



Mersin-Tarsus Kıyı ve Yamaç Akiferlerinin Hidrojeokimyası

Hydrogeochemistry of Mersin-Tarsus Coastal and Hillside Aquifers

Zübeyde HATİPOĞLU

Mersin Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çiftlikköy, 33342
Mersin (e-posta: zubeyde@mersin.edu.tr)

Serdar BAYARI

Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Beytepe, 06532
Ankara (e-posta: serdar@hacettepe.edu.tr)

Öz

Mersin-Tarsus kıyı ve yamaç akiferlerinin Berdan Nehri ile Karakuz Dere arasında kalan kesiminde yüzey ve yeraltı suyu kalitesi 2001-2002-2003 yıllarında yapılan yerinde ölçüm ve analizler ile zaman ve konuma bağlı olarak incelenmiştir. İncelenen alanda yeraltı suyunun sıcaklığı 20-26 °C, pH'ı 6.4-8.6, elektriksel iletkenliği 385-6890 mikroS/cm arasında değişmektedir. Mevcut iki sıcak su kuyusunda sıcaklık 38-40°C, pH 7.32-7.59, özgül elektriksel iletkenlik 10900-12000 mikroS/cm arasında değişmektedir. Yeraltı suyu örneklerinin çoğunluğu Ca-HCO₃ fasiyesindedir. Ayrıca, MgHCO₃, NaHCO₃, NaCl, CaSO₄ ve NaSO₄ fasiyesinde sular da saptanmıştır. Yeraltı suyu örneklerinin nitrat içeriği incelenen pek çok noktada içmesuyu sınır değerini aşmaktadır. Sınırlı sayıda örnekte Fe, Cd derişiminin müsaade edilebilir değerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca az sayıda örneğin tuzlu su girişiminden etkilendiği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimya, Mersin, su kalitesi, yeraltı suyu

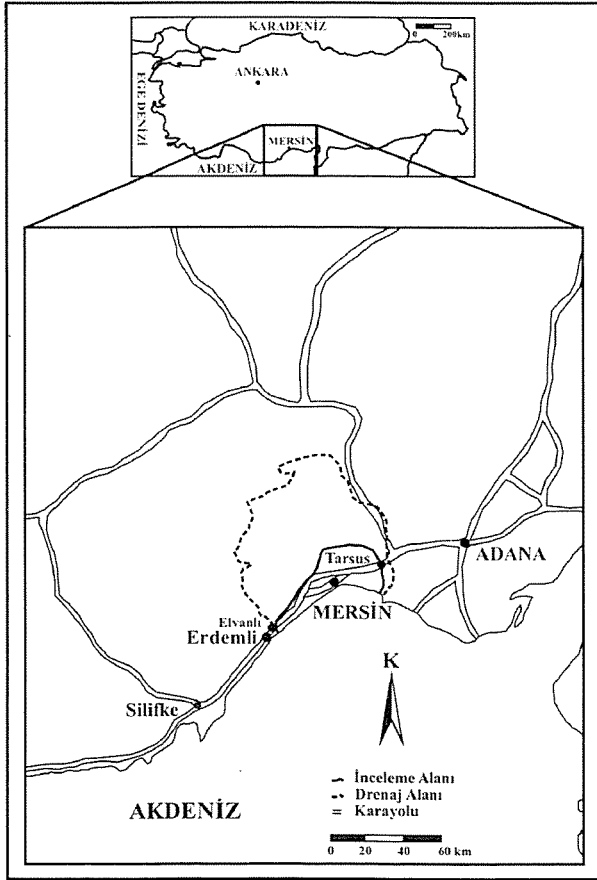
ABSTRACT

Surface and groundwater quality of Mersin-Tarsus hillside and coastal aquifers extending between Berdan and Karakuz streams was investigated by means of in-situ measurements and chemical analyses during the years 2001-2002-2003. Groundwater's temperature, pH and specific electrical conductivity are found to range between 20-26 °C, 6.4-8.6 and 385-6890 microS/cm, respectively. In two hotwater wells, temperature, pH and specific electrical conductivity are between 38-40°C, 7.32-7.59 and 10900-12000 microS/cm. Great majority of groundwater samples belongs to Ca-HCO₃ facies though, MgHCO₃, NaHCO₃, NaCl, CaSO₄ and NaSO₄ type waters were also observed. In considerable number of samples, nitrate exceeds drinking water limits while, limited number of samples posses Fe and Cd values above the limits. Seawater intrusion is observed only in a few sites.

Key words: Hydrogeochemistry, Mersin, water quality, groundwater;

GİRİŞ

Mersin-Tarsus arasında Torosların eteklerini oluşturan yamaç ve alüvyal nitelikli kıyı ovasını kapsayan inceleme alanı $34^{\circ}20'$ ile $36^{\circ}57'$ boylam ve $36^{\circ}38'$ ile $37^{\circ}00'$ kuzey enlemleri arasında yer almakta ve 810 km^2 'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1). İnceleme alanında batıdan doğuya gidildikçe denizden uzaklaşan dağ sırasıyla deniz arasında geniş bir kıyı düzlüğü bulunmaktadır. Bu düzlükte bulunan Mersin ve Tarsus kentleri en büyük yerleşim alanlarını oluşturmaktadır. Mersin-Tarsus arasındaki bölge tarım ve sanayi faaliyetlerinin, Mersin'in batısındaki bölge ise yazlık sitelerin yoğunlaştığı alanlardır. İçme ve sulama suyu ihtiyacının bir bölümü doğuda bulunan Berdan Barajından karşılanmasına karşın, inceleme alanı genelinde yeraltısuyu kullanım oranı oldukça yüksektir.



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

İnceleme alanının hidrojeolojisi ile ilgili en kapsamlı çalışma Devlet Su İşleri tarafından gerçekleştirilmiştir (DSİ, 1978). Bölgede DSİ ve

şahıslarca açılan kuyular ile çeşitli kaynak ve yüzey sularına ait 1961-1972 dönemindeki su kimyası verilerini içeren anılan çalışma genel amaçlı olup, yeraltısuyu kimyasının zamana bağlı değişiminin incelenmesini amaçlamamaktadır. Değirmenci ve Altın (2001) inceleme alanının batısında özellikle yazlık sitelerin bulunduğu Mezitli ve çevresini kapsayan kesimde gerçekleştirdikleri çalışmalarında aşırı çekime bağlı denizsuyu girişiminin başladığını saptamışlardır. Demirel (2004) Kazanlı ve çevresinde 1984 ile 2000 yılları arasındaki dönemde tuzlusu girişimin durumunu klorür (Cl) ve elektriksel iletkenlik (Eİ) ölçümleri kapsamında incelemiştir. Anılan çalışmada, 1984-1995 yılları arasında düşük bir oranda artan Cl ve Eİ içeriklerinin, sonraki dönemde daha yüksek oranda artmaya devam ettiği saptanmıştır. Kısa dönemli iklim değişimlerinden etkilenmeyen yeraltısuyu bölgenin sürdürülebilir kalkınması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Bu nedenle, bu çalışmada kıyı-yamaç akiferleri yeraltısuyu kimyasının mevcut durumunun belirlenmesi, bu çerçevede su kalitesine yönelik tehditlerin saptanması amaçlanmıştır.

BÖLGESEL JEOLojİ VE HİDROJEOLojİ

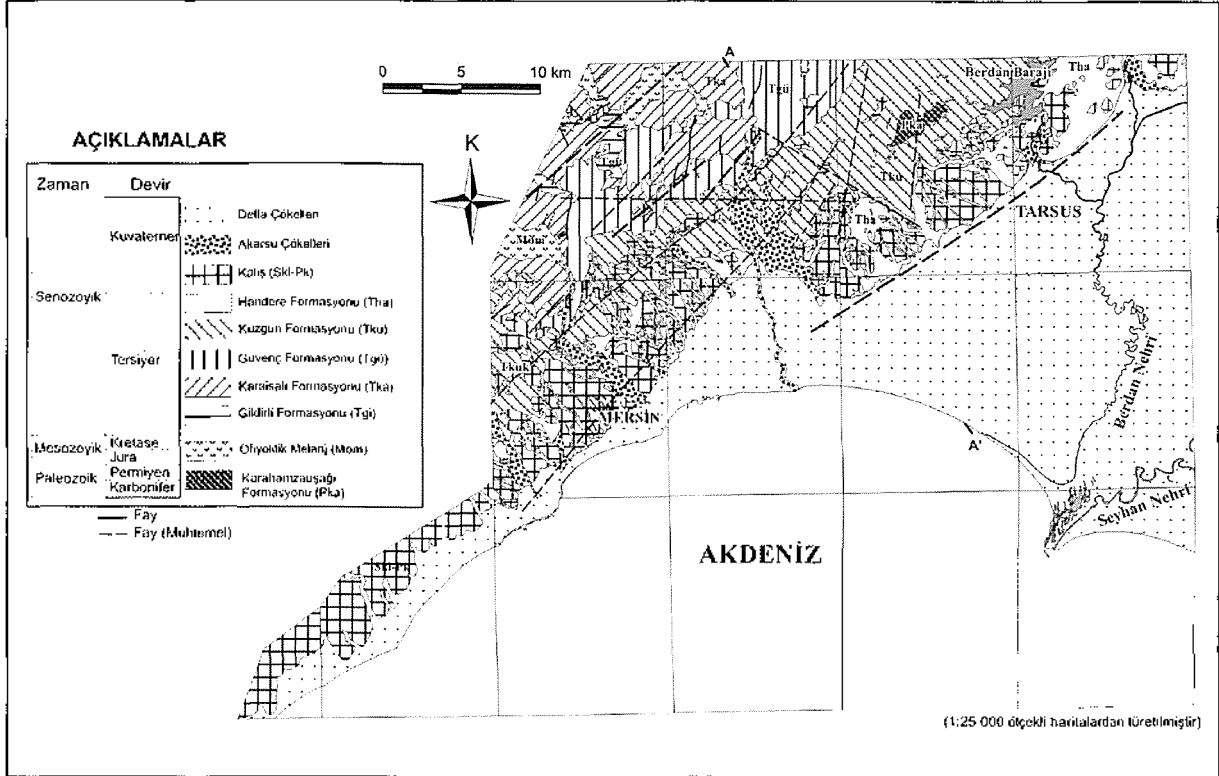
Jeoloji

Bu çalışmada kullanılan jeolojik veriler Şenol vd. (1998)'den derlenmiştir. Mersin-Tarsus Kıyı akifer sistemi ile bu sistemin drenaj alanında yer alan jeolojik birimler, Toros Dağ Oluşum Kuşağının, Ecemiş Fayı güneydoğu kesiminde yer alır ve bu kuşağın jeolojik özelliklerini taşımaktadır. Bölgenin jeoloji haritası Şekil 2'de ve A-A' jeolojik kesiti Şekil 3'te sunulmuştur. Paleozoyik yaşlı metamorfikler, Üst Kretase döneminde bölgeye yerleşen ofiyolitik melanj, Oligosen-Miyosen-Pliyosen döneminde oluşan karasal, geçiş ve denizel ortam çökelleri, Kuvaterner yaşlı karasal ve geçiş ortamı çökelleri bölgesel jeolojik yapının ana unsurlarıdır.

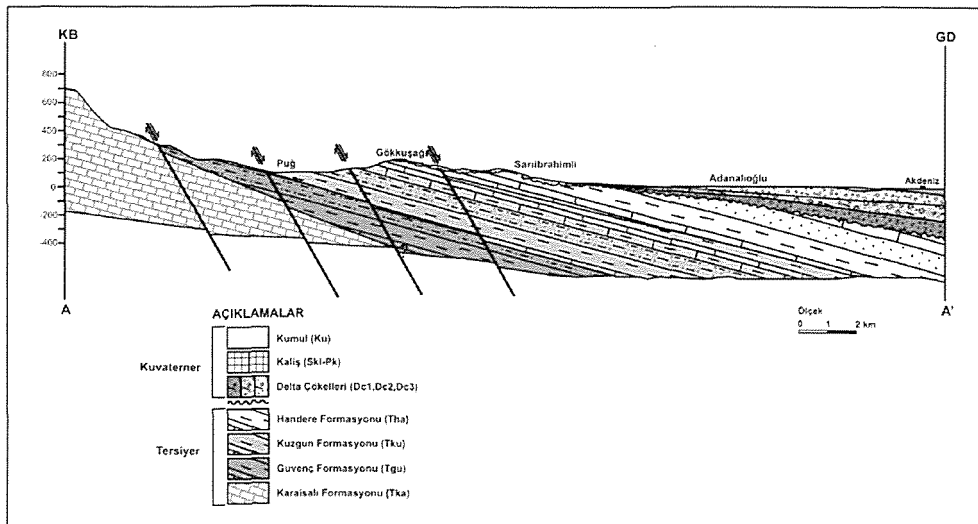
Tarsus'un kuzeybatısında, Ziyaret Dağı çevresinde görülen Karahamzauşağı Formasyonu (kireçtaşı-mermer-kuarsit-şist) inceleme alanında temel birimi oluşturmaktadır. Üst Kretase yaşlı ofiyolitik melanj Permiyen-Jura-Kretase yaşlı karbonatlı kayaç blokları içerir ve Mersin'in kuzeyinde derin vadiler içinde görülmektedir. Ofiyolitik melanj üzerine çakıltaşı-kumtaşı, silttaşı-kilttaşı, killi kireçtaşı-marn gibi kaya birimlerinden oluşan Oligo-Miyosen yaşlı Gildirli Formasyonu uyumsuz olarak bulunmaktadır. Gildirli Formasyonu üzerinde Alt-Orta Miyosen yaşlı, erime boşlukları içeren Karaisalı Formasyonu resifal

kireçtaşları bulunmaktadır. Daha üstte yer alan Güvenç Formasyonu alttan üste doğru killi kireçtaşı-marn ve kiltası-silttaşı birimlerinden oluşmaktadır. Tektono-stratigrafik istifin devamında yer alan Orta-Üst Miyosen yaşlı Kuzgun Formasyonu alt bölümlerinde kumtaşı-çakıltaşı, orta bölümlerde resifal kireçtaşı ve tüfit, üst bölümlerde ise kiltası-marn-silttaşından oluşmaktadır.

Üst Miyosen-Pliyosen zamanında çökelen Handere Formasyonu birbiri ile geçişli kiltası-marn-silttaşı, oolitik kireçtaşı, jips ve kumtaşı-çakıltaşı birimlerinden oluşmaktadır. Kuvaterner döneminde bölgede karasal ve geçiş ortamı çökelleri olan yüksek seki çakıltaşı, kıyı çökelleri, kalis, akarsu seki çakıltaşı, delta çökelleri ve kumullar oluşmuştur.



Şekil 2. İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Şenol vd., 1998).
Figure 2. Geological map of the study area (Senol et al., 1998).



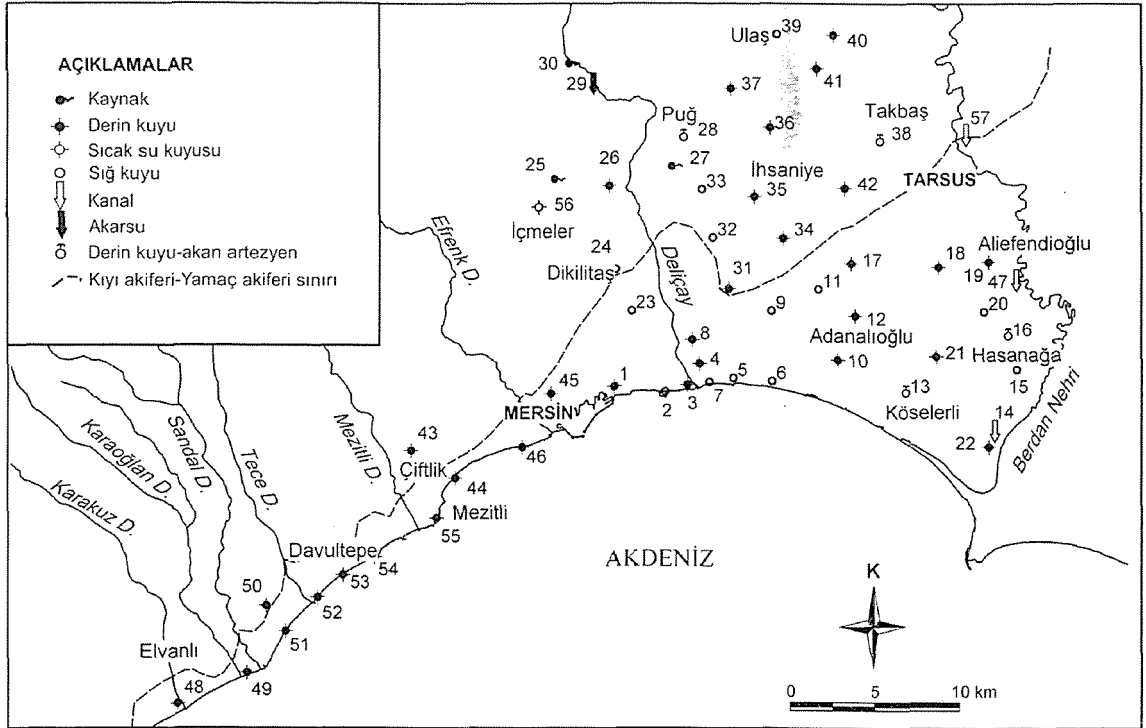
Şekil 3. İnceleme alanına ait A-A' jeolojik kesiti.
Figure 3. Geological section of A-A'.

Hidrojeoloji

İnceleme alanı kuzey kesimde genel olarak güneydoğuya eğimli sedimanter kayaların bulunduğu düşük verimli Yamaç akiferi ve güneyde yüzey alanı doğudan batıya azalan alüvyon malzemenin oluşturduğu yüksek verimli Kıyı akiferi olarak tanımlanan iki ayrı morfo-hidrojeolojik bölümden oluşmaktadır (Hatipoğlu, 2004). Genel olarak sedimanter kayaların ardalanmasından oluşan Yamaç akiferinde tek tür kaya tipinin hakimiyetinden çok kumtaşı, kireçtaşı, çakıltaş, silt, marl ve kiltaş ardalanması gözlenir. Bu nedenle Yamaç akiferinde verimli yeraltısuyu üretimi ancak, yerel ölçekte, uygun litolojilerin bulunduğu kesimlerde mümkündür. Buna karşın, delta-kıyı ovası ortamı çökellerinden oluşan Kıyı akiferinde verimli yeraltısuyu üretimi pek çok alanda mümkündür. Bu kesimde, akarsu yataklarının yatay-düşey yönde yer değiştirmesine bağlı olarak taneboyu dağılımında ve buna bağlı olarak jeohidrolojik parametre değerlerinde (hidrolik iletkenlik, porozite, özgül depolama vb.) kısa mesafelerde büyük değişimler görülebilmektedir.

VERİLER VE YÖNTEM

İnceleme kapsamında 1/100,000 ölçekli Mersin-O-33 ve 1/25,000 ölçekli Silifke O-32-c1 ve c2 topoğrafik paftaları içinde UTM 619000-675000 doğu boylamları ile 4055000-4096000 kuzey enlemleri arasında yer alan Devlet Su İşleri (DSİ), Köy Hizmetleri (KH), İller Bankası (İB) ve şahıslar tarafından açılan kuyular ile kaynaklardan 2001 Haziran-Ekim (kurak), 2002 Ekim (kurak) ve 2003 Mayıs (yağışlı) dönemlerinde 50 dolayındaki noktada yüzey ve yeraltısuyu kimyası incelenmiştir (Şekil 4). Sıcaklık, elektriksel iletkenlik (Eİ), pH, çözülmüş oksijen (ÇO) değerleri yerinde ölçümlerle belirlenmiştir. Kimyasal amaçlı örnekler polietilen şişelere alınarak, standart yöntemlerle korunmuş ve analiz edilmişlerdir. Tüm örnekler için anyon-katyon dengesi $\pm\%5$ 'ten düşüktür. Majör iyon ve besin tuzları (N türevleri ve fosfat) derişimi her üç dönem örneklerinde belirlenmiş, ağır metal derişimleri ise yalnızca 2003 yağışlı dönem örneklerinde belirlenmiştir (Çizelge 1, 2, ve 3).



Şekil 4. Yüzey ve yeraltısuyu örnekleme noktaları haritası.
Figure 4. Surface and groundwater sampling points map.

Çizelge 3'ün devamı

Örnek No ve Yeri	Koordinat		Değişim (mg/l)							
	X	Y	Fe	Cu	Zn	Mn	Pb	Cr	Cd	Ni
120-Aleflendiği Köyü	670393	4083006	0.009	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000
121-Kurutma Kanalı	672024	4081827	0.217	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000
122-Ahağa Köyü	671964	4078742	0.262	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000
123-Hasanada	672049	4076953	0.242	0.000	0.139	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
124-Bahşış Köyü	667294	4077441	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
125-A.Köseli Köyü	665471	4075398	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000
125-B.Köseli Köyü	665470	4075391	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000
126-Kulak Köyü	670399	4072109	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
127-Kulak Pompa İstasyonu	670728	4072263	0.727	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
128-Yaşlıtepe Köyü	670126	4090277	0.319	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
129-Karabucak Ormanı	667434	4092695	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-Karabucak Ormanı	667081	4093642	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
131-Atalar	665489	4080917	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
132-Bağlarbaşı Köyü	661900	4087345	0.203	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
133-Adanalıoğlu Köyü	660319	4081689	0.126	0.000	0.034	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
134-Sapandere Çiftliği	662497	4079822	0.000	0.000	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
135-Adanalıoğlu Köyü	661472	4077216	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
136-Güdübeci Topa	655052	4081403	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
137-Hamurlu Köyü	657562	4080346	0.263	0.000	0.720	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
138-Kazanlı	657577	4076153	0.009	0.000	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
139-Kazanlı	655305	4076339	0.160	0.000	0.115	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-Sevdi Mehmet Mevki	653885	4076105	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
141-Dolçay Doğusu	652629	4075739	0.066	0.000	0.067	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
142-Karaduvar	651342	4075115	0.126	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
143-Takbaş-Beshane	663968	4090200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
144-Değirler Köyü (KB)	660206	4094377	0.173	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
145-Ulaş Köyü	657898	4096609	0.359	0.000	0.594	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
144-Değirler Köyü (KB)	660465	4093770	1.140	0.000	2.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
147-Hırsın Köyü	661238	4096347	0.000	0.000	0.069	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
148-Bağcılar Belediyesi	658231	4084393	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
149-Hasanlı Köyü	658608	4086855	0.000	0.000	0.156	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-Çiğlekçe	655186	4093202	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
151-Kazanlı	651966	4088827	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
152-Puğ Köyü	652430	4090424	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
153-İncilik Pınarı	645987	4094893	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
154-Muhdat Mahallesi	642832	4072062	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
155-Mersin Un Yeniselir	638996	4070259	0.000	0.000	1.723	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
156-Çillik Köyü	636372	4071875	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
157-Gama Konutları	626681	4058734	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
158-Tuta Petrol	622620	4056910	0.162	0.000	0.066	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000
159-Mersin Un. Toca	628999	4061184	0.000	0.000	0.310	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-Sultanlı Sitesi	630879	4063203	0.000	0.000	0.070	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
161-Orman Bakanlığı	632320	4064610	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
162-Soray Sitesi	634197	4065577	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
163-Akçam Sitesi	637847	4067892	0.000	0.000	0.512	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
164-Karacalıyaz	652920	4078390	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
165-Abdulkadir Paşa Çiftliği	654114	4084627	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
166-Gökkuşak Köyü	653487	4087463	0.071	0.000	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
167-Dikkilitas Mevki	648422	4082760	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
168-Karapınar	645078	4088081	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
169-İçmeler	644083	4086158	0.060	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.103
170-İçmeler	643921	4086202	0.335	0.011	0.017	0.000	0.000	0.000	0.015	0.090
171-Serdenceçitler Çiftliği	649367	4080305	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
172-Serbest Bölge	648320	4075640	0.000	0.000	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
174-Mersin SSK Hastanesi	645749	4074848	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
175-A-Ahağa Köyü	671564	4078742	0.116	0.026	0.042	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
175-B-Ahağa Köyü	671564	4078742	0.012	0.000	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-Adanalıoğlu Köyü	660858	4030766	0.030	0.000	0.136	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

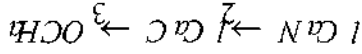
DEĞERLENDİRME Majör İyonlar

Su örneklerinin majör anyon ve katyon içerikleri esas alınarak oluşturulan Piper diyagramındaki konumlarından bölgedeki yeraltısuyunun 6 farklı hidrokimyasal fasiyesi (Ca-HCO₃, Mg-HCO₃, NaHCO₃, NaCl, CaSO₄ ve NaSO₄) kapsadığı gözlenmektedir (Şekil 5). Su noktalarının büyük bölümü Ca-HCO₃ fasiyesinde bulunmaktadır. Durum genel olarak değerlendirildiğinde Ca-HCO₃ ve NaCl fasiyeslerinin sırasıyla tatlı su ve deniz suyu ile ilişkili olduğu; NaHCO₃ ve Mg-HCO₃ fasiyeslerinin deniz suyu katkısı ile tuzlanmış yeraltısuyunun güncel beslenimce yıkanma sonucu geliştiği; CaSO₄ ve NaSO₄ fasiyeslerinin ise olasılıkla lagüner-karasal ortam kökenli evaporitik mineralizasyona bağlı olduğu ya da yeraltısuyu

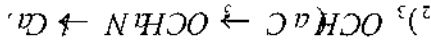
kimyasında oluşan değişimlere bağlı olarak gelişen iyon takas (ion exchange) tepkimeleri sonucu oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu fasiyeslerin alansal yayılımı Şekil 6'da ve bu fasiyeslerin oluşmasında etkili kimyasal süreçler Şekil 7'de verilmiştir. Bu çalışmaya konu su noktalarının büyük bölümünde 2001, 2002 ve 2003 yılları boyunca hidrokimyasal fasiyeslerde değişim gözlenmemiştir. Değişim görülen az sayıda su noktasının konumu Şekil 8'de sunulmuştur. Fasiyes değişimleri Ca-HCO₃'tan NaHCO₃'a, NaCl'den NaHCO₃'a, Ca-HCO₃'tan MgHCO₃'a, NaSO₄'tan NaHCO₃'a, NaCl'den MgHCO₃'a veya bunların tersi şeklinde gerçekleşmiştir.

Kıyı akiferlerinde aşırı çekime ya da doğal süreçlere bağlı tuzlanma önemli kalite sorunlarından birisidir. Tatlı su karakterindeki Ca-HCO₃ ve tuzlu su

karakterindeki NaCl fasiyesleri arasında kimyasal bileşimin değişimi tatlı su akiferinin tuzlanmakta oluşu ya da tuzlanmış akiferin yıkanmakta oluşu hakkında önemli ipuçları sunar. Denizsuyu girişimi nedeniyle tuzlanmakta olan tatlısuda sırasıyla aşağıdaki hidrokimyasal fasiyes değişimleri görülür (Appelo ve Postma, 1996).



Diğer bir deyişle, yeraltısuyunda $CaCl_2$ fasiyesinin saptanması ilerleyen tuzlanmanın göstergesidir. Benzer şekilde, tuzlanmış yeraltısuyunun tatlı su ile yıkanması sürecinde ise $NaHCO_3$ bir ara fasiyes olarak gözlenmektedir.



İnceleme alanındaki hidrokimyasal fasiyesler bu açıdan incelendiğinde batıda Mezitli ve doğuda Köşelerli dolayında bulunan bazı noktalarda olasılıkla aşırı çekime bağlı deniz suyu girişiminin etkili olduğu anlaşılmaktadır (bkz. Şekil 6). Ayrıca, iç kesimlerde yer alan İçmeler sıcak suyu da olasılıkla derin dolaşımdaki suyun deniz suyu ile teması sonucu tuzlanma belirtisi göstermektedir. Batıda Mezitli ve doğuda Adanahoğlu dolaylarında gözlenen $NaHCO_3$ fasiyeslerinden bu kesimlerde geçmişte oluşan tuzlanmanın yıkanmaya dönüştüğü anlaşılmaktadır. Bu durumun, tuzlanmış kuyularda çekimin durdurulmasını takiben akifer sisteminin güncel beslenme ile hızlı biçimde yıkanmasına bağlı olarak gerçekleştiği sanılmaktadır. Bölgesel hidrojeolojik yapıya ilişkin olarak oksijen-18 ve trityum izotoplarına dayalı olarak gerçekleştirilen değerlendirmeler kıyı akiferindeki yeraltısuyu besleniminin asıl kaynağının Toroslardan kaynaklanan güçlü yeraltısuyu akımı olduğunu göstermektedir (Hatipoğlu, 2004). Diğer bir deyişle, tuzlanmış akifer kesimlerinde yıkanma yerel beslenimden çok, büyük oranda bu katkı sayesinde gerçekleşmektedir. Öte yandan, gözlenen yoğun yeraltısuyu çekimine karşılık tuzlanmanın sınırlı oluşunun da söz konusu katkının güçlü olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnceleme alanında, $NaSO_4$ fasiyesine ait örnek doğuda, Yamaç akiferinin İhsaniye dolayındaki bölümünde gözlenmektedir. Bu fasiyesin günümüzde İçmeler sıcaksuyunun çıkışı ile ilişkili olan kırık hatları ile bağlantılı olarak geçmişte gerçekleşmiş hidrotermal mineralizasyonla ilgili olabileceği düşünülmektedir. Kıydan uzak ve üst kotlarda yer alan bu kesimde

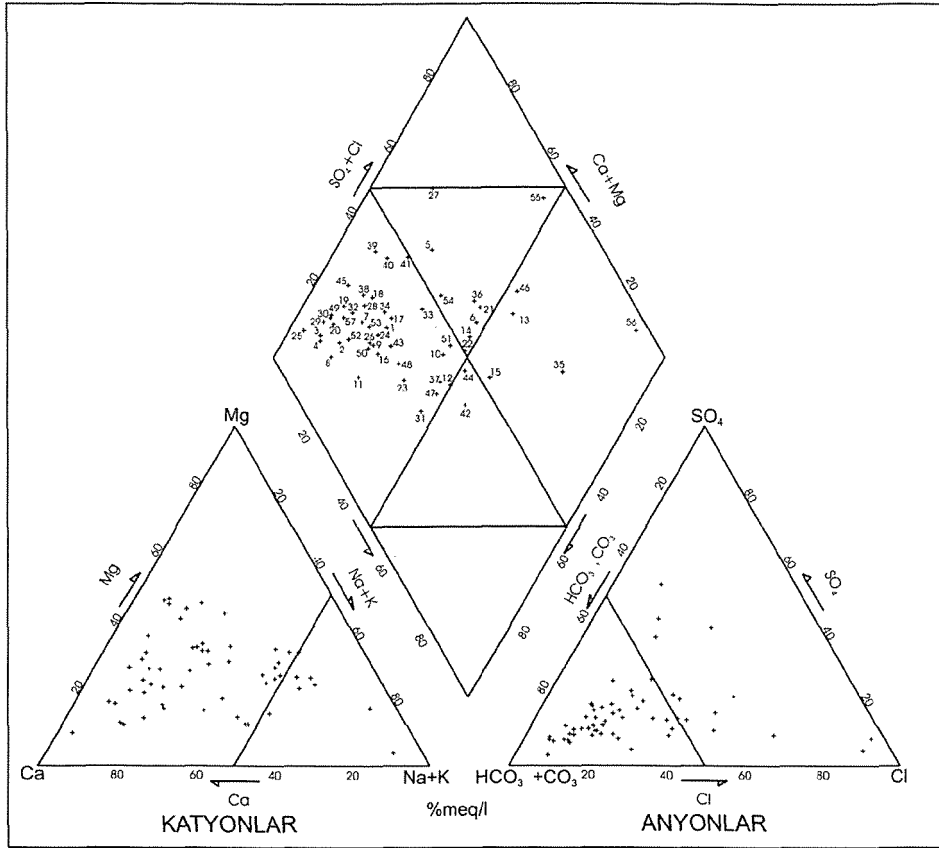
gözlenen $NaHCO_3$ fasiyesine bağlı örneklerin de benzer biçimde oluşmuş olması mümkündür.

$MgHCO_3$ fasiyesine bağlı örneklerin büyük bölümü Deliçay'ın denize ulaştığı bölge dolayında yer almaktadır. Bu örneklerin Mg'ca zengin olmasının nedeni kesin olarak anlaşılamamıştır. Mg zenginleşmesinin olası nedenlerinin, i) aktıyukarıda bulunan ofiyolitik birimlerden sağlanan ve zaman zaman Mg'ca zenginleşen yüzeysuyunun akiferi beslemesi, ii) Toroslardan kaynaklanarak bu kesimde yüzeyleyen yeraltısuyunun Mg'ca zengin ofiyolitik birimlerle yoğun teması vb. olduğu düşünülmektedir.

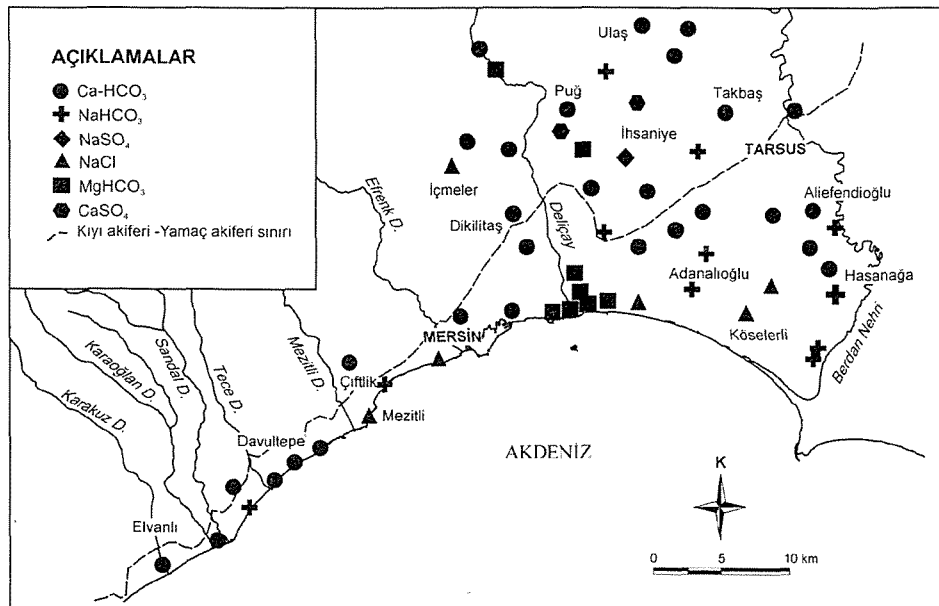
Besin Tuzları

Su örnekleri besin tuzları kimyası açısından değerlendirildiğinde, azot türevlerinden nitratın pek çok yerde yüksek derişime sahip olduğu gözlenmektedir. Nitrat, duraylı olması nedeniyle azot bileşiklerinin doğal sularda en çok bulunan biçimidir. Doğada, N içeren minerallerin yaygınlığı oldukça sınırlı olup, nitratın yeraltısuyundaki başlıca kaynağı insan, hayvan ve endüstri kökenli atıklar ile doğal-yapay gübrelerdir. Nitratın oksijen taşıma kapasitesini düşürdüğünden 50 mg/l üzerindeki NO_3^- derişimi özellikle bebeklerin beyin gelişimi açısından risk oluşturur (McNeely vd., 1979 ve Hem, 1985).

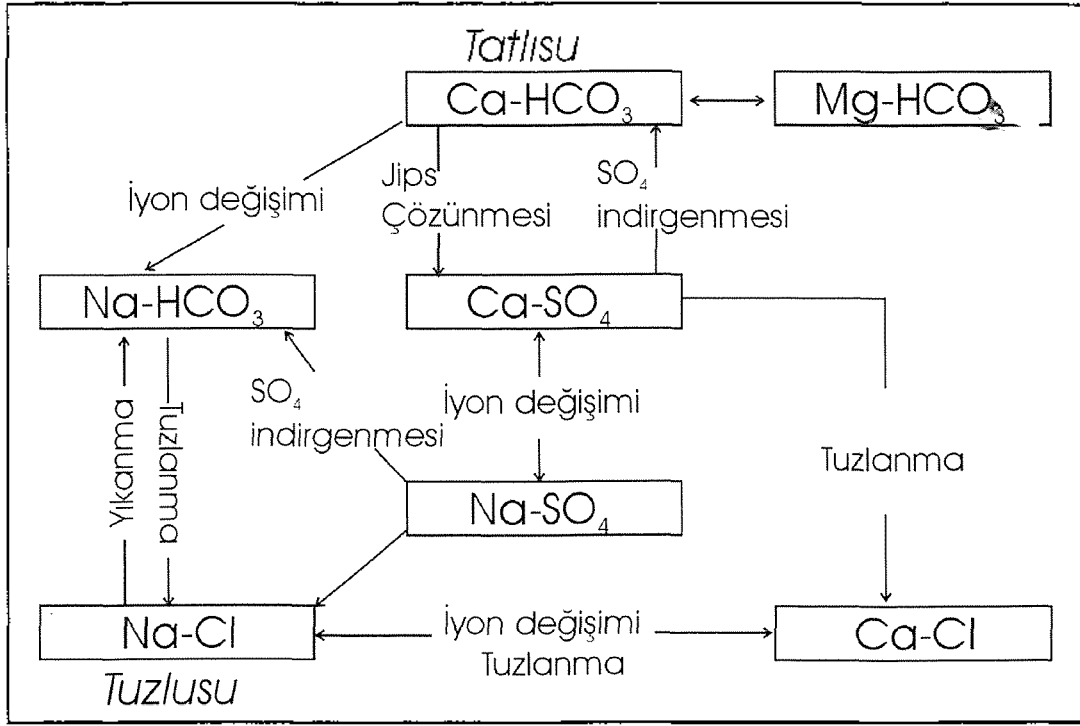
İnceleme alanında 2001 kurak dönemine ait örneklerin nitrat değerleri Şekil 9'da gösterilmiş, TSE (1997) standardına göre içme suyunda izin verilen maksimum sınır değeri (50 mg/l) aşan örnekler ayrıca belirtilmiştir. Bu örneklerin genellikle Deliçay ve yakın çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir. Batıda Mezitli, kuzeyde Puğ-Ulaş dolayında, doğuda İhsaniye-Adanahoğlu yerleşimleri arasında da yüksek nitrat derişimlerine rastlanmaktadır. Gözlenen yüksek değerlerin olasılıkla gübre kullanımına bağlı olarak nitratça zenginleşen suyun yüzeyden ya da kuyu cidarı boyunca akifere sızmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



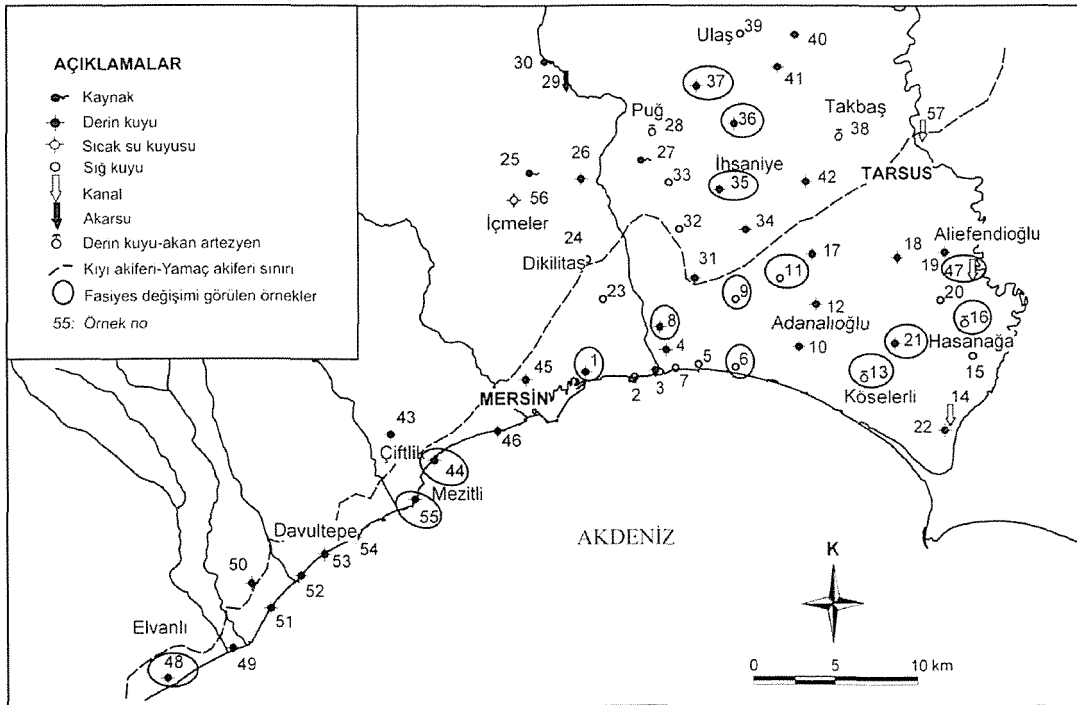
Şekil 5. 2001 Haziran-Ekim dönemine ait Piper diyagramı
 Figure 5. Piper diagram of June-May 2001 period.



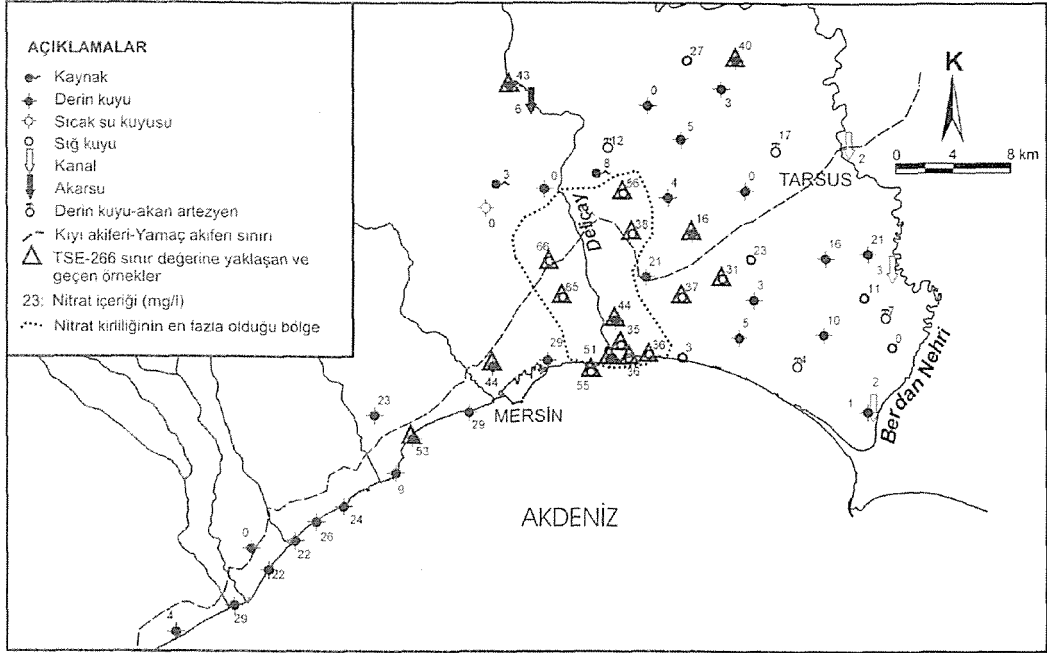
Şekil 6. 2001 Haziran-Ekim dönemi aliansal fasiyes dağılımı
 Figure 6. Facies distribution of June-October 2001 period.



Şekil 7. Farklı yeraltısuyu tiplerinin oluşmasında etkili kimyasal süreçler (Adams vd., 2001'den değiştirilerek alınmıştır).
Figure 7. Chemical processes responsible for the various groundwater types (modified from Adams et al., 2001).



Şekil 8. Fasiyes değişimi görülen örnekler.
Figure 8. Samples possessing hydrochemical facies change.



Şekil 9. Haziran-Ekim 2001 dönemine ait Nitrat (mg/l) içerikleri haritası.
Figure 9. Nitrate (mg/l) contents map of June-October 2001 period.

Ağır Metaller

Bölgede 2003 yağışlı döneminde alınan örneklerde ağır metallere Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Cr, Cd, Ni içerikleri belirlenmiştir. Genel olarak, doğal sularda metalik elementlerin derişimi büyük oranda suyun pH değerine bağlı olup, yüksek derişimler düşük pH derecesine sahip asidik sularda gözlenmektedir. İnceleme alanında yeraltısu pH değerleri genellikle 7 dolayında olduğundan yeraltısuyunun dikkate değer derişimlerde metalik element içerme beklenen bir durum değildir. Gözlenen derişimler de bu beklenti ile uyumlu düzeyde bulunmuştur. Tüm örneklerde Mn, Pb, Cr derişimi atomik absorpsiyon spektrofotometresi ölçüm duyarlılığı altında kalmıştır. Örneklerde, dikkate değer ağır metal derişimlerine sahip elementler Fe, Zn ve Cd olmakla birlikte, bunlardan yalnızca Fe ve Cd'un bazı noktalarda TSE (1997) içme suyu sınır değerlerinin (Fe= 0.2 mg/l, Cd= 0.005 mg/l) üzerine çıktığı saptanmıştır. Sınır değeri aşan Fe derişimleri Aliğa Köyü (Örnek 122-a), Hasanağa Köyü (Örnek 123), Yeşiltepe Köyü (Örnek 128), Bağlarbaşı Köyü (Örnek 132), Hamurlu Köyü (Örnek 137), Ulaş Köyü (Örnek 145), Dedeler Köyü (Örnek 144) örneklerinde; Cd derişimleri ise Aliefendioğlu Köyü (Örnek 120), Aliğa Köyü (Örnek 122), Köşerli Köyü (Örnek 125-a ve 125-b) ve Şeyh Mehmet Mevkii (Örnek 140) örneklerinde saptanmıştır.

Yüksek Fe ve Cd derişimlerinin metalik kuyu tehziminin korozyonuna ve/veya bu elementlerce zengin ofiyolitik minerallerin çözünmesine bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Tuzlusu Girişimi

Çalışma alanında tuzlanmanın saptandığı örneklerde deniz suyu katkı oranının belirlenmesinde çökelme-iyon takası vb. tepkimeler açısından yeraltısuunda konservatif bir davranışa sahip olan Cl içeriğinden yararlanılmıştır. Deniz suyu katkı oranının belirlenmesinde aşağıda belirtilen kütle dengesi eşitliği kullanılmıştır. Tipik deniz suyu ve tatlı su Cl derişimleri olarak sırasıyla 638.15 mmol/l ve 0.235 mmol/l (Hatipoğlu, 2004) kullanılmıştır.

$$C_t V_t + C_d V_d = C_{\text{karışım}} V_{\text{karışım}} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

C_t : Tatlısu Cl derişimi (mmol/l)

C_d : Deniz suyu Cl derişimi (mmol/l)

$C_{\text{karışım}}$: Karışım suyu Cl derişimi (mmol/l)

V_t : Tatlısu hacminin karışım suyuna hacimsel katkısı (l)

V_d : Deniz suyu hacminin karışım suyuna hacimsel katkısı (l)

$V_{\text{karışım}}$: Karışım suyu hacmi (l)

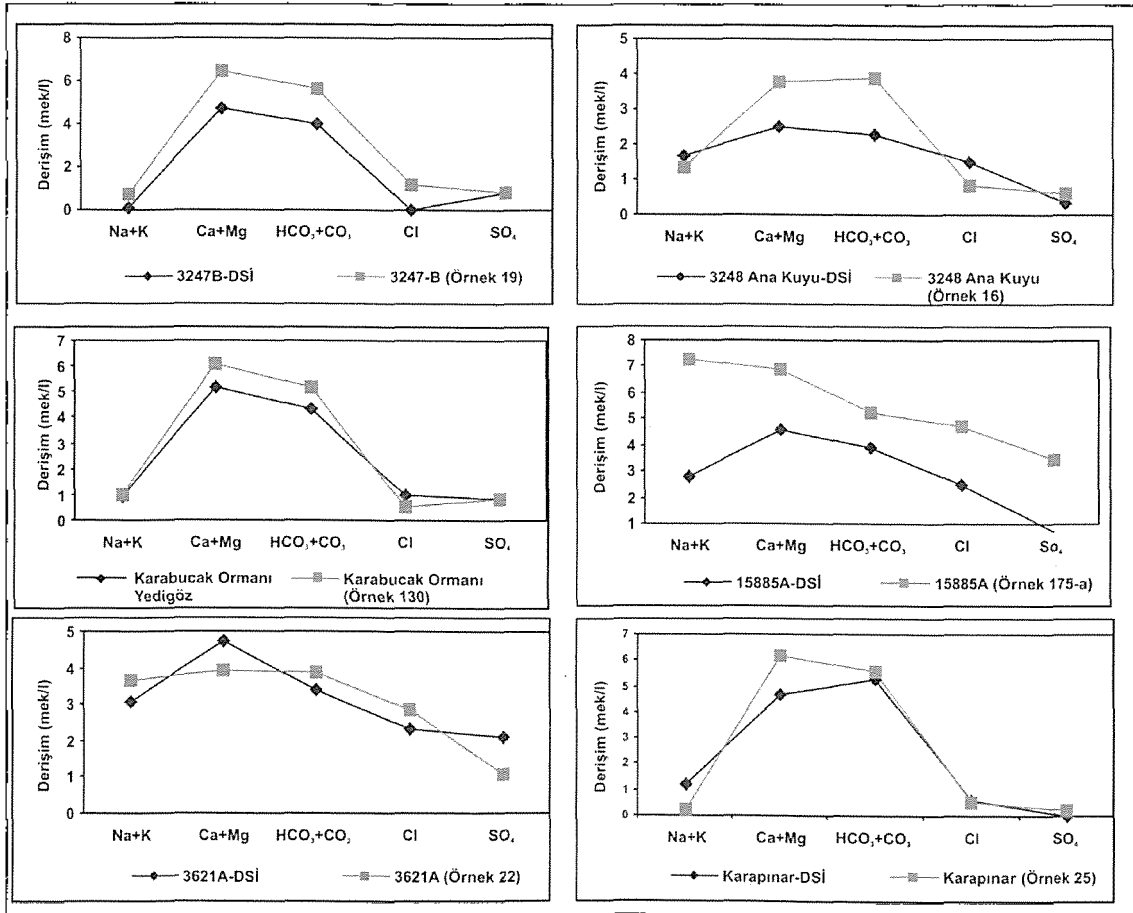
2001 Haziran-Ekim dönemi su örnekleri deniz suyu katkısı açısından incelendiğinde en yüksek oranın %15 ile İçmeler sıcak su kuyusunda olduğu sonda

görülmektedir. Yamaç akiferleri kısmında bulunan İhsaniye örneği (Örnek 35) %1.4, Kıyı Akiferinde bulunan Akçam Sitesi örneği (örnek 55) %9.8 ve Muhdar Mahallesi örneği (örnek 46) %1.8 katkı oranlarına sahiptir. 2002 yılında ise Muhdar Mahallesi örneği (örnek 68) %1.1 ve İçmeler (örnek 80) %11.9 katkı oranına sahiptir. 2003 yılı örneklerinde ise İhsaniye (örnek 149) %1.1, Muhdar Mahallesi örneği (örnek 154) %1.6 ve İçmeler (örnek 169) %16 katkı oranına sahiptir. Dikkate değer denizsuyu katkısının belirlendiği dört örnekten inceleme alanının kuzey kesiminde bulunan İçmeler sıcaksu örneğinin tatlısu-tuzlu su arayüzeyi ile temas eden ve derin dolaşıma sahip bir yeraltısu olduğu düşünülmektedir. İçmeler kuyusunda denizsuyu katkısının zamanda değişken olması olasılıkla beslenimde soğuk su katkısının zamanla değişmesinden kaynaklanmaktadır. Kıyı Akiferinde Akçam sitesi kuyusunda gözlenen tuzlanmanın ise aşım çekimden kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Karışım

hesaplamalarındaki belirsizlikler (Cl ölçüm hassaslığı ile tatlı su ve deniz suyuna atfedilen Cl derişimlerindeki belirsizlikler) dikkate alındığından %1 dolayında deniz suyu katkısı içeren örnekler hakkında kesin bir yargıya varmanın doğru olmayacağı düşünülmektedir. Kesin yargıya varmak için bu gibi kuyularda yeni gözlemler yapılması uygun olacaktır.

Zamansal değişim

İnceleme alanında yeraltısu kimyasının uzun dönemli değişiminin belirlenmesi amacıyla bazı su noktalarının DSİ (1978)'de belirtilen majör iyon derişimleri 2001-2003 döneminde belirlenen değerler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 10). Karşılaştırılan su noktalarından Aliefendioğlu, Aliğa, Kulak, Köselcerli Köyleri ve Karabucak Ormanı örnekleri inceleme alanının doğusunda, kıyı kesimde bulunmakta; Karapınar Kaynağı ise kuzeybatı kesimde yer almaktadır.



Şekil 10. DSİ (1978) analiz sonuçları ile 2001-2003 analiz sonuçları karşılaştırması.
Figure 10. Comparison of analysis results from DSİ (1978) and 2001-2003 period.

Karabucak Orman, Karapınar ve 3621A su noktalarının geçmiş ve güncel majör iyon derişimleri arasında önemli bir farklılık gözlenmemiştir. Bu örneklerin derişim eğilimleri benzer olup, gözlenen farklılıkların geçmiş örneklerin iyi korunmamış olması, mevsimlik kimyasal değişim ve analitik ölçüm hataları gibi nedenlerle açıklanması mümkündür. Diğer yandan, 3247B ve 15885A örneklerinden geçmiş ve güncel sonuçlar birbirine paralel olmakla birlikte, geçmiş derişimler güncel derişimlerden belirgin olarak düşüktür. Bu durumun, geçmiş örneğin analiz aşamasına değin çökelme reaksiyonlarına karşı korunmamış olması ile açıklanması mümkündür. Söz konusu farklılığın olası diğer nedeninin ise geçmişte daha etkili "yeni beslenme" katkısına bağlı olarak iyon içeriğindeki seyrelme olabileceği düşünülmektedir. 3248 nolu örnekte ise geçmiş ve güncel derişimlerin Na+K, Cl ve SO₄ açısından aynı olduğu görülmektedir. Bu örnekte Ca+Mg ve HCO₃+CO₃ derişimlerinde gözlenen farklılığın geçmiş örnekte analiz öncesinde gerçekleşen CaCO₃ çökelimi olduğu düşünülmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanında 2001-2002-2003 dönemlerinde yapılan yeraltısuyu örneklemelelerinde her üç dönem için ortalama sıcaklık sırasıyla 23-23-23°C, ortalama Eİ 1026-835-887 ve ortalama pH değeri 7.38-7.00-7.50 olarak belirlenmiştir. Bölgedeki sular genellikle Ca-HCO₃ tipindedir. Bunun yanısıra Mg-HCO₃, NaHCO₃, CaSO₄, NaSO₄ ve NaCl fasiyesleri de saptanmıştır. Tuzlusu girişiminden etkilenen alanlarda Ca-HCO₃ fasiyesindeki tatlısu ilerleyen tuzlanma ile NaCl fasiyesine geçmektedir. Bazı alanlarda tuzlanmış yeraltısuyunun yıkanmasına bağlı olarak NaCl fasiyesinden, NaHCO₃ ve Ca-HCO₃ fasiyeslerine geçiş olduğu gözlenmiştir. Hesaplanan deniz suyu katkı oranlarına göre İçmeler sıcak su kuyusu ve kıyı kesimde yer alan Akçam sitesi kuyusu dışında bölge genelinde dikkate değer bir tuzlu su girişimi söz konusu değildir. Kıyı ve Yamaç akiferindeki pek çok noktada yeraltısuyu nitrat içeriği, sınırlı sayıda noktada ise Fe ve Cd içeriği TSE (1997) içmesuyu sınır değerini aşmış durumdadır. Bu noktalardaki durumun izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması uygun olacaktır. Benzer şekilde, tuzlusu girişimi izleri taşıyan noktalar ve dolayında düzenli elektriksel iletkenlik ölçümleri yapılarak tuzlanma riskinin izlenmesi gereklidir. Bu çalışma kapsamında yapılan değerlendirmelerin incelenen su noktaları ile sınırlı olduğu, özellikle kirlenme açısından yakın su noktaları arasında durumun farklı olabileceği dikkate alınmalıdır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Mersin Üniversitesi ve Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimleri tarafından sırasıyla BAP.FBE.JB(ZH)2002 ve 04.T02.604.001 nolu projeler ile desteklenmiştir.

DEĞİNİLEN BELGELER

- Adams S., Titus, R., Pietersen, K., Tredoux, G. ve Harris, C., 2001. Hydrochemical characteristics of aquifers near Sutherland in the Western Karoo, South Africa. *Journal of Hydrology*, 241, 91-103.
- Appelo, C.A.J. ve Postma, D., 1996. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*. A.A. Balkema, Rotterdam, 536 s.
- DSİ, 1978. Mersin, Berdan ve Efrenk Ovaları hidrojeolojik etüd raporu. Ankara, 60 s.
- Değirmenci, M. ve Altın A. 2001. Mersin-Erdemli arası sahil bölgesinde yeraltısuyu kirliliğinin araştırılması. Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma Fonu Sonuç Raporu, Rapor No: M-149, Sivas, 58 s.
- Demirel, Z., 2004. The history and evaluation of saltwater intrusion into a coastal aquifer in Mersin, Turkey. *Journal of Environmental Management*, 70, 275-282.
- Hatipoğlu, Z., 2004. Mersin-Tarsus kıyı akiferinin hidrojeokimyası. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Ankara, Doktora Tezi, 142 s (yayınlanmamış).
- Hem, J.D., 1985. *Study And Interpretation of The Chemical Characteristics of Natural Water*. U.S.A Geological Survey Water-Supply Paper 2254, 263 S.
- McNeelly, R.N, Neimanis V.P., ve Dwyer L., 1979. *Water Quality Sourcebook, A Guide to Water Quality Parameters*. Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa, Canada, 88 S.
- Şenol, M., Şahin, Ş. ve Duman T.Y., 1998. Adana-Mersin dolayının jeoloji etüd raporu. MTA, Ankara, 46 s. (yayınlanmamış).
- TSE, 1997. *Sular-içme ve kullanma suları (TS-266)*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 25 s.

Makale Geliş Tarihi : 10 Mayıs 2005

Kabul Tarihi : 10 Temmuz 2005

Received : May 10, 2005

Accepted : July 10, 2005