit türü litolojilerden oluşan

birim, Maden dolayında tipik görülmesi nedeniyle Perinçek (1978) tarafından adlandırılmıştır. Çalışma alanının güneyinde KD-GB gidişli bir yayılım gösterir. Birim yaklaşık 350 m. kalınlıktadır.

Çeşitli renklerde genellikle ince-kalın katmanlı, kaba kırıntılı (çakıltı-kumtaşı) ve ince kırıntılı (kilt) ardalanmasından oluşur. Yerel olarak kireçtaşı, kuvarisit, diyabaz ve spilitlerde değişik düzeylerde bulunmaktadır. Hafif metamorfizma nedeniyle az belirli yapraklanma görülmektedir.

Alt dokanağı Pötürge Metamorfittleri üzerinde açılı uyumsuzdur. Üst dokanağı ise Malatya Metamorfittleri ile bindirilmelidir. Olasılıkla Alt Eosen yaşında (Gözübol ve Önal, 1986) olan birim, çeşitli araştırmacılara göre Alt Eosen'deki Okyanus açılmasına bağlı olarak gelişmiş (Arpat ve Sungurlu, 1975) veya kıta içi çanakta oluşmuştur (Perinçek-Özkaya, 1978). Hidrojeolojik bakımdan engel kaya niteliği taşır.

Çelikhhan Formasyonu: Çört bantlı kireç taşından oluşan birim, Çelikhhan dolaylarında tipik görüntülerinin olması nedeniyle Perinçek (1978) tarafından adlandırılmıştır. Çalışma alanının güneyinde yerel mostralar şeklinde bulunmaktadır. Birim yaklaşık 150 m. kalınlıktadır.

Yas (Age)	Grup (Group)	Formasyon (Formation)	Kalınlık (m) (Thickness (m))	Litoloji kesiti (Columnar section)	Açıklamalar (Explanations)	Hidrojeolojik özellikleri (Hydrogeological features)	
Tersiyer - Tertiary	Eosen - Eocene	Orta Eosen - Middle Eocene	Yesilyurt		Beylerderesi	Çakıl, Kum, Kil (P.S.C.) Çapraz kat, çakıltı (Cross bedded con.)	Önemli (Important) Tabanda su taşır (It carries water on the floor)
					Gedik	Çakıltı, kumtaşı ve marn (Cong. sand, and marlstone)	Yerel önemli (Local, important)
					Malkyay	Kireçtaşı (Limestone)	Karstik kireçtaşı (Karstic limes) Tabanda su taşır (It carries water on the floor) Akifer (Aquifer)
					Pınarbaşı	Mürn (Murlstone)	Engel kaya (Impermeable rock)
					Resital Ki. (Resital Li.)	Önemli (Important)	
					Kumtaşı, çakıltı ve şeyl (Sandstone, conglomerate and shale)	Yerel önemli (Local important) Engel kaya (Impermeable rock)	
					Yıldız Kct. ("Lim.)	Resital kireçtaşı (Resital Limestone)	Önemli (Important) Akifer (Aquifer)
					Zarban Çkt. ("Cong.)	Taban çakıltı (Basal conglomerate)	Önemli (Important)
					Bazalt (Basalt)		
					Kretase - Cretaceous	Üst Kretase - Upper Cretaceous	Gündüzbey
İnekinarı Kct. (İnekinarı)	Resital kireçtaşı (Resital limestone)	Önemli (Important) Akifer (Aquifer)					
Kızılgözü Kct. (Kızılgözü)	Camurtaşı, kumtaşı ve çakıltı (Mudstone, sandstone and conglomerate)	Tabanda su taşır (It carries water on the floor)					
Malatya Metamorfik (Malatya metamorphic)	Kireçtaşı ve çeşitli şistler (Limestone and various schists)	Önemli (Important) Akifer (Aquifer)					

Şekil 2. Parallokton ve otokton kaya birimlerinin genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Gözübol ve Önal 1986'dan)

Figure 2. Generalized stratigraphic section of parallochthon and autochthon rocks units (from Gözübol and Önal, 1986)

Kireçtaşı sarı, ince-kalın düzgün katmanlı, düzlemsel laminalı ve yapraklanmalıdır. Tabakalanmaya paralel çört bantlı, mikro fosilli ve aşırı kırıklı ve çatlaklıdır.

Birim genellikle Maden Karmaşığının alt düzeylerinde uyumlu olarak bulunur. Alt Eosen yaşında (Gözübol ve Önal, 1986) olan birim; litoloji, doku ve fosil kapsa-

mına göre karbonat şelfi ortamında çökelmiştir. hidrojeolojik bakımdan düşük akifer niteliği taşır.

Malatya Metamorfileri

Şist, fillat, rekristalize kireçtaşı, kalkışt ve dolomitden yapılmış olan birim, Malatya güneyinde tipik görünümlerinin olması nedeniyle Perinçek (1978) tarafından adlandırılmıştır. Daha sonra Gözübol ve Önal (1986) dört formasyona ayırarak incelemiştir:

Pınarbaşı Formasyonu: Metakuvarsit arakatlı ve sedimanter demir yüzeyle çeşitli şistlerden yapılmıştır. Çalışma alanının güneyinde KD-GB gidişli bir yayılım gösterir. Yaklaşık 750 m. kalınlıktadır.

Malatya Metamorfileri Maden Karmaşığı üzerinde tektonik dokanaklıdır. Üste ise Gündüzbey Formasyonu açılı uyumsuz olarak örter.

Saptanan fosillere göre Permo-Karbonifer yaşındadır (Gözübol ve Önal, 1986).

Malatya Metamorfileri kuzeyden geldiği tahmin edilen allokton bir kütle konumundadır. Genellikle birimi oluşturan litolojiler orta ve düşük metamorfizma geçirmişlerdir. Formasyon kendi içinde aşırı ekaylıdır. Hidrojeolojik olarak engel kaya niteliği taşır.

Koltik Kireçtaşı: Koyu gri renkli, ince-kalın düzgün katmanlı ve rekristalize kireçtaşından yapılmıştır. Bol çatlaklı kırıklı ve bitüm kokuludur. Akifer niteliği taşır.

Düzağaç Formasyonu: Kireçtaşı ve dolomit arakatlı, fillit ve şistlerden yapılmış olup bol çatlaklı ve kırıklıdır. Çok belirgin tabakalanmaya paralel yapraklanma gösterir. Kireçtaşı ve dolomit arakatlıları dolin, düden ve uvala gibi karstik yapılar içerir ve bol su taşırlar. Şist ve fillatlar engel kaya niteliğindedir.

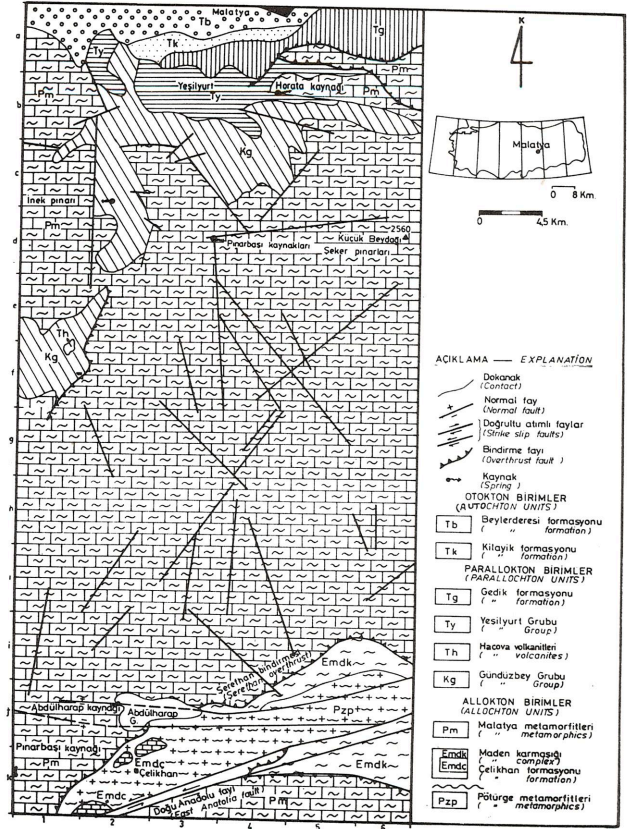
Kalecik Kireçtaşı: Genel olarak dolomitik ve bitümlü kireçtaşından yapılmıştır. Orta masif katmanlı, aşırı kalın ve bol karstik yapılmıştır. Bölgede en fazla su kapsayan birimdir. İyi bir akifer niteliği taşır.

Gündüzbey Grubu

Grup adını, tipik görünümlerinin bulunduğu Gündüzbey nahiyesinden almıştır. Malatya metamorfileri üzerinde açılı uyumsuzdur. Üsteki Yeşilyurt grubunu ise açılı uyumsuz olarak örter.

Birim, resifal ve pelajik kireçtaşlarında saptanan fosillere göre Üst Kretase yaşındadır (Gözübol ve Önal, 1986). Farklı litolojilerinden oluşan üç formasyona ayrılarak incelenmiştir. Formasyonlar kendi içinde yanal ve düşey geçişler gösterirler.

Kızılgüney Çakıtaşı Formasyonu: Genellikle okside kırmızı renkli, çakıtaşı ve yersel kumtaşı ile çamurtaşından yapılmıştır. Paleosen yaşlı Haçova Volkanitleri birimi keser. Adını Yukarı Haçova köyünün batısındaki Kızılgüney Tepe'den almıştır. Üstleyen Üst Kretase yaşlı birimlerinin taban çakıtaşını oluşturur.



Şekil 3. Çalışma alanının basitleştirilmiş jeolojik haritası (Gözübol ve Önal, 1986'dan)

Figure 3. Simplified geologic map of the study area (from Gözübol and Önal, 1986)

İnekpınarı Kireçtaşı: Birim rudist, alg, mercan ve mikrofosilli olan resifal nitelikli kireçtaşı, yersel görünümüne sahiptir. Adını İnekpınarı'ndan almıştır. Karstik niteliktedir.

Kapullu Kireçtaşı: Çakıtaşı, kumtaşı ve şeyl arakatlı pelajik kireçtaşından oluşan birim, Yeşilyurt, Gündüzbey ve Yukarı Banazı dolaylarında geniş bir yayılım gösterir. Adını Kapullu mevkiinden almıştır. Engel kaya niteliğindedir.

Yeşilyurt Grubu

Grup adını, tipik görünümlerinin bulunduğu Yeşilyurt ilçesinden almıştır. Altındaki Gündüzbey Grubunu açılı uyumsuz olarak örter. Üstteki Gedik formasyonu ile kısa dereceli geçişlidir. Saptanan fosillere göre Üst Eosen yaşındadır (Gözübol ve Önal, 1986). Grup değişik litolojilerden oluşan beş formasyona ayrılarak incelenmiştir. Formasyonlar kendi içinde yanal ve düşey geçişler gösterir.

Zorbon Çakıtaşı: Genellikle okside kırmızı ve kahverengi, orta ve peklemiş ve orta boylanmış polijenik çakıtaşından oluşan birim, adını Zorbon mevkiinden almıştır. Eosen yaşlı birimlerin taban çakıtaşını oluşturur. Akifer niteliğindedir.

No	KAYNAK (SPRING)	Kordinatı (Coordinate)	pH	Elektirik Geçirgenlik ECx10 ⁶	KATYON Me/LITRE (" Liter)			TOPLAM (Total)	ANYON Me/LITRE (" Liter)				TOPLAM (Total)	YAKLAŞIK DEBİ l/s (App. yield)
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺ Mg ⁺⁺		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ⁻		
1	Rafa	A6	7.30	320	0.06	0.02	58.0	588	0.72	1.72	1.80	—	4.24	0.33
2	Şekerpınarı	D6	7.10	330	0.06	0.02	6.00	6.08	—	3.20	2.00	—	5.20	0.50
3	Kadımağarası	D5	7.90	190	0.06	0.02	3.62	3.70	—	2.80	1.80	—	4.60	0.52
4	Malkuyu	A4	7.00	300	0.13	0.02	52.0	53.5	0.56	3.44	1.80	—	5.80	0.50
5	Pınarbası.1	D3	7.90	240	0.06	0.02	4.80	4.88	0.60	2.80	1.60	—	5.00	3.00
6	Çanakpınarı	C4	7.85	310	0.13	0.02	5.56	5.71	—	3.80	2.00	—	5.80	0.50
7	Çakırahmet	B4	7.25	445	0.13	0.02	8.32	8.47	—	2.20	2.00	—	4.20	0.12
8	Hacıçavus	B4	7.40	490	0.13	0.02	8.96	9.11	0.80	2.80	2.00	—	5.60	0.14
9	Delihasan	B4	7.25	550	0.20	0.02	9.20	9.42	0.80	3.20	1.80	—	5.80	0.20
10	Kızılcagüney	C4	7.90	495	0.17	0.04	8.72	8.93	1.20	1.80	1.80	—	4.80	0.04
11	Gündüzbey.1	B4	7.30	600	0.13	0.02	10.00	10.15	1.60	2.40	2.00	—	6.00	0.16
12	Ayiölen dere	C4	7.70	850	0.40	0.04	16.96	17.40	1.20	2.00	2.00	—	4.40	0.16
13	Gündüzbey.2	B3	7.20	750	0.80	0.02	8.20	9.02	1.60	1.60	4.00	—	7.40	0.12
14	Y. Banazı.1	B4	6.70	470	0.17	0.10	8.80	9.07	0.40	2.40	2.00	—	6.00	0.05
15	Kadımağarası	C5	7.50	455	0.06	0.02	7.72	7.80	1.80	0.10	2.00	—	2.90	0.2
16	Y. Banazı.2	B4	7.60	500	0.25	0.07	7.68	8.00	1.60	1.40	2.20	—	5.20	0.12
17	Gündüzbey.3	B3	6.95	700	0.15	0.02	11.44	12.01	0.80	3.00	2.00	—	5.80	0.10
18	Hacıali	B4	7.20	485	0.06	0.02	9.60	9.68	1.20	1.20	1.80	—	4.20	0.06
19	Kurttepe	C4	7.40	325	0.15	0.02	8.00	8.17	0.80	2.00	1.80	—	4.60	0.25
20	Karagöz	E5	7.30	350	0.15	0.02	6.80	6.97	1.20	0.20	2.00	—	3.00	0.08
21	Söğütçedere	E5	7.40	550	0.20	0.02	10.56	10.78	0.80	2.00	2.00	—	5.20	0.20
22	Gündüzbey.4	B3	7.00	710	0.17	0.05	13.60	13.82	0.80	1.80	2.20	—	4.80	0.25
23	Horata	B4	7.60	360	0.20	0.02	4.00	4.60	1.20	4.60	1.00	—	5.60	9.00
24	Yapraklı	B4	7.50	370	0.40	0.02	4.20	4.62	0.80	4.40	1.00	—	5.40	0.5

Çizelge 1. Karstik suların kimyasal tahlilleri ve yaklaşık debileri
Table 1. Chemical analysis and approximate wateryield of carstic spring waters

Malatya ovası yeraltı su tablası haritasına göre, yeraltı suyunun akım yönü, genellikle güneyden kuzeye doğrudur (Şekil 4). Malatya ovasında hidrolik iletkenlik katsayısı 100-400 m³/gün/m arasında olduğu tahmin edilmektedir (DSİ, 1977). Akiferde özgül verim genellikle 1 l/s/m'dir. Bölgenin emniyetli yeraltı suyu rezervi 32x10⁶ m³/yıl'dır.

Su Kimyası

Bu bölümde, Topraksu tarafından tahlilleri yapılan karstik kaynakların genel kimyasal tahlilleri, sulama, endüstri, içme ve kullanma özellikleri incelenmiştir.

Suların kimyasal tahlilleri Çizelge 1'de; harita üzerinde numaralanmış konumları, koordinat sistemine göre Şekil 3'te verilmiştir.

Kaynak sularının genel kimyasal özellikleri ve sınıflandırmaları: Kaynak sularının anyon ve katyonlarının büyüklük sırası şöyledir (r=mek/l):

$$r (Ca^{++} + Mg^{++}) > r Na^{+} > r K^{+}$$

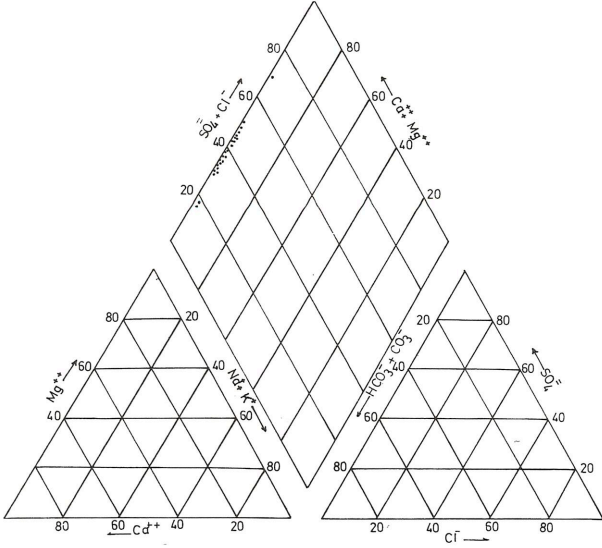
$$r (HCO_3^{-} + CO_3^{--}) > r Cl^{-}$$

Suların kimyasal tahlillerinde, sülfat iyonunun bulunmayışı dikkat çeker. Muhtemelen sülfat bakterileri tarafından indirgenmiştir. Kaynak sularının pH'ı, 7.1 - 7.95; elektriksel iletkenliği 25°C'de 190-850 mikromho/cm arasındadır (Çizelge 1).

Piper sınıflamasına göre, karstik sularda alkali toprak elementler (Ca⁺⁺ + Mg⁺⁺), alkali elementlerden (Na⁺ + K⁺) fazladır. Suların çoğunluğunda, zayıf asit kökleri (CO₃⁻ + HCO₃⁻), güçlü asit köklerine (SO₄⁻ + Cl⁻) göre üstündür. Suların karbonat zenginliği % 50'den fazladır (Şekil 5).

Şahinci'ye göre kaynak suları A-Iab(ba), A₁C-Iab(ba), AC-IIab(ba), C₂A-IIab(ba) sınıflamasında toplanır (Şekil 5). Sınıflamadaki simgeler A; karbonat oranı çok yüksek; A₁C karbonat oranı yüksek; AC; karbonatlı-klorürlü; C₂A klorür oranı yüksek karbonatlı; I ab(ba) ve

II ab(ba) kalsiyumlu, magnezyumlu (veya magnezyumlu-kalsiyumlu) suları tanımlar.



Şekil 5. Piper diyagramı
Figure 5. Pipers diagram

Schoeler'e göre bu sular "olağan klorürlü-bikarbonatlı sular" sınıfına girer. Kaynak sularında çözünmüş toplam iyon miktarı 1000 mg/l'den az olması nedeniyle "tatlı sular" sınıfında yer alır.

İyon baz değişimi, yeraltı sularında K/Na, Na/Ca, Na/Mg ve Mg/Ca oranlarını tümüyle değiştirebilirler. Baz değişimi endeksi (i.e.b) şu bağıntılarla tanımlanır:

$$\text{i.e.b.} = r \frac{\text{Al} - (\text{Na} + \text{K})}{\text{Cl}}$$

ve

$$\text{i.e.b.} = r \frac{\text{Cl} - (\text{Na} + \text{K})}{\text{SO}_4 + \text{HCO}_3 + \text{NO}_3}$$

Kaynak sularında baz değişim endeksleri artıdır. Başka bir deyimle, iyon değişimi ile sulara sodyum iyonu geçişi izlenmez.

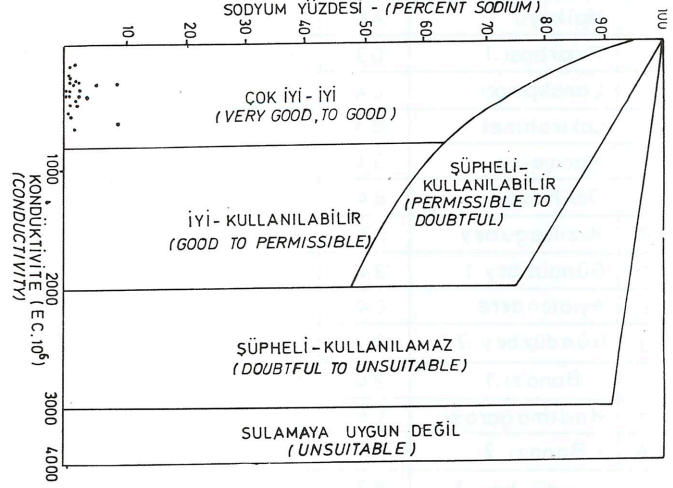
Kaynak sularının tarımda kullanma özellikleri: Sulama suyunda sodyum önemli bir yer tutar. Toprağın yapısını bozarak, geçirgenliğini azaltır ve sulamadan sonra, soğurulan sodyum, toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuk oluşturur. Bu kabuk bitki köklerinin havalanmasını engeller; ayrıca sodyum bitkiler için zehirli bir ortam yaratır. Sudaki sodyum miktarı, yüzde olarak şöyle bulunur.

$$\% \text{ Na} = 100 (\text{Na} + \text{K}) / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na})$$

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg}) / 2]^{1/2}$$

Bağıntılarda iyonik mek/l alınır. SAR (Sodium Adsorption Ratio), sodyumun soğurma oranıdır. % Na, SAR,

r Cl, R SO4 sınıflamasına göre kaynak suları "Çok iyi özellikte sulama suları" sınıfına girer. Ancak, elektriksel iletkenlik yönünden, bu suların bazıları "iyi ve kullanılabilir özellikte sulama suları" sınıfına girer (Çizelge 1). Kaynak sularında klorür 5 mek/l'den az olması nedeniyle tüm bitkilerin sulanmasında tehlike yaratmaz.



Şekil 6. Wilcox diyagramı
Figure 6. Wilcox diagram

% Na ve elektriksel iletkenlik (EC) özelliklerine göre hazırlanan Wilcox diyagramında kaynak suları, sulama için "çok iyi - iyi" özellik taşıyor (Şekil 6).

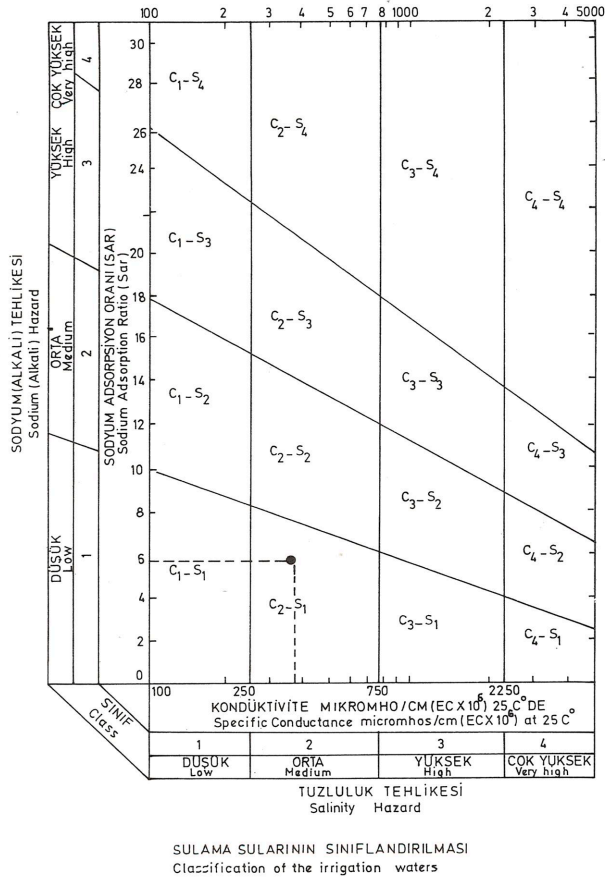
ABD tuzluluk diyagramında göre ise bu sular (Kadımağarası ve Pınarbaşı) C₁S₁ (az tuzlu - az sodyumlu), büyük bir kısmı C₂S₁ (orta tuzlu - az sodyumlu) ve Ayıölendere kaynağı suları C₃S₁ (tuzlu - az sodyumlu) sınıfındadır (Şekil 7).

Suların endüstride kullanma özellikleri: Kimyasal yönden, suların endüstride yararlanılma özellikleri çok farklıdır. Buhar kazanlarında kullanılan sular üç önemli etken, kazan cidarında kabuklaşma (kazan taşı), çürütme ve köpürme özellikleridir. Kaynak sularının çürütme ve köpürme özellikleri Şekil 8'de izlenmektedir. Suların çürütme özelliğini saptamak için suda çözünmüş toplam CO₂ miktarının bilinmesi gerekir. Sudaki toplam CO₂ miktarı Şekil 9 yardımıyla bulunur. Burada, suyun toplam alkalitesi mek/l ile pH'nın bilinmesi gerekir. Kaynak sularının bir kısmı çürüttücü özelliğe sahiptir (Şekil 8).

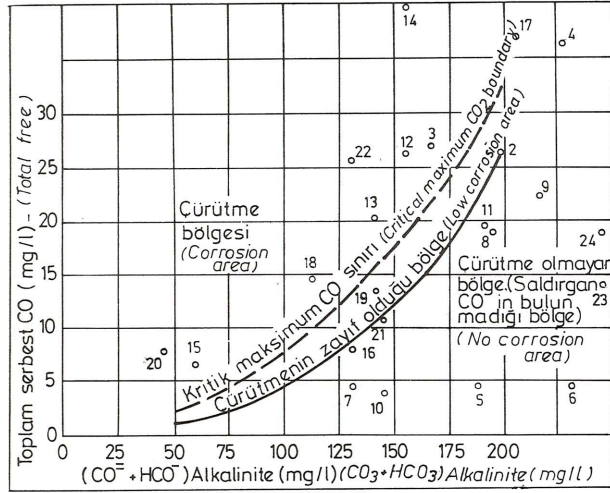
Suların kaynarken köpürmesine neden, su yüzeyinde sodyum ve potasyum tuzlarınca zengin bir zar tabakasının oluşmasıdır. Suyun kaynarken köpürmesi (F) şu bağıntı ile bulunur:

$$F = 62 r \text{ Na} + 78 r \text{ K} \quad (r = \text{mek/l})$$

Bu bağıntıya göre kaynak suları "kaynarken köpürmeyen sular" sınıfına girer. Ancak, kaynak sularının buhar kazanlarında kullanılmasında kabuklaşma, çürütme ve sertlik gibi özellikler dikkate alınmalıdır.



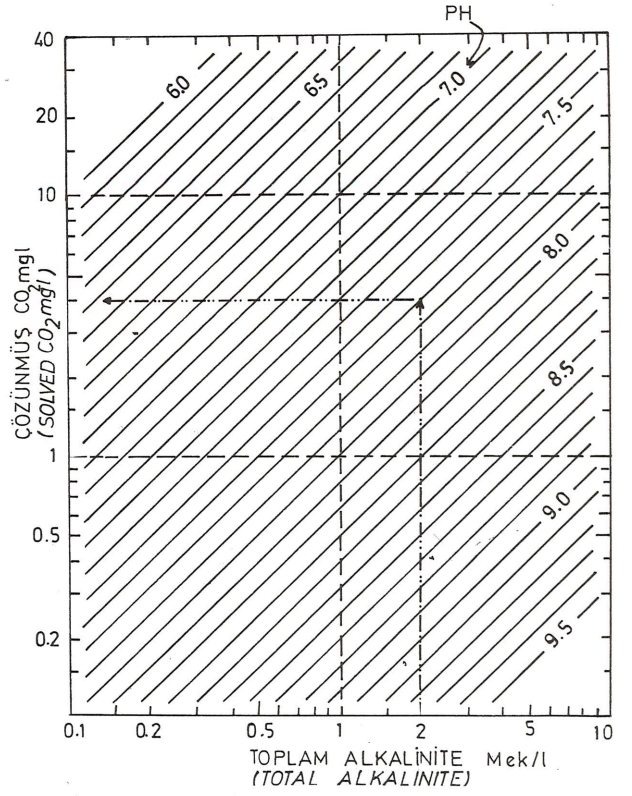
Şekil 7. A.B.D. tuzluluk diyagramı
Figure 7. U.S.A. salinity diagram



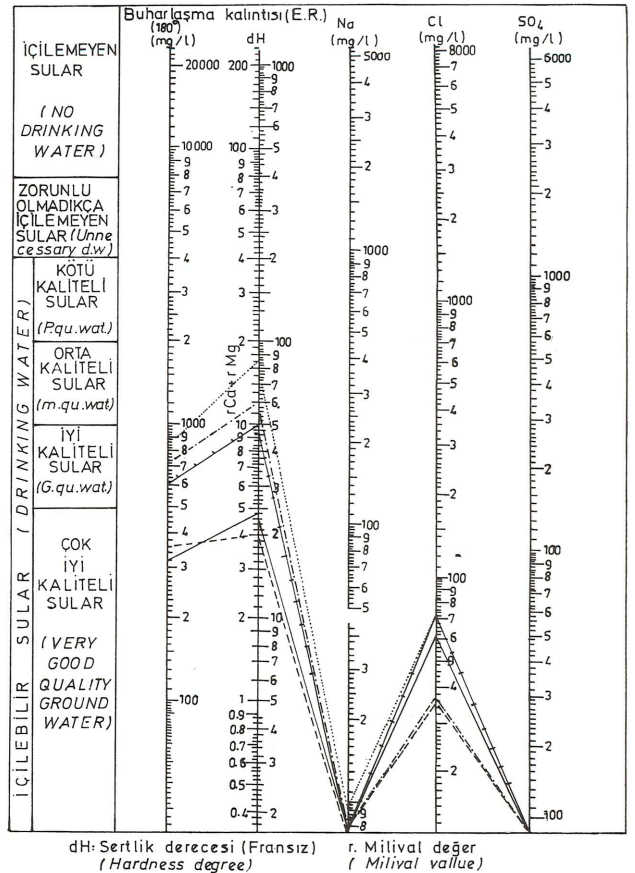
Şekil 8. Suların çürütme özelliklerini gösteren diyagram
Figure 8. Diagram showing corrosion features of waters

Suların içme ve kullanma özellikleri: İçme ve kullanma sularında hiçbir zehirleyici element veya bileşik bulunmamalıdır. İçme suyunda klorür 750 mg/l'yi, toplam iyon miktarı 7,5 mek/l'yi geçmemelidir. Ancak, zorunlu hallerde toplam iyon miktarı 15 mek/l'ye erişen sular içilebilir.

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ - EKİM 1986



Şekil 9. Sularda çözülmüş toplam CO₂ miktarını veren diyagram
Figure 9. Diagram giving total CO₂ amount saved in the waters



Şekil 10. Schoeller'e göre suların içilebilirlik diyagramı
Figure 10. Diagram to the drink of the waters according to Schoeller.

Sular, Schoeller içilebilirlik diyagramında, genellikle iyi ve orta kalitededir (Şekil 10). Suların sertliği içme ve kullanmada önemli bir yer tutar. Basit şekilde, kalsiyum ve magnezyum iyon (mek/l) toplam değerlerinin beş ile çarpımı, suyun sertliğini (Fransız) verir. Kaynak suları az sert (2,3, 23, 24), oldukça sert (1, 4, 5, 6), sert (7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21) ve çok sert (12, 17, 22) özelliktedir (Çizelge 1).

SONUÇ ve TARTIŞMALAR

1- Bölgede litolojileri farklı Permo-Karbonifer, Üst Ketase, Eosen ve Neojen yaşlı kaya birimleri bulunmaktadır.

2- Kaynak sularının hazne kayaları Malatya Metamorfitlerinin karstik kireçtaşları, İnekpınarı kireçtaşı, Yıldız kireçtaşı ve Gedik formasyonudur. Bunların yüzeye çıkışları, geçirimsiz litoloji dokanakları ile faylara bağlıdır.

3- Yeraltı suyu akım yönü, Malatya ovasında güneyden kuzeye Çelikhhan dolaylarında ise kuzeyden güneyedir.

4- Kaynak suları anyon ve katyon büyüklük sırası şöyledir: $r(\text{HCO}_3^-) > r\text{Cl}^- > r\text{SO}_4^{2-}$; $r(\text{Ca}^{++} - \text{Mg}^{++}) > r\text{Na}^+ > r\text{K}^+$.

5- Schoeller sınıflamasına göre bu sular "Olağan klorürlü - bikarbonatlı sular" sınıfına girer. Kaynak sularında çözülmüş toplam iyon miktarı 1000 Mg/l'den az olması nedeniyle "tatlı sular" sınıfında yer alır.

6- Sar sınıflamasına göre, elektriksel iletkenlik yönünden, bu suların bazıları "iyi ve kullanılabilir özellikte sulama suları" sınıfına girer.

7- Kaynak sularında klorür 5 Mek/l'den az olması nedeniyle tüm bitkilerin sulanmasında tehlike yaratmaz.

8- Wilcox diyagramında kaynak suları, sulama için "çok iyi - iyi" özellik taşır.

9- A.B.D. tuzluluk diyagramına göre ise bu sular

(Kadımağarası ve Pınarbaşı Kaynakları) C_1S_2 (az tuzlu, az sodyumlu), büyük bir kısmı C_2S_1 (orta tuzlu - az sodyumlu) ve Ayıötlendere kaynağı suları C_3S_1 (tuzlu, az sodyumlu) sınıfındadır.

10- Suların kaynarken köpürmesine neden, su yüzeyindeki sodyum ve potasyum tuzlarınca zengin bir zar tabakasının oluşmasıdır. İncelenen kaynak sularında sodyum ve potasyum tuzlarınca fakir olması nedeniyle "kaynarken köpürmeyen sular" sınıfına girer ve bazı endüstri dallarında kullanılabilir.

11- İçme suyunda klorür 750 Mg/l'yi toplam iyon miktarı 7.5 Mg/l'yi geçmemelidir. Bölgedeki kaynak sularının klorür ve toplam iyon miktarı bu değerlerin altında olması nedeniyle içme ve kullanmaya uygundur.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmayı destekleyen Tübitak'a teşekkür ederiz. Ayrıca, arazi çalışmalarına ve su örneklerinin alınmasında yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Muharrem Akçer'e ve su analizlerini yapan Malatya Toprak Su Müdürlüğü'ne de teşekkür ederiz.

DEĞİNİLEN BELGELER

- A.B.D., SCHOELLER, SAR. T.S.E. WILCOX SINIFLAMALARI: in A.Şahinci, 1986, Yeraltı suları jeokimyası: D.E.Ü. Müh. Mim.Fak. Jeo.Müh.Bölümü, MM/JEO-86 EY.99, İzmir
- D.S.İ., 1977, Malatya Ovası'nın hidrojeolojik etüd raporu: D.S.İ. Yayınları, Malatya.
- PERİNÇEK, D., 1978, Çelikhhan-Sincik-Koçarlı (Adıyaman) alanının jeolojisi: İ.Ü.Fen Fakültesi Tat. Jeo. Kürsüsü, İstanbul.
- GÖZÜBOL, A.M., ÖNAL, M., 1986, Çat Barajı İsale tünelinin mühendislik jeolojisi ve kaya mekaniği incelenmesi ve Malatya-Çelikhhan alanının jeolojisi: TÜBİTAK, TBAG-647, Ankara