

# DENİZLİ BELEDİYESİ MÜCAVİR ALANININ HİDROJEOLÖJİK VE HİDROKİMYASAL İNCELEMESİ

**Ali GÖKGÖZ, Suat TAŞDELEN, Mustafa KAYA, Ali BÜLBÜL**

Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı/Denizli

Geliş Tarihi : 25.12.2003

## ÖZET

Denizli Belediyesi mücavir alanı ve yakın çevresinde (a) alüvyon, (b) alüvyon yelpazesi ve (c) Neojen yaşlı gölsel çökellerden oluşan üç akifer sisteminin kombinasyonu birleşik bir hidrolik sistem meydana getirmiştir. Bu sistem bazı alanlarda birleşik basınçlı akifer formasyonunu ve basınçlı akiferi, bazı alanlarda ise serbest akiferleri oluşturmaktadır. Yüksek potansiyele sahip bu akiferlerin beslenmesi, güney kesimdeki metamorfik kayalardan yeraltı suyu akımı ve yağıştan süzülme yoluyla gerçekleşmektedir. Akiferlerden artezyen veya pompaj yoluyla önemli miktarda yeraltı suyu çekilebilecek potansiyel vardır. İnceleme alanında yeraltı sularının iyon derişimi akım yönünde artar ve kimyasal kompozisyonu kalsiyum bikarbonatlı tipten magnezyum sülfatlı tipe döner. Bu dönüşüm, Neojen birimleri içindeki tuz oluşuklarının yeraltı suları tarafından yıkanması nedeniyledir. Dolayısıyla su kalitesi akım yönünde bozulur ve içmede kullanılamaz.

**Anahtar Kelimeler :** Birleşik hidrolik sistem, Hidrokimya, Su kalitesi, Denizli Belediyesi

## HYDROGEOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL INVESTIGATION OF DENİZLİ MUNICIPALITY URBAN AREA

### ABSTRACT

Within the urban area of Denizli Municipality and its vicinity, the hydraulic picture is a combination of three aquifer systems in the (a) alluvium (b) alluvial fan and (c) the Neogene lacustrine deposits. At different locations free surface, semi-confined and confined aquifers are observed. These aquifers are recharged by rain water and groundwater flow coming from the metamorphic rocks located at the southern parts of the study area. The groundwater exploitation potential (artesian and pumping) is high. The total ion concentration in the groundwater increases in the flow direction. At the same time, the chemical composition changes from calcium bicarbonate to magnesium sulfate type. This is due to the solution of the salts in the Neogene sediment deposits which get in contact with the groundwater. This brackish groundwater is not potable.

**Key Words :** Combined hydraulic system, Hydrochemistry, Water quality, Denizli Municipality

### 1. GİRİŞ

Denizli, Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesişim noktasının doğu ucunda alüvyon yelpazesi ve Neojen yaşlı gölsel çökeller üzerine kurulmuş bir kenttir. Yörenin yeraltı suyu potansiyeli, uygun jeolojik ve hidrojeolojik koşullar nedeniyle

yüksektir. Bunun sonucunda Denizli Belediyesi mücavir alanında içme ve kullanma suyu eldesi için çok sayıda sondaj yapılmıştır. Çoğu pozitif artezyen özelliğindeki bu sondajların sayısı çok fazladır ve mücavir alanın nüfusuna oranlandığında her 600 kişiye bir sondaj kuyusu düşer. Bu sondaj kuyularından toplam 463 l/s yeraltı suyu alınmaktadır.

Bu çalışmada mücavir alanın hidrojeolojik yapısı ortaya konmaya çalışılmış, akım yönünde yeraltı suyunun kimyasal özelliklerindeki değişimler ve kullanılabilirlik özellikleri incelenmiştir.

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından Denizli Belediyesi için hazırlanan “Denizli Belediyesi yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri” (Anon., 2002) başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiş ve sonuçların bir bölümü bu makalede sunulmuştur.

## 2. YÖNTEMLER

Kuyulardaki yeraltı su seviyelerinin ölçümü genellikle cm taksimatlı seviye ölçer, bazı kuyularda ise, kuyu içindeki elektrik kablolarının sorun yaratması nedeniyle ucuna ağırlık bağlanmış ince ip ile yapılmıştır. Kuyulardaki basınç değerleri manometre ile ölçülmüştür.

Kimyasal analizler için yapılan örneklemede, her su noktasından 250 ml’lik iki örnek alınmış; bir örnek kabı anyon analizleri için buz kabına konarak örnek sıcaklığı 4 °C’nin altına düşürülmüş, katyon analizleri için ise diğer örnek kabına HNO<sub>3</sub> ilave edilerek örnek pH’ı 2’nin altına indirilmiştir.

Suların sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik ölçümleri ve alkalinite analizleri su başında yapılmış; Na ve K değerleri alev fotometresi, Cl ve SO<sub>4</sub> değerleri spektrofotometre ile ölçülmüş, Ca ve Mg değerleri ise titrimetrik yöntemle belirlenmiştir.

## 3. JEOLojİ

Denizli il merkezi ve yakın civarında temel kayalarını alttan üste gnays, çeşitli şist, kuvarsit ve mermerle temsil edilen Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfiteği oluşturur. Metamorfiteği, havzayı çevreleyen dağlık horst alanlarında gözlenir. Temel kayaları üzerine uyumsuz olarak Neojen yaşlı Kızılburun, Sazak, Kolankaya ve Tosunlar formasyonları (Şimşek, 1984) gelmektedir. Mücavir alan içindeki tortul kayalar, Neojen istifin en üst seviyelerini oluşturan Kolankaya formasyonuna aittir. Olasılıkla Ponsiyen’de (Taner, 2001), bir yelpaze deltasında çökelen bu formasyon, mücavir alan içinde alttan üste, sarı renkli, zayıf tutturulmuş, killi, siltli kumtaşı; gri-kahverengi renkli kilitaşı, kumlu kilitaşı; sarı renkli siltli, kumlu çakıtaşı; gri renkli çakıtaşı birimleri ile temsil edilir.

Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yelpaze tortulları altlayan birimleri uyumsuz olarak örtmektedir. İnceleme alanında geniş bir alan kaplayan alüvyonlar litolojik baskınlığa göre kil, silt, kum, çakıl karışımları; silt; kum, silt, kil karışımları ve organik kil, siltten oluşmaktadır. Bu birimler birbirleriyle yanal ve düşey yönde geçişlidirler. Yelpaze tortulları, mücavir alanın güneyinde, graben kenar fayı ile yükselen temelden türemiş malzemenin vadi ağızlarından itibaren kuzey ve kuzeydoğuya doğru depolanması sonucu oluşmuştur. Bu tortullar yükselmiş temele en yakın olandan itibaren bloklu çakıl; kumlu çakıl ve kil, silt, kum, çakıl birimlerinden yapıldır.

Neotektonik dönemde gelişen Büyük Menderes grabeninin doğu ucunda bulunan inceleme alanında, bu grabenin kenar fayı (Babadağ fayı), mücavir alanın 1000-1500 m. güneyinden geçer. İnceleme alanında gözlenen, varlığı jeofizik verilerle desteklenen veya saptanan on adet düşük atımlı normal fay belirlenmiştir. Bu fayların doğrultuları graben fayları ile uyumlu olarak KB-GD’dir.

## 4. HİDROJEOLojİ

### 4. 1. Su Noktaları

Sondaj kuyuları : Denizli Belediyesi mücavir alanı ve yakın çevresindeki sondajlar iki grupta incelenmiştir.

Birinci grupta, Denizli Belediyesi tarafından 1985-1996 yılları arasında, içme ve kullanma suyu temini amacıyla açtırılan 43 adet bedelli kuyu yer alır. DSİ (23 adet), İller Bankası (6) ve Denizli’de faaliyet gösteren şirketlere (14) açtırılan bu kuyuların kotları 317-515, derinlikleri 60-210 m ve verimleri 4-60 l/s arasında değişmektedir. Sadece bir kuyu pozitif artezyen yapmaktadır. Diğerleri ya negatif artezyendir ya da serbest su tablasını keserler.

İkinci grup, resmi kurumların bahçelerinde bulunan, hayırseverler tarafından sokak ve cadde kenarlarında açtırılan veya şahısların arazilerinde ya da işyerlerinde (benzinlik gibi) açtırdıkları, büyük çoğunluğu pozitif artezyen olan kuyulardan oluşur. Sayısı 325 olan bu kuyular özellikle inceleme alanının orta kısmında yoğunlaşmıştır. Derinlikleri 6-150 m. arasında değişmekle birlikte genellikle sığ kuyulardır (30-40 m.). Pozitif artezyen kuyuların verimleri 0.011-1.625 l/s arasındadır. Çoğu kuyuda debi değerleri mevsimsel değişim gösterirken bazı derin kuyuların verimi sabittir. Bu kuyulardan yıllık toplam boşalım yaklaşık 1.800.000 m<sup>3</sup>tür. Mücavir

alanın dışındaki güney kesimde azımsanmayacak sayıda kuyu mevcuttur.

#### 4. 1. 1. Kaynaklar

Mücavir alanın orta kesiminde debileri 1 ve 5.55 l/s olan iki kaynak mevcuttur. Kaynakların oluşumu, varlığı jeofizik rezistivite ve sismik çalışmalarıyla ortaya çıkarılan KB-GD doğrultulu bir fayla ilişkilidir.

#### 4. 1. 2. Tulumbalar, Zemin Sondajları, Araştırma ve Gözlem Çukurları

İnceleme alanındaki 14'ü sulu toplam 18 tulumba, proje kapsamında açılan ve derinlikleri 5 ile 15 m. arasında değişen 155 adet zemin sondajından yeraltı

suyna ulaşan 65'i ile 100 adet araştırma çukurundan 25'i bu çalışmada değerlendirilmiştir.

#### 4. 2. Akifer Özellikleri

##### 4. 2. 1. Akiferler

Mücavir alan içindeki jeolojik ve yapısal durum, üst üste sıralanan akiferlerin oluşmasına ve dolayısıyla birleşik bir hidrolik sistemin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Tablo 1). Bu hidrolik sistem içindeki akiferler yersel olarak bağımsız olmakla birlikte, yanal ve düşey litolojik değişimler ve faylar aracılığıyla, genellikle birbirleriyle hidrolik ilişki içerisindedirler. Bu durum göz önüne alınarak birleşik hidrolik sistem aşağıdaki alt sistemlere ayrılabilir:

Tablo 1. İnceleme Alanındaki Hidrojeoloji Birimleri ve Akifer Özellikleri

Birim	Litoloji ve Geçirimsizlik Özelliği	Akifer Türü	Önem Derecesi
Alüvyon	Kil-silt-kum-çakıl; silt; kum-silt-kil; organik kil-silt (Ygç)	Serbest, kısmen basınçlı akifer	Birleşik hidrolik sistem
Alüvyon yelpazesi	Bloklu çakıl; kumlu çakıl; kil, silt, kum, çakıl (Gç-1)	Basınçlı, kısmen serbest akifer	
Neojen birimleri	Siltli kumlu çakıltaşı; çakıltaşı (Gç-2)	Basınçlı-mücavir alanın KD'sunda serbest akifer	
	Kiltaş, kumlu kiltaş (Gçz)	Akiklöd	
	İnce kiltaş ve silttaş katmanları içeren kumtaş (Gç-2)	Basınçlı akifer	

Basınçlı Akifer Formasyonu : Neojen istifin en altında yer alan ince kiltaş ve silttaş katmanları içeren kumtaş biriminde kumtaş oranı %75-90'dır. Ayrıca, yer yer çakıltaşı düzeyleri de içerirler. İstifin orta ve üst seviyelerindeki siltli, kumlu çakıltaşı ile çakıltaşı birimleri tane destekli, kısmen de aramada destekli dokudadırlar ve toplam kalınlıkları 90 m.nin üzerindedir. Her üç birimin de az tutturulmuş, boşluklu ve çatlaklı olmaları bu birimlerin yüksek gözeneklik ve ikincil geçirgenlik kazanmasını sağlamıştır (Şekil 1, Gç-1).

İstifin en alt ve orta seviyeleri arasında kiltaş, kumlu kiltaş, kumtaş ve ince çakıltaşı düzeylerinden oluşan akiklöd özelliğindeki birim yer alır (Şekil 1, Gçz). Yanal ve düşey yönde geçişli olan birimin kalınlığı sondaj verilerine göre en fazla 14 m'dir. Bu birim, alttaki kumtaşları için alt geçirimsiz tavanı oluşturur.

Yelpazenin alt düzeylerindeki iyi çimentolanmış çakıl taşları ile alüvyonun ince taneli malzemeleri, üstteki Neojen birimleri için üst geçirimsiz tavanı meydana getirir. Böylece Neojen birimleri yelpaze ve alüvyonla örtülü oldukları mücavir alanın güney, güneybatı ve orta kesimlerinde basınçlı akifer

formasyonu, yüzelelendikleri kuzeydoğu kesimlerde ise serbest akifer özelliği taşırlar. İnceleme alanının orta kısımlarında açılan ve yelpaze ya da alüvyonu delerek geçirimsiz Neojen birimlerine giren kuyular, sürekli akışlı olan artezyen kuyularıdır. Bu nedenle ikinci grup sondaj kuyularının açımı için bu bölge tercih edilmiştir.

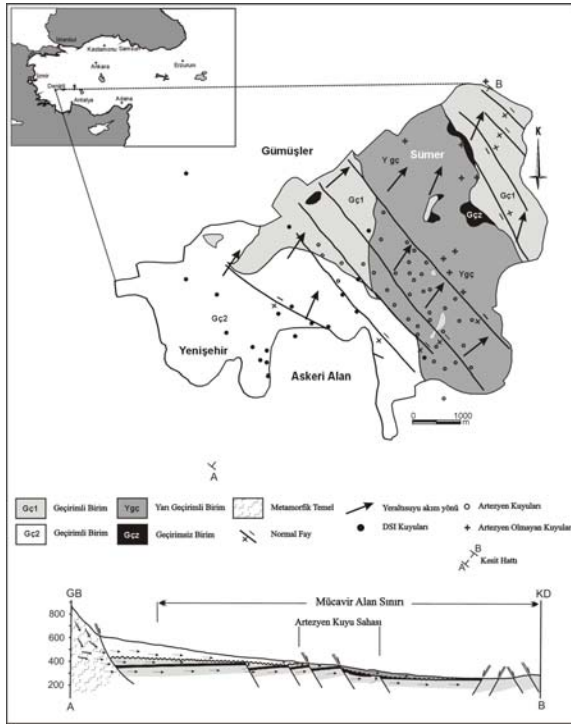
Alüvyon Yelpazesi : Alüvyon yelpazesi, güney kesimdeki graben ana fayının önünden başlayarak, kuzeyde, mücavir alanın orta kısımlarına kadar yayılmıştır. Yelpaze, enerjinin birden azaldığı güney kesimde bloklu çakıllar, orta kesimde kumlu çakıllar ve uç kısımlarını oluşturan kuzey kesimde ise kil, silt, kum ve çakıllarla temsil edilir. Ancak yelpazenin bloklu çakıl ve kumlu çakıllardan oluşan kesimlerinde sıklıkla çakıl, kum ve silt düzeylerine de rastlanır. Yelpazenin kalınlığı güneyden kuzeye doğru giderek azalmaktadır. Maksimum kalınlık 200 m'dir.

Yelpazenin çakıl ve bloklu çakıl düzeylerinin çimentolanma derecesi derinlere doğru giderek artmaktadır. Bazı alanlarda çok iyi çimentolanmış çakıl taşlarını kompresörle kazmak bile çok zordur. Bu çakıl taşları ile silt-kil düzeyleri yelpaze içindeki

ve Neojen birimleri üzerindeki geçirimsiz litolojileri oluşturur. Yalpaze içindeki az-orta pekleşmiş bloklu çakıl, çakıl, kumlu çakıl ve kum düzeyleri yüksek gözeneklik ve geçirgenliğe sahiptir ve yeraltı suyu potansiyeli fazladır (Şekil 1, Gç-1). Bu nedenle mücavir alandaki ana akiferi oluşturur. Alüvyon yelpazesinde açılan kuyuların bir kısmı sadece serbest su tablasını keser. Bazıları da birimin basınçlı seviyelerinden su alan negatif artezyen kuyularını oluşturur. Denizli Belediyesi'nin bedelli kuyularının çoğunun bu birim üzerinde açılması, kuyu verimlerinin ve zemin kotunun yüksek olması nedeniyledir.

#### 4. 2. 2. Alüvyon

Kil-silt-kum-çakıl; silt; kum-silt-kil; organik kil-siltten yapılıdır. Geçirimli ve geçirimsiz litolojiler yanal ve düşey yönde geçişlidir. Kalınlığı diğer akiferlere göre azdır (maksimum 25 m). Kısmen geçirimli kabul edilebilir (Şekil 1, Ygç).



Şekil 1. İnceleme alanının hidrojeoloji haritası ve kesiti

Alüvyonun akifer olma özelliği bu olumsuz özellikleri yanında taşıdığı yeraltı su miktarının az ve kirlenmeye açık olması nedeniyle kısıtlıdır.

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki akiferler, yağış ve horst alanındaki metamorfitlelerden olan yeraltı suyu akımı ile beslenmektedir. Neojen birimlerinin ve yelpazenin oluşturduğu akiferler fay,

kırık ve çatlaklar yoluyla birbiriyle ilişkilidir. Alüvyon başlıca, üst sınırı olan yelpazeden beslenmektedir.

#### 4. 2. 2. Yeraltı suyu seviyeleri

DSİ kuyularının açılma tarihlerinde yapılan pompaj testlerinde, kuyulardan düşüm değeri sabit kalıncaya kadar 8-60 l/s arasında değişen debilerde su çekilmiştir (Yayımlanmamış DSİ verileri). Kuyulardaki suyun ilk seviyelerine yükselmeleri için geçen süre, geçirimsizliğin yüksek olduğu yelpazenin orta kesimlerinde açılan kuyularda 0-8 saat arasında, yelpazenin ince taneli uç kısımlarını veya Neojen yaşlı birimlerini kateden kuyularda ise 16 saatin üzerindedir.

Denizli Belediyesi'nin bedelli sondajları ile bazı özel sondajlarda 2001 yılının Mayıs, Kasım ve Aralık aylarında üç kez seviye ölçümü yapılmıştır. Kasım ve Aralık aylarındaki su seviyeleri Mayıs ayına göre 1-3 m. düşmüştür. Mayıs ayı için kuyulardaki maksimum ve minimum su seviyeleri +0.50-81.8 m., su kotları 279-439 m. arasında değişmektedir. Artezyen kuyularda ise basınç değerleri 1.00-1.39 bar arasında ölçülmüştür. Son onbeş yılda mücavir alandaki yeraltı su seviyesi, bu dönemde açılan çok sayıda sondajdan aşırı çekim ve kuraklık nedeniyle 15 m. kadar düşmüştür.

İnceleme alanında tek bir akifer yerine birleşik bir hidrolik sistemin olması ve açılan kuyuların bir veya birden fazla akiferden su alması nedeniyle, su tablası veya basınç yüzeyi haritası yapmak sağlıklı değildir. Ancak genel yeraltı suyu akım yönünün güneybatıdan kuzeydoğuya doğru ve hidrolik eğimin yelpazede düşük ( $5.10^{-3}$ -0.02), Neojen birimlerinde ise yüksek (0.025-0.037) olduğu söylenebilir.

Alüvyon biriminde, geçirimsiz olan kil, silt, organik kil ve silt, geçirimli olan çakıllı-kumlu düzeyler boyunca güneybatıdan kuzeydoğuya doğru akan yeraltı suyu önünde yer yer geçirimsiz bariyerler oluşturarak yeraltı suyu akımını kısıtlamaktadır. Alüvyondaki yeraltı su seviyesi ortalama 1-2 m. civarındadır. Bu durum özellikle inşaatlarda temel kazısı sırasında, yeraltı suyunun ortamdaki uzaklaştırılması ve kazı duvarının duraylılığının korunmasını gerektirdiğinden ek zaman ve artan maliyete neden olmaktadır.

#### 4. 3. Su Kimyası

İnceleme alanındaki su noktalarının tümünün sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri ölçülmüş, seçilen 75 sondaj suyunun ise majör iyon analizleri yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçları yorumlanırken alanın jeolojisi, kuyu logları, filtre

yerleşimleri ve yeraltı suyu akım yönü değerli bilgiler vermiştir.

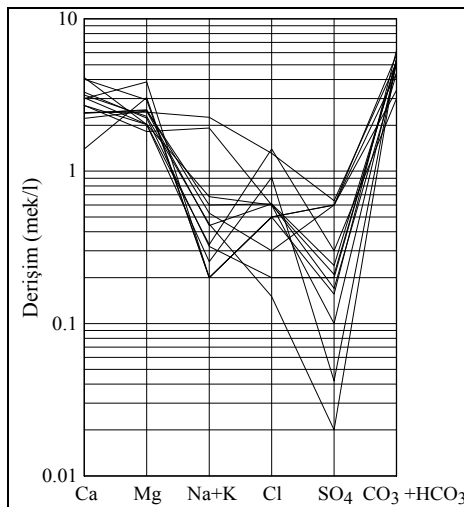
#### 4. 3. 1. Suların Kimyasal Özellikleri

Kimyasal bileşimlerine göre Denizli Belediyesi mücavir alanındaki yeraltı suları üç gruba ayrılmıştır (Tablo 2, Şekil 6):

##### 4. 3. 1. 1. Grup: DSİ Kuyularından Alınan Sular

DSİ kuyuları genellikle mücavir alanın güney ve güneybatısında, metamorfik temele yakın bölgelerde, metamorfik bileşenlerden oluşan iri malzemeli yelpaze üzerinde açılmıştır. Bu kuyulardan ya sadece alüvyon yelpazesinden ya da daha az olarak yelpaze ve Kolankaya formasyonundan gelen sular alınmaktadır. Yelpaze, üzerine düşen yağıştan, yağışlı dönemde akarsulardan süzülme ile ve metamorfiklerden (mermer, kuvarsit ve şist) yanal olarak beslenmektedir. Dolayısıyla, yelpaze suları üniform olmayıp değişik noktalarda kimyasal farklılık göstermektedir.

En düşük toplam iyon miktarı 420 mg/l ile bu gruptaki sularla görülür. Katyon dağılımı  $Ca > Mg > Na > K$  (kısmen  $Mg > Ca > Na > K$ ) ve anyon dağılımı  $HCO_3 > Cl > SO_4$  (daha az olarak  $HCO_3 > SO_4 > Cl$ ) şeklindedir (Şekil 2a). Genel olarak bu grup sular kalsiyum bikarbonat tipindedir. Sülfat miktarları yelpazeden gelen sularla düşük olmasına karşın, Neojen birimlerinden de su alan kuyularda yükselir. Klorür ve magnezyum miktarları değişkendir ve bazı kuyularda baskın durumdadır. Bu grup suların kimyasal yapılarındaki farklılıklar, özellikle şistlerden ve Neojen birimlerinden olan katkıya bağlı olarak gelişmiştir.

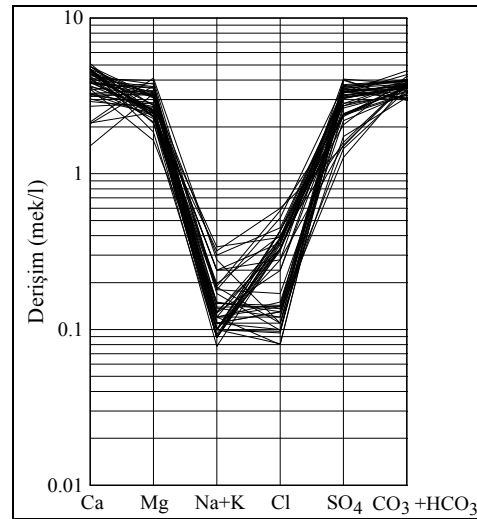


Şekil 2a. DSİ kuyularının iyon dağılımı

##### 4. 3. 3. 2. Grup: Artezyen Kuyulardan Gelen Sular

Bu gruptaki kuyular mücavir alanın orta bölümünde, yelpazenin ince taneli etek kısmında ve alüvyon üzerinde açılmıştır. Kuyu derinliklerine göre alüvyon, yelpaze ve Neojen birimleri veya sadece Neojen birimlerinden su alınmaktadır. Katyonlar suların % 83'ünde  $Ca > Mg > Na > K$  ve geri kalanında  $Mg > Ca > Na > K$  şeklinde sıralanır.  $Ca > Mg > Na > K$  dağılımı ilk gruptaki sulara göre daha baskındır. İlk grubun tersine bu grup sularla anyon dizilimi egemen olarak  $HCO_3 > SO_4 > Cl$  ve kısmen  $SO_4 > HCO_3 > Cl$  şeklindedir.

Bu grup sularla en çok dikkati çeken nokta,  $SO_4$  miktarlarının önemli oranda artmasıdır. Kolankaya formasyonunun bir gölle girişim yapan yelpaze deltası ortamında çökmesi, sık ortamda etkin buharlaşma sonucu oluşan  $CaSO_4$ ,  $MgSO_4$ ,  $CaCl_2$  ve  $MgCl_2$  gibi tuzların delta tortulları içindeki uygun alanlarda yer almasını sağlamıştır. Bu nedenle Neojen birimlerinden alınan sularla  $Ca$ ,  $Mg$  ve  $SO_4$  zenginleşmesi olağandır. Artezyen kuyu sularının kimyasal bileşimleri genellikle birbirine benzer. Ancak bazı kuyu sularının klorür miktarları diğerlerine göre daha fazladır (Şekil 2b). Klorür zenginleşmesi, yersel bir tuz çökelişi veya klorürün ince taneli malzemeler tarafından süzülmesi nedeniyle olabilir.



Şekil 2b. Pozitif artezyen kuyu sularının iyon dağılımı

##### 4. 3. 3. 3. Grup: Sülfatlı Sular

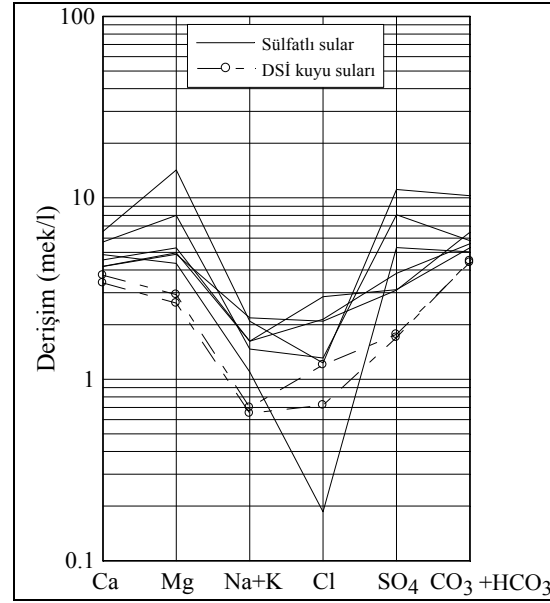
Bu bölge, mücavir alanın kuzey ve kuzeydoğu kesimini kapsar. İnceleme alanının orta kesiminde, alüvyon (Ygç) sınırının kapandığı ve Neojen birimlerine geçilen alanda, alüvyondan basınçlı akifer formasyonuna yeraltı suyu katkısı vardır. Bu

katkının etkisi akım yönünde hızla azalır ve alanın kuzeydoğusundaki sular tamamen Neojen istif içerisinde kazandıkları kimyasal yapıyı temsil ederler. Alüvyondan yeraltı suyu katkısının olduğu kesimde magnezyum ve kalsiyum bikarbonat tipinde olan sular, akım yönünde hemen magnezyum ve kalsiyum sülfatlı su özelliğini kazanırlar. Bu grup suların iyon derişimleri, sodyum, klorür ve özellikle sülfat miktarları yüksektir (Tablo 2, Şekil 2c).

Neojen birimlerindeki çatlak dolgularının yaygın olarak jipsten oluşması, birimdeki sülfat tuzlarının varlığını göstermektedir. Sulardaki sülfat zenginleşmesi, tuz oluşuklarının yeraltı suları tarafından yıkanması nedeniyledir. Sülfatlı suların kimyası, istifin ince taneli zeminlerinde klorürün absorblanması ve iyon değişimi gibi faktörlerden etkilenmiştir. Bu gruptaki suların bazılarının ateşle temasta yanması metan gazının varlığını göstermektedir. Bu durum, istifin çökeltme ortamında yer yer bataklık alanların bulunduğu işaret etmektedir.

Mücavir alanın batı ve orta kesiminde, Neojen birimleri üzerinde ve yakınında açılan DSİ kuyularının (2 adet) suları, toplam iyon ve sülfat

miktarlarının nispeten düşük ve kalsiyum bikarbonat tipinde olmalarına rağmen, diğer iyonların dağılımı yönüyle bu gruptaki sulara benzerler (Şekil 2c).



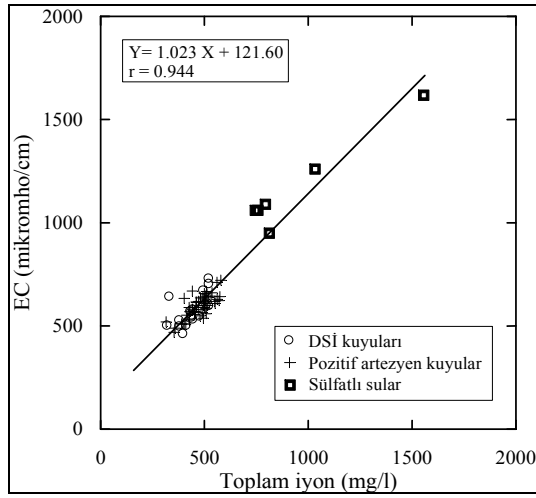
Şekil 2c. Sülfatlı suların ve Neojen birimlerinde açılan DSİ kuyu sularının iyon dağılımı

Tablo 2. İnceleme Alanındaki Suların Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve İyon Dağılımları

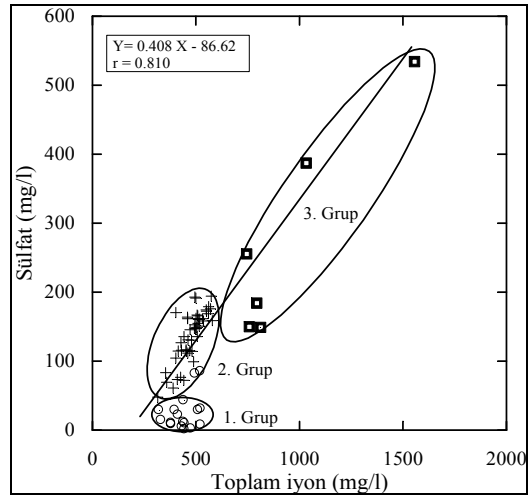
Akım yönü	→		
Gruplar	1. DSİ Kuyuları	2. Artezyen Kuyular	3. Sülfatlı Sular
Akifer	Yelpaze, Yelpaze-Neojen birimleri	Neojen birimleri, Alüvyon, Neojen birimleri-Yelpaze	Neojen birimleri
Sıcaklık (°C)	15.0-17.0 (16)	14.4-18.9 (16.9)	15.0-17.6 (16.3)
pH	7.13-8.00 (7.47)	6.16-8.11 (7.54)	6.87-7.47 (7.26)
EC (µmho/cm)	350-728 (558)	444-739 (613)	950-1618 (1180)
Na (mg/l)	3.5-27 (12)	1.7-6.9 (3.1)	25-48 (38)
K (mg/l)	0.4-2.3 (1)	0.6-1.8 (0.7)	0.7-3.2 (1.7)
Ca (mg/l)	28-82 (57)	30-102 (78)	84-131 (100)
Mg (mg/l)	6-46 (27)	20-49 (35)	52-171 (83.7)
HCO <sub>3</sub> (mg/l)	153-354 (274)	180-280 (226)	307-628 (391.7)
Cl (mg/l)	5-43 (23)	3-22 (10)	7-102 (58.3)
SO <sub>4</sub> (mg/l)	1-82 (26)	61-194 (142)	149-534 (277)
Top. iyon (mg/l)	253-524 (420)	353-579 (491)	745-1556 (949.3)
Katyon dağılımı	Ca>Mg>Na>K (%62) Mg>Ca>Na>K (%38)	Ca>Mg>Na>K (%83) Mg>Ca>Na>K (%17)	Ca>Mg>Na>K (%17) Mg>Ca>Na>K (%83)
Anyon dağılımı	HCO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> (%62) HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl (%38)	HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl (%87) SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl (%13)	HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >Cl (%50) SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >Cl (%50)
Fransız sertliği	16-35	23-40	46-104

İnceleme alanındaki suların toplam iyon miktarları ile EC değerleri arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Toplam iyon-EC grafiğinde DSİ kuyuları ile pozitif artezyen kuyuların kümelendiği, sülfatlı suların ise

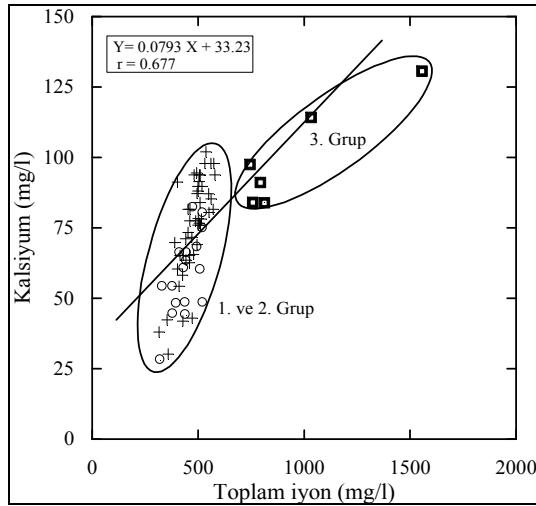
bu kümeden ayrıldığı ve akım yönünde giderek artan toplam iyon ve EC değerlerine sahip oldukları görülmektedir (Şekil 3a).



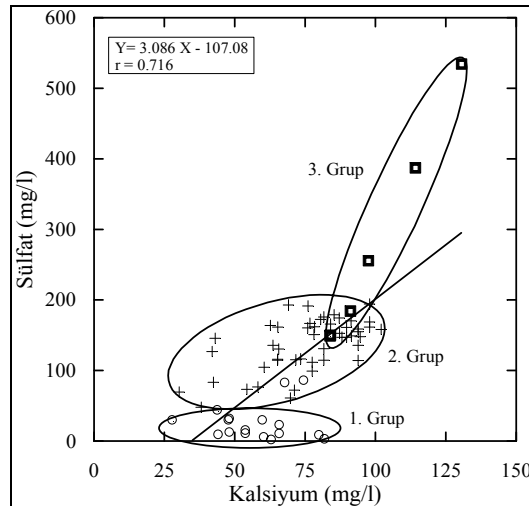
(a)



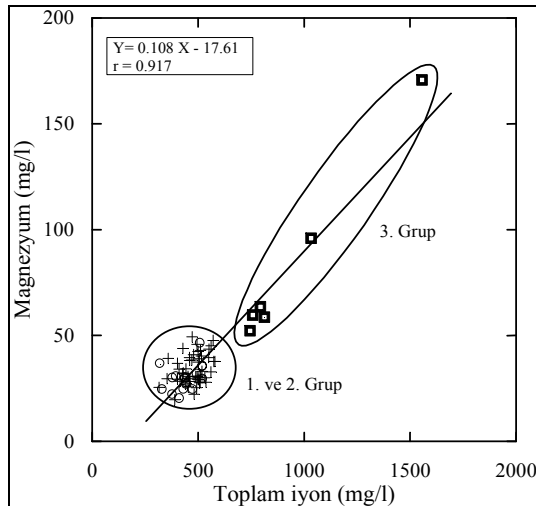
(d)



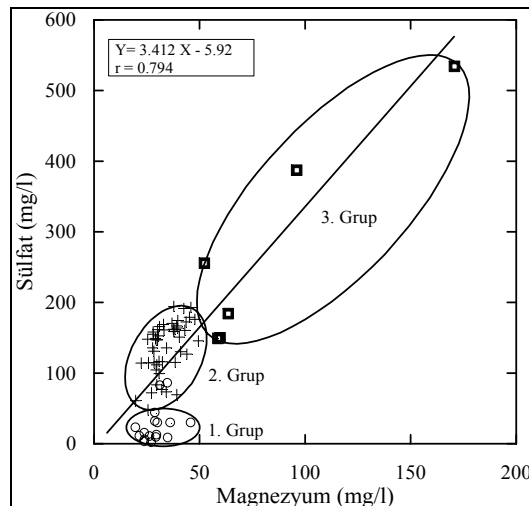
(b)



(e)



(c)



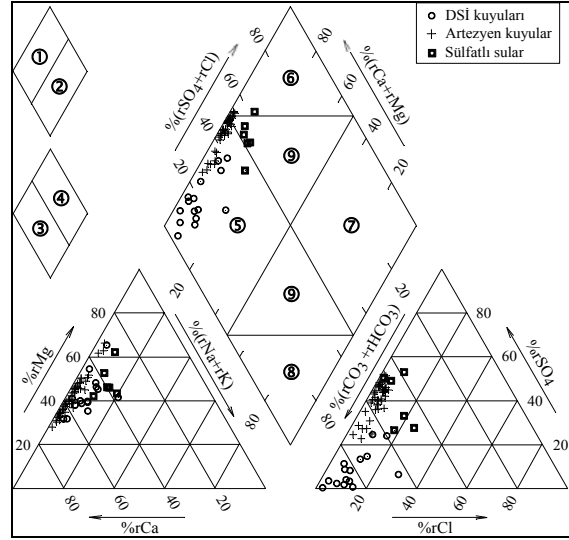
(f)

Şekil 3. Suların toplam iyon-EC, -kalsiyum, -magnezyum, -sülfat ve sülfat-kalsiyum, -magnezyum diyagramları

Toplam iyon-kalsiyum grafiğinde DSİ kuyu suları (1. Grup) genellikle daha düşük kalsiyum değerlerine sahip olmalarına karşın artezyen kuyu suları (2. Grup) ile birlikte değerlendirilmiştir. Bu iki grup suda toplam iyon miktarları içindeki kalsiyum değerleri akım yönünde hızla artarken, sülfatlı sularda (Grup 3) bu oran azalmakta, başka bir deyişle sülfatlı sular diğer majör iyonlarca da zenginleşmektedir (Şekil 3b). Benzer durum toplam iyon-sülfat grafiğinde de izlenmektedir (Şekil 3d). Bu grafikte gruplar akım yönünde kolaylıkla ayırt edilebilir. Suların diyagramda oluşturduğu eğimlere bakıldığında, toplam iyon/sülfat oranları akım yönünde ilk iki grup su için yüksek, sülfatlı sular için ise düşüktür. Toplam iyon-magnezyum grafiğinde (Şekil 3c) ise suların toplam iyon/Mg oranlarının hemen hemen sabit olduğu görülmektedir. Bu durum, köken kayacı metamorfitletler olan Neojen birimlerinden ve bu birimler içindeki tuz oluşuklarından akım yönünde yeraltı sularına yüksek oranda magnezyum katkısı olduğunu göstermektedir.

Sulardaki sülfat iyonlarının kalsiyum ve magnezyum iyonları ile olan ilişkisi Şekil 3(e) ve 3(f)'de verilmiştir. 1. grup sularda sülfat değerleri düşük ve birbirine yakın iken kalsiyum miktarları değişkendir. 2. grup sularda ise akım yönünde her iki iyon miktarı da artar. Ancak kalsiyum artışı sülfata göre daha fazladır. Bunun tersine olarak sülfatlı sularda doğal olarak kalsiyum ve sülfat miktarları hızla artarken, sülfatın artış oranı kalsiyumunkinden yüksektir. Sülfat-magnezyum grafiğinde 1. ve 2. grup suların sülfat miktarlarının akım yönünde belirgin olarak arttığı, ancak bu artışın magnezyumda sınırlı olduğu görülmektedir (Şekil 3f). 3. grup sularda sülfatla birlikte magnezyum miktarı da önemli oranda artmaktadır.

Piper diyagramında 1. ve 2. grup suların ayırımının özellikle anyonlarda daha net olduğu gözlenmektedir. 3. grup sular ise diğerlerinden daha yüksek sülfat, klorür ve sodyum yüzdeleriyle ayrılır (Şekil 4). Bu diyagrama göre suların tamamında alkali toprak elementler (Ca+Mg) alkali elementlerden (Na+K) fazladır. DSİ kuyu sularının tümü ve artezyen sularının büyük çoğunluğu zayıf asit kökleri ( $\text{CO}_3+\text{HCO}_3$ ) güçlü asit köklerinden ( $\text{Cl}+\text{SO}_4$ ) yüksek ve karbonat sertliği % 50'den fazla olan sulardır. Bir kısım artezyen suyu ile 3. grup suların tamamına yakınında güçlü asit kökleri egemendir. Sülfatlı sular genellikle iyonların hiçbiri % 50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girer (Şekil 4'de 9. alan). Mücavir alanın kuzeydoğu ucunda bulunan kuyu suyu ise karbonat olmayan sertliği %50'den fazla olan ve  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$  ve  $\text{MgCl}_2$ 'lü suların yer aldığı 6'nolu alana düşer (Şekil 4).



Şekil 4. İnceleme alanı sularının Piper diyagramındaki dağılımı

Mücavir alanın kuzeydoğu bölümünde kalan sülfatlı suların bir kısmı hafif tuzlu sular, diğer sular ise toplam iyon miktarı 1000 mg/l'yi geçmeyen tatlı sular sınıfına girer. Schoeller sınıflamasına göre, suların tamamına yakını olağan klorürlü (<15 mek/l), olağan sülfatlı (<6 mek/l) ve olağan karbonatlı ( $2<\text{CO}_3+\text{HCO}_3<7$  mek/l) sulardır. Sülfatlı suların bazıları oligosülfatlı ( $6<\text{SO}_4<24$  mek/l) ve hiperkarbonatlı (>7 mek/l) sular sınıfına girer (Şahinci, 1991).

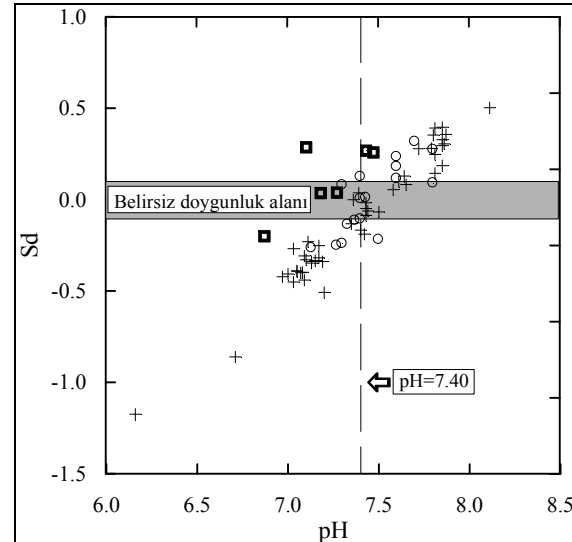
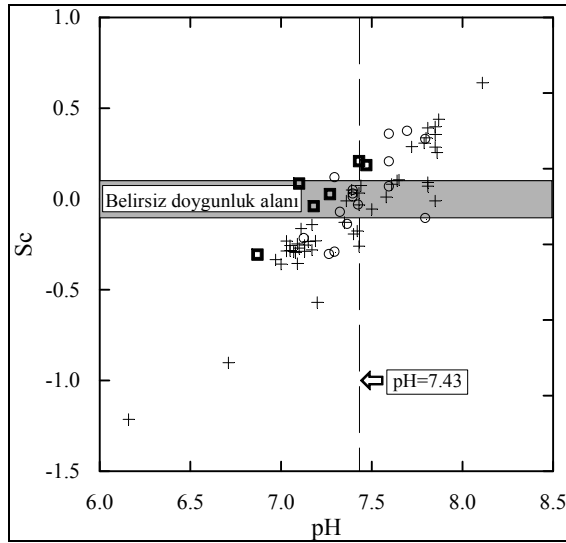
#### 4. 3. 2. Suların Kullanılabilme Özellikleri

Denizli il merkezi içme suyu ihtiyacını 28 adet sondaj (toplam debi 400 l/s) ile inceleme alanı yakın civarındaki Gökpınar (~1000 l/s) ve Derindere (~250 l/s) karstik kaynaklarından sağlamaktadır. Bazı konut ve siteler de arazilerinde açtırdıkları sondajlardan aldıkları suyu kullanmaktadır. Denizli halkı arasında, inceleme alanının orta kesiminde çok yaygın olan (325 adet) artezyenlerin suyunun şebeke suyundan çok daha kaliteli ve içiminin güzel olduğu inancı hakimdir. Bu inanç, şebeke suyunda klorlamadan kaynaklanan tat nedeniyle olabilir. Ancak, artezyenlerin tümünü içeren EC ölçümlerinde ve bazılarında yapılan yapısal kimyasal analizlerde, artezyen suları kimyasının şebeke suyundan farklı olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, özellikle alüvyonda açılan bazı sığ sondajlardan alınan suların Denizli Hıfzısıhha İl Müdürlüğü tarafından yapılan bakteriyolojik analizlerinde 240 T. Koliform/100 cc'ye ulaşan değerler elde edilmiştir. Periyodik analizlerde, bu suların bazen temiz olduğu, dönem dönem de kirlendiği saptanmıştır. Büyük bir olasılıkla bu sığ kuyular, kanalizasyon sisteminden olabilecek sızmaların etkisi altındadır. Bunun dışında 3. grup suların tümü



kimyasal olarak Türk Standardı 266'ya göre içilemez özelliktedir (Anon., 1997).

Denizli'de içme suyu iletim borularında sıkça gözlenen bir sorun kabuklaşmadır. Zaman içinde oluşan kabuklaşma, boru kesitini daraltmakta ve basınç problemlerine yol açmaktadır. Kimyasal analizlerden yararlanarak hesaplanan suların kalsit (Sc) ve dolomit doyma indislerinin (Sd) pH değerleri olan ilişkisi incelendiğinde, diğer bazı faktörlere bağlı olsa da, inceleme alanı suları için pH değeri 7.40'ın üzerinde olan suların kabuklaşmaya neden olacağı söylenebilir (Şekil 5).

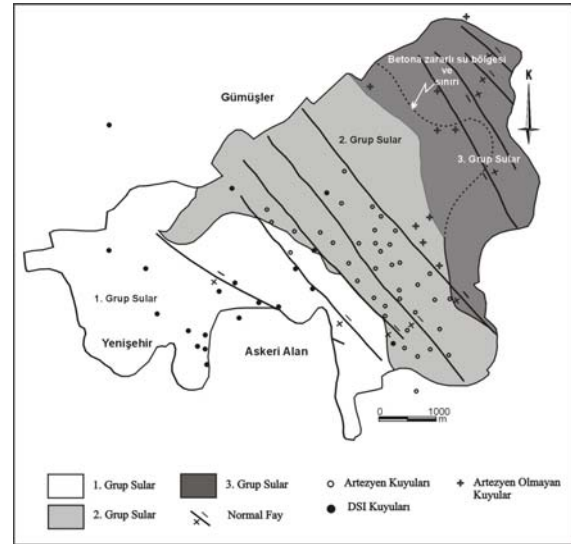


Şekil 5. Suların kalsit ve dolomit doyma indislerinin pH değerleri ile olan ilişkisi

Denizli şehir merkezinin bazı kesimlerinde yeraltı su seviyesi yüksektir (~2 m). Bu nedenle, yeraltı suyu kimyası, bu suların gerek bina temellerine ve gerekse de beton karışım suyu olarak kullanılmalrı

halinde betona verebileceği zararlı etkilerin bilinmesi açısından çok önemlidir. (Anon., 1982)'de verilen sınır değerlere göre doğadaki suların beton üzerine zararlı bir etki yapmaması için pH değeri 6.5'dan az, magnezyum değeri 100 mg/l ve sülfat değeri 200 mg/l'den fazla olmamalıdır. pH'nın 6.5'dan küçük olduğu durumlarda, suda çözülmüş halde bulunan CO<sub>2</sub>, önce karbonik asit ve daha sonra kalsiyum bikarbonatı oluşturarak betonun ayrışmasına neden olur. Beton üretiminde kullanılan sülfatlı ve magnezyumlu sular çimento ile reaksiyona girdiklerinde hacim artışı ve betonda patlamalar meydana gelir. Zararlı etkinlik derecesi suyun basınç ve sıcaklığının artması ve/veya çalkantılı akması ile artar.

Mücavir alanın güney ve orta kesimlerinde (1. ve 2. grup sular) yeraltı sularının beton üzerine (bina temeli ile temas halindeyken veya beton karışım suyu olarak kullanıldığında) zararlı bir etkisi yoktur. Sadece pH'ı 6.16 olan bir artezyenin beton üzerine zayıf bir etkinlik derecesi vardır. Bu su da debisinin ihmal edilecek kadar az olması nedeniyle beton üretiminde kullanılamaz. Ancak 3. grup sular (Mg: 52-171mg/l, SO<sub>4</sub>: 149-534 mg/l, Tablo 2), inceleme alanının kuzeydoğu bölümünde beton üzerine zayıf etkinlik derecesine sahiptir (Şekil 6). Bu nedenle, bu kesimdeki sular kimyasal analizleri yapılmadan beton üretiminde kullanılmamalıdır.



Şekil 6. Kimyasal özelliklerine göre yeraltı suyu grupları ve betona uygunluk haritası

İnceleme alanının kuzeydoğu bölümünde ayrılmış kıltaşı ve marnlar yaygın ve yersel olarak yeraltı su seviyesi 7-8 m. olduğu için, derin temeller ve kapilerite göz önüne alınarak bina temellerini yeraltı suyundan tecrit etmek gerekir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Denizli Belediyesi mücavir alanında birleşik bir hidrolik sistem mevcuttur. Bu sistemin en altında Neojen yaşlı basınçlı akifer formasyonu yer alır. Alttan üste, kıltaşı ve silttaşı katmanları içeren kumtaşı (basınçlı akifer), kıltaşı-kumlu kıltaşı (akiklud) ve siltli kumlu çakıltaşı-çakıltaşından (basınçlı, mücavir alanın kuzeydoğusunda serbest) oluşan formasyon, inceleme alanının güney ve orta kesimlerinde, Kuvaterner yaşlı yelpazenin alt düzeylerindeki iyi çimentolanmış çakıltaşları ile örtülüdür. Bu formasyondan pozitif ve negatif artezyen kuyularla önemli miktarda yeraltı suyu çekilmektedir. Pozitif artezyen kuyuların toplam verimi 63 l/s.dir.

Pompaj kuyularından çekilen su miktarı ise oldukça fazladır. Yelpazenin uç kısmını oluşturan ince taneli malzemenin basınçlı akifer formasyonunu örttüğü inceleme alanının orta kesimlerinde, fayların da katkısıyla bir artezyen bölgesi oluşmuştur. Üstteki akiferi alüvyon yelpazesi oluşturur. Yüksek gözeneklik ve geçirgenliği, 200 m'yi bulan kalınlığı ile ana akifer niteliğindedir. Birim içindeki kalın killi düzeyler ve iyi çimentolanmış çakıltaşı seviyeleri, akiferin kısmen basınçlı, kısmen de serbest tipte olmasına neden olmuştur. Denizli Belediyesi'nin içme ve kullanma suyu amaçlı bedelli kuyularının çoğu yelpaze üzerinde açılmıştır. Bu kuyuların toplam debisi 400 l/s civarındadır. Alüvyonun akifer olma niteliği, kalınlığının ve dolayısıyla yeraltı suyu miktarının az ve kirlenmeye açık olması nedeniyle kısıtlıdır.

Tüm akiferler, yersel geçirimli düzeyler, kırık ve faylar aracılığıyla birbiriyle hidrolik bağlantıdadır ve bu nedenle inceleme alanında akiferler yerine birleşik bir hidrolik sistemden söz etmek daha uygundur. Ana beslenme inceleme alanının yakın güneyindeki horst alanını oluşturan metamorfitten yeraltı suyu akımı ve doğrudan yağışla sağlanmaktadır. Yeraltı suyu akımı güney ve güneybatıdan kuzeydoğuya doğrudur. Son onbeş yılda açılan ve çoğunluğu ruhsatsız olan çok sayıdaki sondaj kuyusu, aşırı çekim ve kuraklık nedeniyle yeraltı su seviyeleri 15 m kadar düşmüştür. Seviye düşümünün gelecekte yaratacağı sorunları önlemek için ruhsatsız sondaj açımının ve aşırı yeraltı suyu çekiminin önüne geçilmesi zorunludur. Ayrıca Denizli Belediyesi'nin su şebeke sistemindeki dağıtım borularından olabilecek

kaçakları minimuma indirmesi ile yeraltı suyu çekimi azaltılabilecektir.

Alüvyon akifer ihmal edildiğinde, mücavir alanda yeraltı suyu akımı yönünde güneyde yelpazeden, orta kesimde yelpaze ile Neojen birimlerinden ve kuzeydoğuda sadece Neojen birimlerinden gelen sular, buna uygun şekilde, kimyasal olarak üç gruba ayrılır. Akım yönünde bu gruplar kalsiyum-magnezyum bikarbonatlı, kalsiyum bikarbonatlı, kalsiyum sülfatlı ve magnezyum bikarbonatlı, magnezyum sülfatlı su tiplerinden oluşmaktadır. Suların Na, K ve HCO<sub>3</sub> miktarları değişkendir ancak özellikle toplam iyon, Ca, Mg, Cl ve SO<sub>4</sub> miktarları akım yönünde artar. Bu artışın nedeni Neojen birimlerindeki tuz oluşuklarının yıkanması nedeniyle dir.

Artezyen alanındaki sığ kuyu suları, kanalizasyon sisteminden sızmalar nedeniyle bakteriyolojik açıdan kirli olabilir. Bu nedenle dönem dönem de olsa bakteriyolojik kirlenmeye maruz kalan kuyular Hıfzısıhha Denizli İl Müdürlüğü tarafından belirlenmeli ve bu kuyular kapatılmalıdır.

İnceleme alanının kuzeydoğu bölümündeki sular içme ve beton eldesinde kullanılamaz özelliktedir.

## 6. KAYNAKLAR

Anonim, 1982. Türk Standardı 3440. Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları.

Anonim, 1997. Türk Standardı 266. Sular-İçme ve Kullanma Suları.

Anonim, 2002. PAÜ., Denizli Belediyesi Yerleşim Alanlarının Jeolojik, Jeoteknik ve Hidrojeolojik Özellikleri, 762 s., Denizli.

Şahinci, A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası. 548 s. Reform Matbaası, İzmir.

Şimşek, Ş. 1984. Denizli-Sarayköy-Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları. İ. Ü. Yer Bil. Fak. Yayın Organı, 3, 145-162.

Taner, G. 2001. "Denizli Bölgesi Neojen'ine Ait Katların Stratigrafik Konumlarında Yeni Düzenleme". **54. Türkiye Jeoloji Kurultayı**, 7-10 Mayıs 2001, Ankara, Bildiriler Kitabı, 54-79.