

Makalenin Geliş Tarihi : 22.12.2006  
Makalenin Kabul Tarihi : 31.01.2007

## **YENİŞEHİR VE CÜDEYDE (REYHANLI – HATAY) KARST KAYNAKLARININ BOŞALIM HİDRODİNAMİĞİ VE HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

Galip YÜCE

**ÖZET :** Türkiye-Suriye sınırında yer alan Reyhanlı Ovası, sınır aşan karstik akiferleri ve bu akiferlerden boşalan karstik kaynakları ile Hatay ilinin önemli yeraltı suyu potansiyeline sahip ovalarından birisidir. Bu karstik akifer sisteminde yeraltı suyu boşalımı Suriye'den Türkiye'ye doğru olmaktadır. Bu nedenle özellikle sınır bölgelerimizde bu tür kaynakların kapasitelerinin belirlenmesi, yeraltı suyu kaynaklarımızın uygun değerinde kullanımı stratejik önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Reyhanlı ovasında yer alan Yenişehir ve Cüdeyde karst kaynaklarının hidrolik özelliklerini belirlemek, kaynakların geliştirme olanaklarını araştırarak sahadaki akifer özelliklerini, yeraltı suyu potansiyelini ve kalitesini ortaya koymaktır. Ayrıca, işletmede olan sulama kooperatifinin gereksinimi olan eksik suyun yeraltı suyundan sağlanması olanağı da araştırılmıştır. Çalışma sonucunda Miyosen yaşlı karstik Üst Akiferden boşalan Cüdeyde kaynağının ortalama yıllık baz akım boşalımı  $5.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ , debi değişim katsayısı 0.53 (değişken kaynak) olarak hesaplanmış ve dinamik rezervinin % 47'sini boşaltmaktadır. Eosen yaşlı karstik Alt Akiferden boşalan Yenişehir kaynağının ise yıllık baz akım boşalımı  $22.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ , debi değişim katsayısı 0.28 (yarı değişken kaynak) olup, dinamik rezervinin %71'ini boşaltmaktadır. Her iki karst kaynağının da kaynak geliştirmesine elverişli olduğu belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER :** Reyhanlı, karst, kaynak azalım eğrisi, baz akım analizi, hidrojeokimya.

### **DISCHARGE HYDRODYNAMICS OF YENISEHIR AND CUDEYDE (REYHANLI – HATAY) KARST SPRINGS AND HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES**

**ABSTRACT :** Reyhanli Plain, located along the borderline between Turkey and Syria, has a significant groundwater potential in the Hatay region from a large karstic aquifer that extends into Syria. This karstic aquifer can be named as transnational aquifer system. Fortunately, groundwater flow occurs from Syria to Turkey in this karstic system. Thus, determination of capacities of aquifer and optimized use of groundwater potential has a strategic importance.

The aim of this study is to determine the hydraulic properties of the Yenişehir and Cüdeyde karstic aquifers located in Reyhanlı plain and to investigate the development possibilities of the reservoirs by determining the aquifer conditions, ground water potentials, and water quality of the area. Providing a part of irrigation water for the area from groundwater was also investigated in the study. The average annual base flow of the Cudeyde spring of Miocene upper karstic aquifer was calculated to be  $5.6 \times 10^6 \text{ m}^3$  and yield variation coefficient of base flow was found to be 0.53 (variable spring), and the discharge from its dynamic reserve was calculated to be 47%. The average annual base flow that discharges from the Yenisehir spring of Eocene aged lower karstic aquifer was calculated to be  $22.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ , and yield variation coefficient of base flow was found to be 0.28 (semi-variable spring), and the discharge from its dynamic reserve was calculated to be 71%. Thus, both karst springs can be considered for the groundwater development.

**KEYWORDS :** Reyhanlı, karst, recession curve, base flow analysis, hydrogeochemistry.

## ***I. GİRİŞ***

İnceleme alanı Akdeniz Bölgesinde Hatay ili sınırları içerisinde, 36°30'00" ve 36°37'30" doğu boylamları ile 36°13'00" ve 36°17'00" kuzey enlemleri arasında, Amik ovasının güneyinde yer almaktadır. Ova alanı 120 km<sup>2</sup> olup, drenaj alanı 320 km<sup>2</sup> 'dir.

Sahanın kuzeydoğusunda bulunan Cüdeyde kaynağının boşalım kotu 130 m, güneyinde yer alan Yenişehir kaynağının boşalım kotu 195 metre olup, kaynakların beslenme alanı daha güneye, Suriye içlerine kadar uzanmaktadır. Her iki kaynağın boşalımı kırık zonu boyunca gerçekleşmekte, kaynaklar boşalım alanlarında göl oluşturmaktadır. Yenişehir kaynağı yakınında yer alan Reyhanlı ilçesi (yaklaşık 50 000 nüfuslu) için en önemli içme, kullanma ve sulama suyu kaynağıdır.

İnceleme alanı yakın çevresinde yapılan önceki çalışmalar arasında, Reyhanlı'nın doğusunda yer alan Cilvegözü sınır kapısına yakın sağlık tesislerinin içme suyu ihtiyacını karşılamak üzere münferit bir hidrojeolojik etüt çalışması [1], Reyhanlı, Yenişehir ve Bakmita kooperatifi sahası yeraltı suyu etüdü [2], Reyhanlı DÜÇ arazilerindeki Eosen yaşlı kireçtaşındaki yeraltı suyu potansiyeli araştırması [3], Hatay-Reyhanlı kaynakları jeofizik rezistivite etüt çalışması [4] ve Asi Havzası hidrojeolojik etüt çalışması kapsamında Reyhanlı yöresinin hidrojeolojik etüdü [5] sayılabilir. Ayrıca bölgedeki akiferlerin hidrojeolojik özelliklerini ortaya koyan yüksek lisans tez çalışması [6] ile Yenişehir ve Cüdeyde kaynaklarının yeraltı suyu potansiyelinin incelenmesi [7] ve Yenişehir gölünün kirliliği ve kirletici faktörlerin araştırılması [8] bölgede yakın zamanda gerçekleştirilen çalışmaları oluşturmaktadır.

Bu çalışma ile yeraltı suyunun optimum kullanımına yönelik olarak, anılan karst kaynaklarının hidrolojik ve hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve kaynak geliştirilmesi yönünden incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, kaynakların boşalım değerleri ile Reyhanlı yağış istasyonuna (DMİ) ait yağış değerleri denştirilmiş, kaynak boşalımları incelenerek boşalım katsayısı, kaynağın tipi, beslenme şekli, yıllık baz akım miktarları, aktif rezervuar hacimleri belirlenmiştir.

## **II. YÖNTEM**

Hidrolojik değerlendirmelerde 120 m kotundaki Reyhanlı DMİ yağış istasyonunun verilerinden faydalanılmış, bu istasyonun eksik verileri 200 m kotundaki Kırıkhan DMİ yağış istasyonunun verileri kullanılarak korelasyon ile tamamlanmıştır. Her iki istasyonun da 1950-1988 yılları arası aylık bazda yağış değerleri mevcut olmakla birlikte eksik veriler bulunmaktadır. Reyhanlı DMİ ve Kırıkhan DMİ yağış istasyonlarına ait 1950-1988 yılları arasındaki (eksik verili yıllar hariç olmak kaydıyla) yıllık yağış değerleri analiz edilmiş, değerlendirme ve korelasyonda sahayı karakterize ettiği düşünülen Reyhanlı yağış istasyonunun yağış değerleri kullanılmıştır. Yağış değerlerinin yıllara göre dağılımı incelenerek ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafikleri çizilmiş, eklenik yağışlı ve kurak devreler belirlenmiştir.

Kaynakların baz akım analizleri yapılarak, kaynak akımının değişimleri, ortalama akım değerleri belirlenmiş ve yağış-kaynak akımı korelasyonları yapılmıştır.

İstasyonlar 1992 yılından itibaren çalıştırılmadığından, 1950-1988 yılları arası (eksik verilerin olduğu yıllar hariç) Reyhanlı DMİ yıllık ortalama yağış değeri (n=21 yıl) 535.2 mm, ortalama yıllık sıcaklık 18.8°C dir. Kırıkhan DMİ verilerine göre (n=21 yıl) yıllık ortalama yağış değeri 571.5 mm, ortalama yıllık sıcaklık 19°C'dir.

Çalışma alanının jeolojik haritası, daha önce yapılan 1:100 000 ölçekli harita [5] dikkate alınarak ve arazi çalışmaları ile revize edilerek hazırlanmıştır. Çalışma alanının güney kesiminde Bakmita Sulama Kooperatifi sahasına ilave sulama suyu sağlamak amacıyla 1997 yılında yeni jeofizik rezistivite çalışmaları yapılarak sahada akifer özelliği gösteren Eosen yaşlı karstik kireçtaşının derinliği ve tektonik yapı değişkenliği araştırılmıştır. Çalışma alanında dört dönem kaynaklardan ve iki dönem de sondaj kuyularından olmak üzere toplam 29 adet su örneği alınarak analizleri yapılmıştır. Örnekleme lokasyonları farklı akiferleri temsil edecek şekilde seçilmiştir. Su örneklerinin kimyasal analizleri DSİ Adana Bölge Müdürlüğü Su Kimyası Laboratuvarlarında yapılmıştır, Tritiyum analizleri ise DSİ-TAKK Dairesi İzotop Laboratuvarlarında yapılmış olup, hata payı  $\pm 0.8$  TU tir (2 sigma).

### ***III. ÇALIŞMA SAHASININ GENEL JEOLJİSİ***

İnceleme alanı ve çevresinde Senozoyik yaşlı birimler (Şekil 1) altta Eosen yaşlı karstik özellikli kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı ardalanması ile başlamakta ve marn ile ara tabakalı olarak devam etmektedir [5]. Eosen kireçtaşı sahanın güneyinde, doğu-batı doğrultusunda bir şerit halinde uzanan yükseltileri oluşturmaktadır. Eosen yaşlı marn sahada yüzlek vermemekte ise de sahanın doğusundaki Kumsat mevkiinde açılan sondaj kuyularında marnlı seviyeler kesilmiştir.

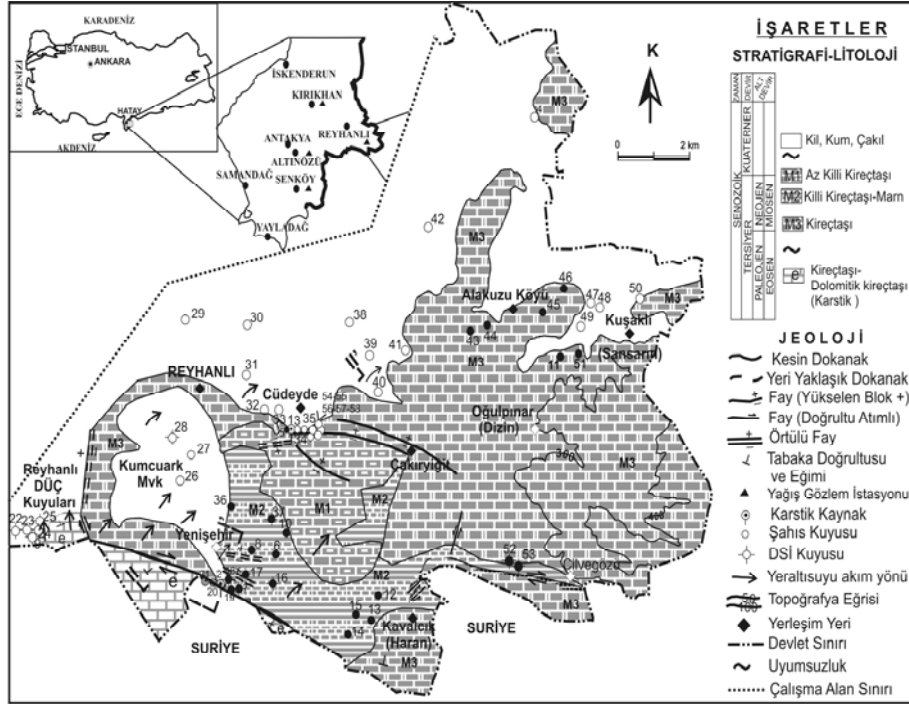
Miyosen çökelleri kireçtaşı, killi kireçtaşı-marn ve konglomera litolojileri ile Eosen yaşlı kireçtaşı üzerine gelmektedir. Sahanın doğu, batı ve kuzeyinde yayılım gösteren Miyosen birimleri kireçtaşı, killi kireçtaşı-marn ve az killi kireçtaşı özelliğindedir.

Doğuya Cilvegözü'ne doğru marna geçiş gösteren birim, tebeşirimsi özelliktedir. Konglomera birimi sahada yüzeylenmemesine karşın, batıda Kumcuark mevkiinde açılan kuyularda konglomera kesilmiştir.

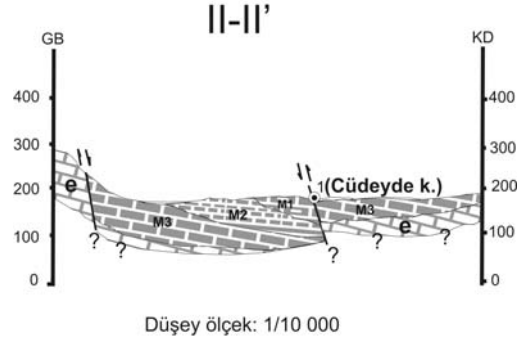
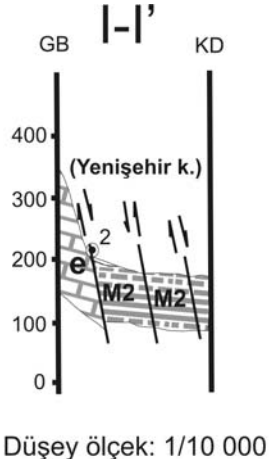
Kuvaterner yaşlı birimler alüvyon ile temsil edilmekte olup, çakıllı, kumlu ve killi seviyelerin ardalanması şeklindedir.

İnceleme alanı Eosen denizinden sonra Miyosen transgresyonunun etkisi altında, Miyosen çökelleri ile örtülmüştür [5]. Reyhanlı'nın güneyinde, çoğunluğu ülke sınırları dışında uzanan BKB-DGD genel gidişli faylar, genel olarak Reyhanlı fayı olarak adlandırılmıştır [9]. Türkiye içindeki uzunluğu 8 km olup, toplam uzunluğu 17 km uzunlukta ve K68B genel gidişlidir. Fay, sağ yönlü olup [9], Reyhanlı güneyinde, Yenişehir yakınlarında, Yenişehir fayı olarak adlandırılan fay segmenti, Alt Miyosen yaşlı birimler ile Kuvaterner yaşlı alüvyonların arasında dokanak oluşturmakta ve Alt Miyosen yaşlı birimleri kesmektedir [9]. Güneyde yer alan Eosen kireçtaşı ile Miyosen kireçtaşını karşı karşıya getiren eğim atımlı fay zonu boyunca Yenişehir kaynağı boşalmaktadır. Yüzeyde fayın atımına ilişkin arazi verisi olmamakla birlikte DSİ ve TPAO sondaj kuyularından elde edilen bilgiler ışığında fay üzerindeki toplam atım miktarının yaklaşık 500 m civarında olduğu tahmin edilmektedir. Fayın eğimi kuzeydoğuya doğrudur. Diğer önemli bir fay da Cüdeyde kaynaklar zonunu oluşturan doğu-batı doğrultulu fay olup, kaynaklar fayı dik kesen kuzey-güney doğrultulu tansiyon kırıkları boyunca boşalmaktadır (Şekil 2a ve Şekil 2b). Miyosen kireçtaşında çözünme boşlukları, karen ve mağara yapıları yaygın olarak gözlenmektedir.

(Şekil 3). Miyosen yaşlı kireçtaşı yatay veya yataya yakın tabakalı olup, kırıklar boyunca ikincil eğim kazanmıştır. Suriye ile sınır oluşturan Miyosen ve Eosen kireçtaşı tabakalarının eğim yönü yeraltı suyu akım yönü ile uyumlu olup, kaynak boşalımını Türkiye'ye doğrudur. Örneğin Eosen yaşlı birim Reyhanlı Devlet Üretim Çiftliği civarındaki tabaka doğrultu ve eğimi K60D/20KB şeklinde, Türkiye'ye doğrudur. Yine bu kesimde Eosen kireçtaşı ile Miyosen kireçtaşını karşı karşıya getiren KB-GD doğrultulu, doğrultu atımlı bir diğer fay mevcuttur.



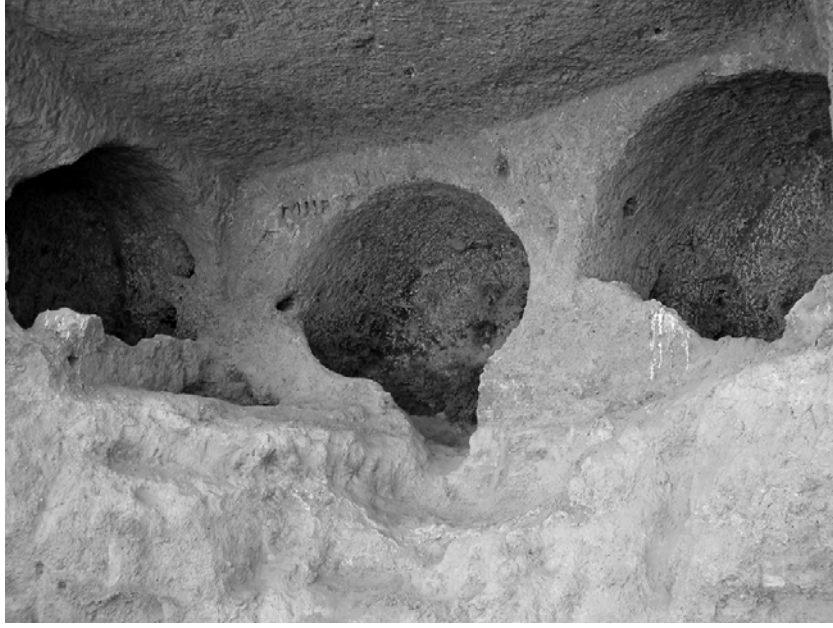
Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru ve hidrojeoloji haritası.



**Şekil 2a.** I-I' jeolojik kesiti.

**Şekil 2b.** II-II' jeolojik kesiti.

Yenişehir kaynağı civarında (güneyinde) yüzlek veren Eosen yaşlı kireçtaşı-dolomitik kireçtaşının 300 m kadar doğusunda 1997 yılında açılan 17 nolu DSİ araştırma sondaj kuyusunda Eosen kireçtaşı 510 metrede kesilmiş olup, bu derinlik düşen bloktaki Miyosen birimlerinin kalınlığını vermektedir. Fay breşinin görünür kalınlığı 100 m. civarında olup, geçirimli olduğundan hidrojeolojik açıdan pozitif sınır koşulu oluşturmaktadır.



**Şekil 3.** Cüdeyde kaynağının civarında görülen Miyosen kireçtaşındaki mağaralar. (<http://www.reyhanli.bel.tr/index4.html> adresli Reyhanlı Belediyesi'nin resmi web sayfasından alınmıştır).

#### ***IV. HİDROJEOLOJİK VE HİDROLOJİK ÖZELLİKLER***

Çalışma alanındaki akifer iki bölüme ayrılmaktadır. Bu çalışmada, Miyosen yaşlı karstik kireçtaşı akiferi Üst Karstik Akifer (ÜKA), Eosen yaşlı karstik kireçtaşı akiferi ise, Alt Karstik Akifer (AKA) olarak adlandırılmıştır. Alt akiferde yeraltı suyu dolaşımı tektonik hatları izlemektedir. Şahıs kuyularında yapılan seviye ölçümleri sonucunda sahadaki yeraltı suyu akım yönünün güneybatıdan kuzeydoğuya ve doğuya doğru olduğu belirlenmiştir. Jeofizik çalışmalar sonucunda sahada çok sayıda gömülü eğim atımlı normal fayın bulunduğu, buna bağlı olarak gelişen horst-graben yapısının sahayı bölümlere ayırdığı ve yeraltı suyu dolaşımının tektonik yapı tarafından kontrol edildiği anlaşılmıştır. Eosen yaşlı kireçtaşı-dolomitik kireçtaşı ardalanmalı birim sahadaki en önemli akifer olup, Miyosen yaşlı birimin kireçtaşı seviyeleri ise sahanın kuzeydoğusuna (boşalım sahasına) doğru verimliliği artan akifer özelliğindedir. Yenişehir kaynağının boşalım sahasında Eosen yaşlı Alt Karstik Akiferinde açılan DSİ

araştırma kuyusunda yapılan yükselim deneyinden elde edilen iletimlilik katsayısı (T) 1800 m<sup>2</sup>/gün olarak hesaplanmıştır. Cüdeyde kaynağı yakınında bulunan Miyosen yaşlı Üst Karstik Akiferinde açılan şahıs kuyusunda ise, yapılan pompa deneyinden elde edilen iletimlilik katsayısı 500 m<sup>2</sup>/gündür. Eosen akiferinden çıkan Yenişehir kaynağı Suriye devleti sınırları içerisindeki 700m kotunda yer alan [10] Barişa (Jebel Baricha) dağı güneyinde yer alan polyelerden beslenmektedir. Böylelikle kaynağın beslenme alanı Suriye'de kalırken, boşalım alanı Türkiye sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 4).

#### ***IV.1. Yağış Verileri***

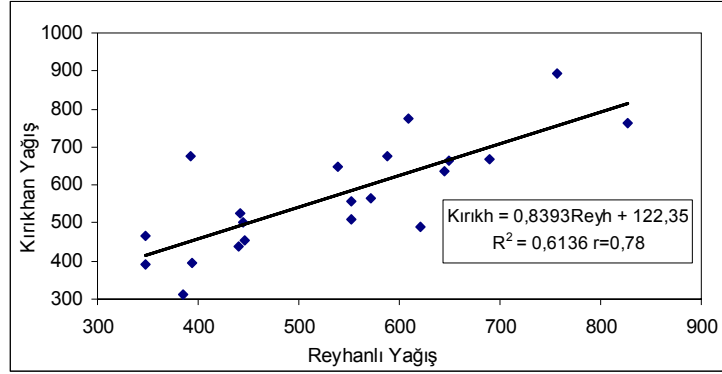
Çalışma alanındaki Reyhanlı ve Kırıkhan DMI'ye ait 1950–1988 yılları arası aylık ve yıllık yağış değerleri mevcuttur. Ancak yıllık toplam yağışlardan her iki istasyonda da eksik olan 1952, 1973, 1974, 1975, 1976, 1977, 1978, 1979, 1984 ve yıllarına ait değerler hariç, eksik verilerin tamamlanması amacı ile yapılan korelasyon sonucunda (n=21 yıl için); Kırıkhan= 0.8393xReyhanlı+122,35 regresyon denklemi ve R<sup>2</sup>= 0.61 determinasyon katsayısı elde edilmiştir (Şekil 5). F testi sonucu: F<sub>T</sub>: 4.0 olup, F<sub>H</sub>>F<sub>T</sub>; 30.17>4.0 olduğundan regresyon denklemi anlamlı bulunmuştur. Her iki istasyon da aynı yağış bölgesinde yer aldığından gözlenen yıllık yağışlar benzer değişime sahiptir.



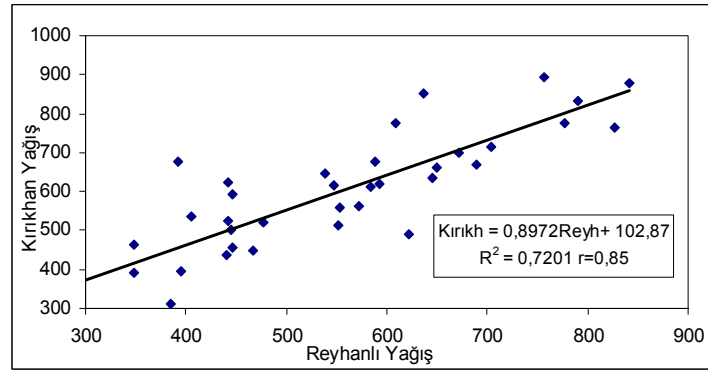
**Şekil 4.** Kaynakların Türkiye-Suriye Devlet Sınırı Boyunca Konumları (GoogleEarth'den alınarak düzenlenmiştir).



Bulunan regresyon denkleminde her iki istasyonun eksik verileri tamamlanmıştır (Şekil 6). Eksik veriler tamamlandıktan sonra Reyhanlı DMİ Yıllık Yağış ortalaması 547 mm ve Kırıkhan DMİ Yıllık Yağış ortalaması 593 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Kırıkhan DMİ - Reyhanlı DMİ yıllık toplam yağış değerleri korelasyon grafiği.

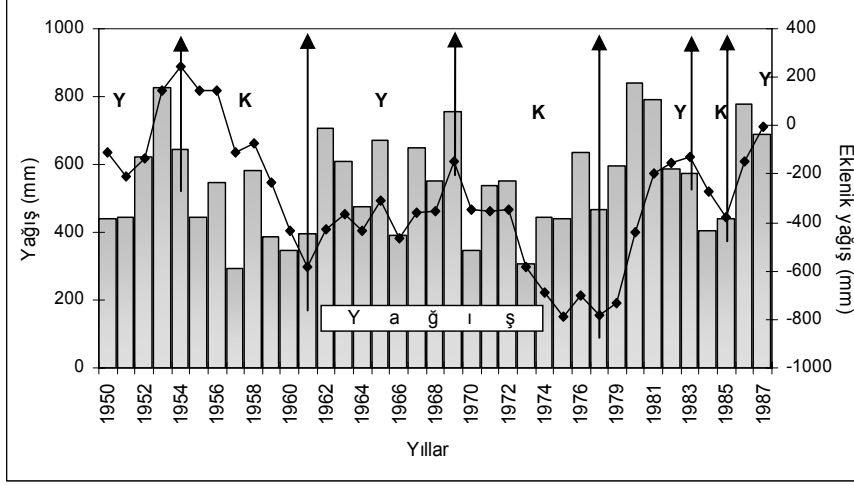


Şekil 6. Düzeltilmiş değerlerle yapılan korelasyon grafiği.

Reyhanlı DMİ 1950-1988 yılları arası yıllık yağış değerleri kullanılarak, ortalama yıllık yağış, ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma ve eklenik yağış değerleri hesaplanarak yağışlı ve kurak devreler belirlenmiştir (Şekil 7).

Çalışma alanına düşen yağışı başlangıçta Reyhanlı DMİ yağışlarının temsil edebileceği düşünülmüş ise de, kaynağın beslenme alanının Suriye tarafında

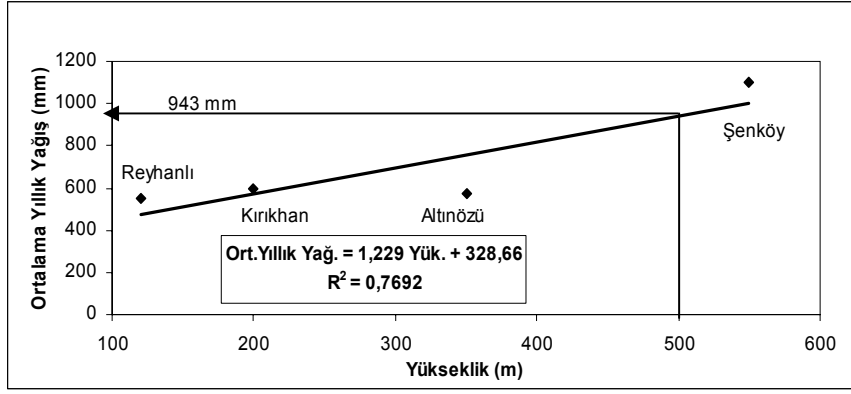
kalması ve bu alanın ortalama 500 m kotunda bulunmasından ötürü, yeraltı suyu beslenim hesaplarında, drenaj alanının 500 m kotu için Reyhanlı, Kırıkhan, Altınözü ve Şenköy DMI'lere ait yağış-yükseklik ilişkisi kullanılarak elde edilen 943 mm yıllık ortalama yağış değeri ve farklı kotlardaki istasyonların sıcaklık değerleri kullanılarak bulunan 15.8 °C değeri dikkate alınmıştır (Çizelge 1, Şekil 8).



**Şekil 7.** Reyhanlı yağış istasyonu ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma eğrisi ve yıllık toplam yağışlarla karşılaştırılması (K:kurak, Y:yağışlı dönem).

YGI	Yükseklik (m)	Ort. Yıllık Yağış (mm)	Ort. Yıllık Sıcaklık (oC)
Reyhanlı	120	547	18.8
Kırıkhan	200	593	19.0
Altınözü	350	574	16.7
Şenköy	550	1100	15.6

**Çizelge 1.** DMI Yağış Gözlem İstasyonlarına ait yükseklik, ortalama yıllık yağış ve sıcaklık değerleri.



Şekil 8. Ortalama yıllık yağış - yükseklik ilişkisi.

#### IV.2. Kaynak Akım Verileri ve Hidrolik Özellikler

Yenişehir kaynağı, boşaldığı kırık zonunda yaklaşık 105 000 m<sup>2</sup> lik alanda [10] tektonik kökenli bir göl oluşturmaktadır (Şekil 9). Eosen yaşlı kireçtaşı kesen düşey atımlı fay boyunca oluşan breşik zondan boşalan Yenişehir kaynağı içme, kullanma ve sulama amaçlı kullanılmaktadır. Kaynağın 1970-1981 ve 1991-1995 yılları arasında aylık akım gözlemleri mevcut olup, değerlendirmelerde veri eksikliği olmayan 1976-1981 yılları arası yağışlı dönemdeki (Şekil 7) aylık ortalama akım verileri dikkate alınmıştır (Çizelge 2a).



Şekil 9. Yenişehir Gölü ve güneyinde yer alan Eosen kireçtaşı [8].

**Çizelge 2a.** Yenişehir kaynağı aylık ortalama akımları (l/s).

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Agust	Eylül	ORT.
1976	792.0	-	816.0	907.0	918.0	954.0	971.0	705.0	815.0	774.0	664.0	688.0	795.9
1977	752.0	782.0	798.0	816.0	886.0	837.0	886.0	871.0	558.0	651.0	617.0	741.0	737.3
1978	901.0	806.0	803.0	811.0	832.0	817.0	815.0	685.0	603.0	696.0	649.0	725.0	712.9
1979	740.0	754.0	772.0	726.0	731.0	709.0	727.0	606.0	591.0	637.0	564.0	720.0	650.6
1980	790.0	799.0	742.0	773.0	766.0	721.0	833.0	565.0	619.0	639.0	628.0	588.0	656.1
1981	683.0	683.0	606.0	708.0	690.0	700.0	722.0	713.0	614.0	580.0	625.0	620.0	653.4

3 500 m<sup>2</sup> 'lik bir alanı kaplayan Cüdeyde gölünü oluşturan kaynaklar, zon şeklinde D-B doğrultulu fay hattını dik olarak kesen ikincil kırıklar aracılığıyla karstik Miyosen kireçtaşından, 130 metre kotundan boşalmaktadır. Kaynağın 1976-1980 ve 1991-1994 yılları arasında aylık akım gözlemleri var olup, değerlendirmelerde aylık verileri eksiksiz olan 1976-1980 yılları arasındaki yağışlı döneme ait (Şekil 7) akım verileri dikkate alınmıştır (Çizelge 2b). Kaynak, göl alanından ve sondaj kuyularından yapılan su kullanımının ve buharlaşmanın etkisi ile kurak dönemde (Temmuz, Ağustos ve Eylül) kurumaktadır.

**Çizelge 2b.** Cüdeyde kaynağı aylık ortalama akımları (l/s).

	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haz.	Tem.	Agust	Eylül	ORT.
1976	227.0	-	230.0	230.0	205.0	195.0	211.0	202.0	208.0	188.0	133.0	136.0	181.9
1977	167.0	287.0	325.0	347.0	278.0	343.0	429.0	413.0	259.0	214.0	177.0	204.0	291.3
1978	181.0	157.0	191.0	201.0	206.0	200.0	210.0	160.0	135.0	133.0	104.0	132.0	153.4
1979	127.0	155.0	129.0	115.0	131.0	145.0	149.0	205.0	194.0	102.0	117.0	138.0	150.0
1980	62.0	193.0	113.0	107.0	152.0	137.0	152.0	148.0	171.0	109.0	95.0	91.0	129.0

Aylık akım değerleri aşağıda verilen Maillet [11] eşitliğinden [(1), (2), (3) nolu eşitlikler] yararlanılarak yarı logaritmik grafikte  $\alpha$  azalım eğrileri çizilerek irdelenmiş (Şekil 10a ve 10b), ayrıca baz akım grafiğinden de baz akım değerleri hesaplanmıştır (Şekil 11a ve 11b). Buna göre Eosen yaşlı kireçtaşından boşalan Yenişehir kaynağı yarı değişken [12] bir kaynak olup, ortalama boşalım katsayısı (1976–1981 yılları arası aylık ortalama değerlere göre)  $3.93 \times 10^{-3}$  gün<sup>-1</sup>, ortalama debi ( $Q_{OB}$ ) 734 l/s, aktif depo hacmi ortalama  $22.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıldır (Çizelge 3a).

Miyosen yaşlı kireçtaşlarından çıkan Cüdeyde kaynağı ise değişken kaynak [12] özelliğinde olup, ortalama boşalım katsayısı (1976–1980 yılları arası aylık ortalama değerlere göre)  $6.71 \times 10^{-3}$  gün<sup>-1</sup>, ortalama debi 177 l/s, aktif depo hacmi ortalama  $5.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıldır (Çizelge 3b).

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha t} \quad (1)$$

$$V_0 = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (2)$$

$$V_t = \frac{Q_t}{\alpha} \quad (3)$$

Burada;

$Q_0$ : Kaynağın azalma dönemi başlangıcındaki boşalım değeri (m<sup>3</sup>/s),

$Q_t$ : t zaman sonundaki boşalım değeri (m<sup>3</sup>/s),

e : doğal logaritma tabanı (2.71828),

$\alpha$  : azalım katsayısı (gün<sup>-1</sup>),

t : zaman (gün).

$V_0$ : Azalma dönemi başlangıcındaki dinamik rezerv (m<sup>3</sup>)

$V_t$ : Azalma dönemi sonundaki dinamik rezerv (m<sup>3</sup>),

ifade etmektedirler.

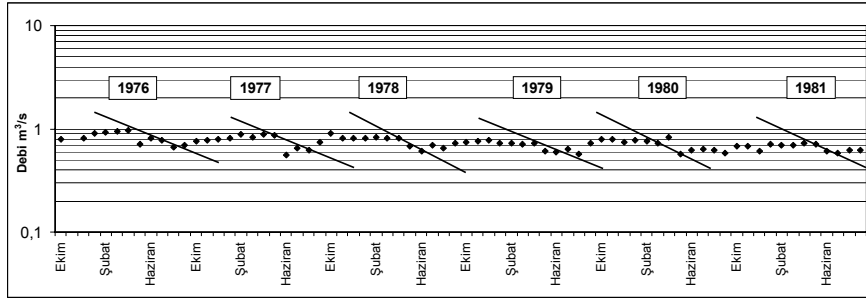
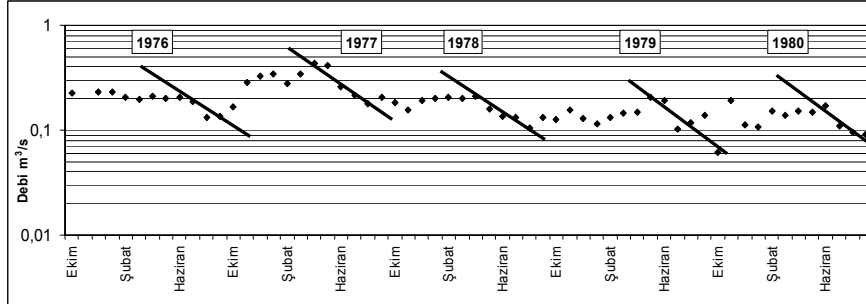
**Çizelge 3a.** Reyhanlı – Yenişehir kaynağına ait hesaplanan hidrolojik veriler.

Gözlem Yılları	(Şekil 8a'dan)				(Şekil 9a'dan)		
	Boşalım Katsayısı ( $\alpha$ ) $10^{-3}$ gün <sup>-1</sup>	Yıllık Baz Akım $\times 10^6$ m <sup>3</sup> /yıl	Baz Akım (l/s)	Debi Değişim Oranı (%)	Yıllık Baz Akım $\times 10^6$ m <sup>3</sup> /yıl	Baz Akım (l/s)	Debi Değişim Oranı (%)
1976	3.38	27.2	863	33	24.5	777	32
1977	3.41	23.6	844	26	22.5	715	38
1978	4.73	23.4	743	25	22.4	710	28
1979	3.27	20.1	638	26	20.2	640	29
1980	4.57	20.7	657	24	20.2	640	32
1981	4.23	20.7	657	32	19.2	608	28
ORT.	<b>3.93</b>	<b>22.6</b>	734	<b>28</b>	21.3	681	31

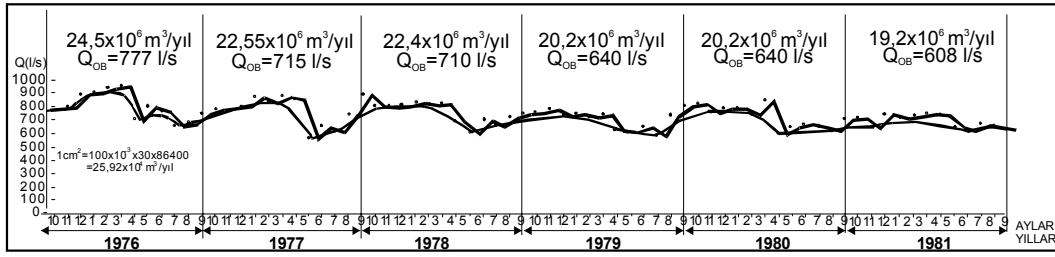
**Çizelge 3b.** Reyhanlı – Cüdeyde kaynağına ait hesaplanan hidrolojik veriler.

Gözlem Yılları	(Şekil 8b'den)				(Şekil 9b'den)		
	Boşalım Katsayısı ( $\alpha$ ) $10^{-3}$ gün $^{-1}$	Yıllık Baz Akım $\times 10^6$ m $^3$ /yıl	Baz Akım (l/s)	Debi Değişim Oranı (%)	Yıllık Baz Akım $\times 10^6$ m $^3$ /yıl	Baz Akım (l/s)	Debi Değişim Oranı (%)
1976	5.68	6.1	193	40	5.70	180	59
1977	6.86	8.8	280	56	7.40	234	63
1978	6.15	5.1	163	52	4.50	142	50
1979	7.45	4.2	132	67	3.56	113	69
1980	7.43	3.7	117	49	3.37	106	48
ORT.	<b>6.71</b>	<b>5.6</b>	<b>177</b>	<b>53</b>	<b>4.91</b>	<b>155</b>	<b>58</b>

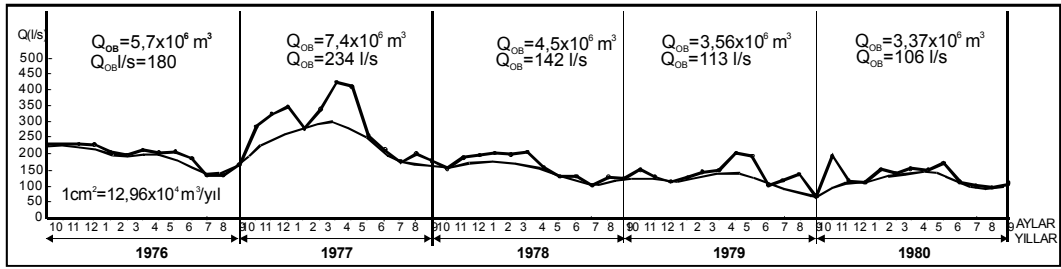
Maillet eşitliğinden hesaplanan değerlere göre, Cüdeyde kaynağının (ÜKA'nın) Yenişehir kaynağına (AKA'ya) oranla daha yüksek azalım katsayısı ve debi değişim.

**Şekil 10a.** Yenişehir kaynağı kaynak azalım grafiği.**Şekil 10b.** Cüdeyde kaynağı kaynak azalım grafiği.

katsayısına sahip olması, kaynağın daha hızlı boşaldığını, hidrolik iletkenliğinin yüksek, iletimlilik katsayısının ise daha düşük olduğunu göstermektedir [13], [14]. Nitekim Cüdeyde kaynağında yüksek akım piklerinin görülmesi (Çizelge 2a- 1977 yılı) de allojenik bir beslenimin söz konusu olduğunu, kısıtlı bir yeraltı drenajına sahip bulunduğunu, geniş kırıklarla boşalmanın gerçekleştiğini belirtmektedir. Buna karşın Alt Karstik Akiferi temsil eden Yenişehir kaynağının daha düşük azalım katsayısına ve debi değişim katsayısına sahip olması, kaynağın daha yavaş boşaldığını, hidrolik iletkenliğinin düşük, iletimlilik katsayısının da daha yüksek olduğuna işaret etmektedir [15]. Böylece Yenişehir kaynağının akım değerleri daha az değişken ve daha geniş bir alandan beslenen, akım yolunun daha dar kırıklar boyunca yol aldığı buna karşın daha geniş bir akifer sisteminden beslendiği söylenebilir. Cüdeyde kaynağının boşaldığı ÜKA'nın süzülme oranının düşük olmasının nedeni kireçtaşının, kıltaşı ve marn ardalı olmasıdır.



Şekil 11a. Yenişehir kaynağı baz akım grafiği.



Şekil 11b. Cüdeyde kaynağı baz akım grafiği.

### IV.3 Karstik kaynakların bilançosu

Kaynak akımlarının azalma dönemi başlangıcı ile azalma dönemi sonu arasındaki dinamik boşalım değerleri (dinamik rezerv) Maillet eşitliklerinden hesaplanarak (1, 2 ve 3 nolu eşitlikler) kaynakların beslenme-boşalım miktarları belirlenmiştir. Dağlık arazilerdeki gerçek buharlaşma-terleme miktarlarını sıcaklık ve yağışların fonksiyonu olarak hesaplayan Turc [16] eşitliği (4) ve kapsamında kalan (5) nolu eşitlik yardımıyla hesaplanan değerlerden yararlanılarak, ortalama net ( $P_{NET}$ : akifere sızan) yağış miktarları, beslenme alan büyüklüğü ve süzülme yüzdeleri belirlenmiştir.

$$ET_g = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (4)$$

$ET_g$ : Yıllık gerçek buharlaşma-terleme (mm),

$P$  : Yıllık yağış (mm),

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3 \quad (5)$$

$T$  : Yıllık ortalama sıcaklık ( $^{\circ}C$ )

Yenişehir kaynağı için yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanan ( $P=943$  mm,  $T=15.8$   $^{\circ}C$ )  $ET_g$  değeri=664 mm, Cüdeyde kaynağı için hesaplanan ( $P=593$  mm,  $T=19$   $^{\circ}C$ )  $ET_g$  değeri=546 mm toplam yağış değerlerinden çıkartılarak, net yağış değerleri elde edilmiştir:

$$P_{NET} = P - ET_g; \quad (6)$$

Yenişehir kaynağı için  $P_{NET}=279$  mm, Cüdeyde kaynağı için  $P_{NET}=47$  mm değerleri hesaplanmıştır. Temel hidrolojik eşitlik kullanılarak (7) hesaplanan beslenme/boşalım değerleri yardımıyla kaynakların beslenme alanları ve temsil ettikleri akiferlere ait süzülme katsayıları aşağıda verilmektedir:

$$\text{Beslenme} = \text{Boşalım} \pm \Delta R \quad (7)$$

$\Delta R$  : Rezerv değişimi (mm)

$\text{Beslenme}_{\text{Yenişehir K}} = \text{Kaynak boşalımı} + \text{Kaynak rezervuarından içme-sulama amaçlı kullanım} + \text{suni boşalım (DÜÇ ve diğer kuyulardan yapılan çekim)}$

$$\text{Beslenme}_{\text{Yenişehir K}} = (22.6 + 10 + 12) \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} = 44.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} = \text{Boşalım}_{\text{Yenişehir K}}$$



Cüdeyde kaynağı boşalımı da benzer şekilde hesaplanırsa;

Beslenim<sub>Cüdeyde</sub>  $K = 5.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} = \text{Boşalım}_{\text{Cüdeyde}} K$  değeri elde edilir. Her iki kaynağın boşalım ve akifere süzülme değerleri dikkate alınarak (8), beslenim alanları hesaplandığında:

$$\text{Beslenim alanı } (A)_{\text{Yenişehir}} K = \text{Boşalım} / P_{\text{NET}} \quad (8)$$

$$A_{\text{Yenişehir}} = 44.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} / 0.279 \text{ mm/yıl} = 160 \text{ km}^2;$$

$$A_{\text{Cüdeyde}} = 5.6 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl} / 0.047 \text{ mm} = 119 \text{ km}^2 \text{ değerleri elde edilmiştir.}$$

Böylece kaynakların yaklaşık 300 km<sup>2</sup>'lik bir beslenme alanına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca kaynakların temsil ettiği Eosen ve Miyosen kireçtaşı akiferlerine olan süzülme katsayıları (I) ise:

$$I = \frac{P_{\text{NET}}}{P} \quad (9)$$

$$I_{\text{Eosen}} = \frac{279 \text{ mm}}{943 \text{ mm}} \cong 0.30 \text{ ve } I_{\text{Miyosen}} = \frac{47 \text{ mm}}{593 \text{ mm}} \cong 0.08 \text{ değerleri hesaplanmıştır.}$$

Bulunan süzülme katsayıları akışın ihmal edildiği ve buharlaşma-terleme miktarının yeraltı suyu ile yağmur suyundaki klorür kütle dengesine dayalı (10) nolu eşitlik [17] ile test edildiğinde:

$$R = \frac{P \times Cl_P}{Cl_{GW}} \quad (10)$$

R: Süzülme oranı (%),

P: Yıllık yağış (mm),

Cl<sub>P</sub>: Yağmur suyundaki klorür derişimi (mek/L),

Cl<sub>GW</sub>: Yeraltı suyundaki klorürü derişimi (mek/L)

Yeraltı suyunun klorür değerleri için kaynakların ortalama klorür değerleri dikkate alındığında, Yenişehir kaynağı için Cl<sub>GW</sub>=0.80, Cüdeyde kaynağı için Cl<sub>GW</sub>=0.95 olduğundan, yağmur suyu için klorür değerleri:

$$0.3 = \frac{0.943 Cl_P}{0.80} \Rightarrow Cl_P = 0.25 \text{ mek} / L ;$$

$$0.08 = \frac{0.593 \times Cl_P}{0.95} \Rightarrow Cl_P = 0.13 \text{ mek} / L \text{ olarak hesaplanmış olup, elde edilen}$$

sonuçların literatürdeki yağmur suyundaki klor derişimleri ile uyumlu olduğu

[18], [19], [20] ve [21] hesaplanan süzülme oranlarının kabul edilebilir sınırlarda yer aldığı görülmektedir.

## ***V. SU KİMYASI***

Çalışma alanında yağışlı ve kurak dönemde alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4’de verilmiştir. Yenişehir Kaynağı, Schoeller diyagramında yağışlı dönemde  $\text{CaHCO}_3$ ’lı, kurak dönemde ise karstik Eosen kireçtaşının dolomitik seviyeler içermesi ve magnezyumun çözünürlüğünün kalsiyuma oranla daha yüksek olması nedeniyle  $\text{Mg HCO}_3$ ’lı sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 12a). Piper diyagramına göre [22],  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{HCO}_3^{-2}$ ’lı, karbonat sertliği>karbonat olmayan sertlikteki sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 12b). Miyosen kireçtaşından boşalan Cüdeyde Kaynağı kurak dönemde, Yenişehir kaynağı ile kimyasal olarak benzer özellikler göstermektedir (Şekil 13a ve 13b). Miyosen yaşlı birimde açılan sondaj kuyularının derinliği horst-graben tektoniği nedeniyle 200–500 m arasında değişmektedir. Birimin akifer seviyeleri kireçtaşı ve konglomeradır. Bu birimde açılan 10, 11, 12, 34 nolu kuyular  $\text{CaHCO}_3$ ’lı sular olup (Şekil 14a ve 14b) sıcaklıkları 16-17 °C arasında değişmektedir. Eosen yaşlı birimde açılan sondaj kuyularının derinliği de yine yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı 50–568 m arasında değişmektedir. Sahada, genellikle derin açılan kuyulardan çekilen sular Eosen yaşlı karstik kireçtaşı akiferini temsil etmektedir ve Mg, Ca  $\text{HCO}_3$ ’lı su tipi hakimdir (Şekil 15a ve 15b). Sıcaklığı 22–26 °C arasında değişen ve bor içeren bu sular (4 ve 7 esasen gömülü faylar boyunca üst akifere karışan termal suları karakterize etmektedir. Eosen yaşlı alt akifere beslenen 7 numaralı Bakmita DSİ Kooperatifi kuyusu, 9 nolu Reyhanlı D.Ü.Ç kuyusu, 4, 6, 8 ve 33 nolu kuyulardan alınan örneklerin EC değerleri 800–1000 S/cm dolayında değişmekte ve çoğu kez sulama suyu açısından  $\text{C}_3\text{S}_1$  sınıfı sular kategorisinde yer almaktadır. Özellikle 8 ve 33 nolu kuyulardan alınan suların majör iyon değerleri Schoeller diyagramında birbirine paralel özellik gösteren ve aynı akifer sularını temsil etmektedir (Şekil 15a). 8 nolu kuyudan alınan su örneğinin  $\text{SO}_4^{2-}$  değeri diğer su örneklerine göre daha yüksek olması [23] pritin oksidasyonu

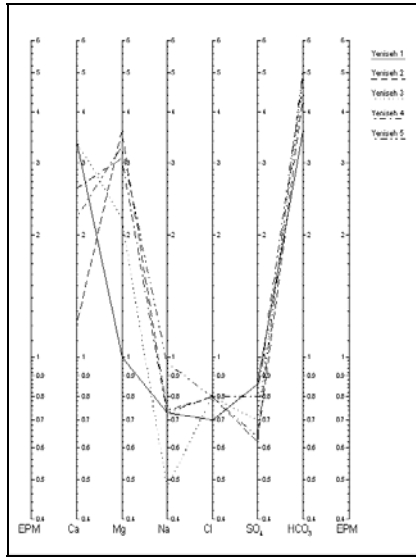
veya bölgenin doğu kesiminde yer alan ve derin dolaşımdaki sıcak sulardaki H<sub>2</sub>S gazının oksidasyonu sonucu artmış olabileceği olasıdır.

Su örnekleri doygunluk indisleri açısından incelendiğinde kalsit, dolomit ve aragonit bakımından suların doygun olmadığı (SI<0) görülmektedir (Çizelge 4). Doygunluk indisi değerlerinin yağışların kesilmesini izleyen dönemde artış göstermemesinin bir nedeni, beslenim alanının bitki örtüsü açısından fakir olması nedeniyle (Şekil 4) suyun yeterince CO<sub>2</sub> kazanmamış olmasından kaynaklanabilir. Zira CaCO<sub>3</sub>'ün çözünürlüğünde en önemli etkenlerden birisi suda çözülmüş CO<sub>2</sub> miktarıdır. Su ile reaksiyona girerek oluşturduğu karbonik asit, kireçtaşı çözünürlüğünü arttırmaktadır. Doygunluk indisi değerlerinde, göreceli olarak, kurak dönemde bir miktar artış izlenmektedir. Kurak dönemde 7, 8, 33 ve 34 nolu örneklerin doygunluk indislerinde azalma oluşu sisteme taze su girdisini göstermektedir. Bu şekilde su daha saldırgan hale gelerek çözünme artarak devam etmektedir. Bunun tersine doygunluk indislerinde artış görülmesi ise sisteme taze su girdisinin olmadığını işaret etmektedir. Yağışlı ve kurak dönemler için çizilen (Ca+Mg)-(Ca/Mg) grafiğine (Şekil 16a ve 16b) göre, Eosen yaşlı alt karstik akiferde açılan 4 ve 6 nolu kuyulardan yağışlı dönemde alınan su örneklerinde Mg<sup>+2</sup> iyonu baskın iyondur (Şekil 16a). Yağışlı dönemde akifer sisteme sıcaklığı nispeten düşük taze su girdisinin olması, Mg<sup>+2</sup>'un düşük iyonik potansiyele sahip olması ve böylece kristal yapısını Ca<sup>+2</sup>'ye oranla daha erken terk etmesi nedeniyle [24] soğuk suda Mg<sup>+2</sup>'un Ca<sup>+2</sup>'den daha fazla çözünürlüğe sahip olmasından [25] kaynaklanmaktadır. Eosen yaşlı Alt Karstik Akifer dolomitik kireçtaşı içermektedir. 7, 10, 34 nolu kuyulardan alınan su örnekleri kalsiyumun baskın olduğu Miyosen kireçtaşlarından beslenmektedir. 9, 4, 6 nolu kuyu ile Yenişehir kaynağının su örnekleri ise Mg<sup>+2</sup> iyonu içeren dolomitik kireçtaşlarının kimyasal kompozisyonunu yansıtmaktadır. Cüdeyde kaynak suyunda kurak dönemde Mg değerindeki artışın nedeni, bu dönemde Yenişehir kaynağını besleyen Eosen akiferinden beslenmesi ile ilişkili olabilir (Şekil 16 b).

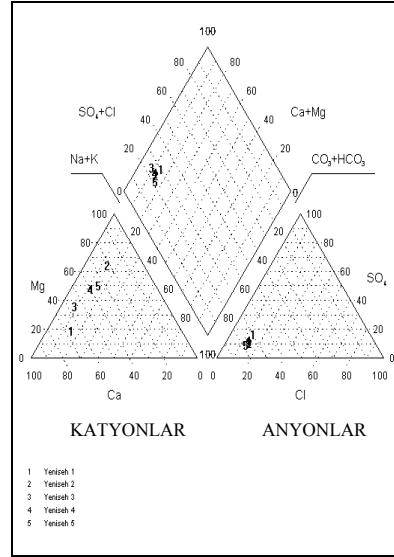
**Çizelge 4.** Su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları (M: Miyosen, E: Eosen).

Örnek No	Örnek Adı	Birim	Örnek A. Tarihi	pH	EC ( S/cm)25° C	Kasyonlar (mek/l)				Anyonlar (mek/l)						Toplam Çöz. Katı (mg/l)	Analiz Hatası %	%Sodyum	SAR	Suyun Sınıfı	Sertlik (Fs°)	Bor (mg/l)	SI <sub>Ca</sub>	SI <sub>del</sub>	SI <sub>arg</sub>	Trityum (TU)	
						Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	NH <sub>3</sub> <sup>-</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>												
1	Cüdeyde Kaynağı	M	30.01.1992	8.0	636	0.6	0.1	4	2.1	yok	0	4.3	0.8	1.2	yok	471.0	3.5	8.4	0.3	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	30.5	-					
2	Cüdeyde Kaynağı		27.06.1995	7.2	632	1	0.2	3	2.2	yok	0	4.4	1.3	0.6	yok	459.1	1.0	15.6	0.6	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	26	0	-3.1	-6.5	-3.5		
3	Cüdeyde Kaynağı		07.12.1995	7.6	625	0.5	0.1	3.4	2.3	yok	0	4.6	0.9	0.8	yok	459.3	0.3	7.8	0.3	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	28.5	0.55					
4	Cüdeyde Kaynağı		15.10.1996	8.0	640	0.8	0.1	2.5	3.1	yok	0	4.7	0.8	1	yok	470.4	0.1	12.4	0.5	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	28	0	-2.3	-4.8	-2.7	3.1	
5	Yenişehir Kaynağı	E	30.01.1992	8.0	626	0.6	0.1	3.9	1.9	yok	0	4.6	0.7	0.9	yok	466.6	1.7	8.7	0.3	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	29	-					
6	Yenişehir Kaynağı		27.06.1995	7.7	491	0.7	0	1.2	3.6	yok	0	4.3	0.8	0.6	yok	405.3	1.6	12.6	0.5	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	24	0					
7	Yenişehir Kaynağı		07.12.1995	7.6	601	0.4	0.1	3.4	2.2	yok	0	4.6	0.8	0.7	yok	449.3	0.2	6.6	0.2	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	28	0					
8	Yenişehir Kaynağı		15.10.1996	7.5	640	0.7	0.1	2.6	3.1	yok	0	4.8	0.8	0.8	yok	466.8	0.2	10.1	0.4	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	28.5	0.2	-2.8	-5.8	-3.2	3	
9	Yenişehir Kaynağı		23.07.1997	7.4	640	0.9	0.1	2.2	3.3	yok	0	5	0.8	0.6	yok	470.9	0.2	14.0	0.6	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	27.5	-	-2.9	-5.9	-3.3		
10	Kuyu no: 4	E	08.07.1993	7.6	787	0.5	0.3	1.9	5.3	yok	0	5.1	1.2	1.6	yok	552.9	0.3	5.7	0.2	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	36	5					
11	Kuyu no: 4-1		26.06.1995	7.2	700	0.9	0.1	1	5	yok	0	5.3	1.2	0.5	yok	496.0	0.1	13.1	0.5	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	30	0					
12	Kuyu no: 4-2		15.10.1996	7.3	790	0.9	0.1	3.3	3.7	yok	0	5.4	1.1	1.5	yok	571.5	0.3	10.8	0.5	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	35	0	-2.9	-6.1	-3.4	0	
13	Kuyu no: 4-3		23.07.1997	7.3	840	2.3	0.1	3	3	yok	0	8	1	1.3	yok	739.2	10.2	27.4	1.3	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	30	-	-2.9	-6.2	-3.4		

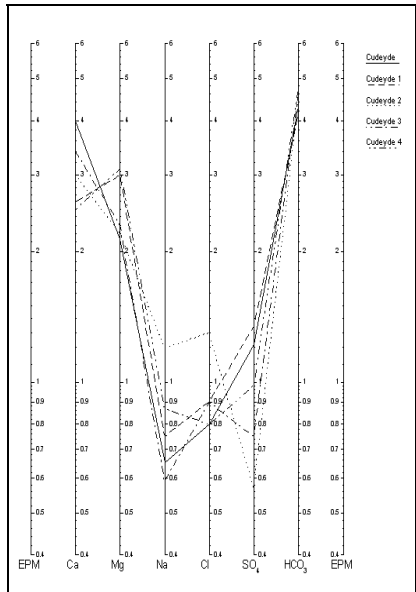
14	Kuyu no: 6	E	18.10.1996	7.8	530	0.7	0.1	2	2.5	yok	0	3.8	0.8	0.9	yok	390.2	1.6	13.3	0.5	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	22.5	0	-2.5	-5.3	-2.8	0
15	Kuyu no: 6-1		23.07.1997	7.4	1080	2.4	0.2	3	5.3	yok	0	5.8	1.9	3	yok	751.3	0.4	21.8	1.2	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	41.5	-	-2.9	-5.8	-3.3	
16	Kuyu no: 7	E	15.10.1996	7.4	630	2	0.1	2.7	1.5	yok	0	4.7	0.8	0.8	yok	476.1	0.5	31.4	1.4	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	21	1.7	-2.3	-6.3	-3.3	0
17	Kuyu no: 7-1		23.07.1997	7.4	650	1.1	0.1	2.7	2.7	yok	0	4.9	0.9	0.7	yok	475.8	0.5	16.1	0.6	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	27	-	-2.9	-6.0	-3.3	
18	Kuyu no: 8	E	18.10.1996	7.3	940	1.6	0.2	4	3.7	eser	0	5.5	1.3	2.5	yok	671.2	0.6	16.8	0.8	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	38.5	0	-2.9	-6.1	-3.4	0
19	Kuyu no: 8-1		23.07.1997	7.3	1020	1.7	0.1	3.3	4.2	yok	0	5.6	1.9	2.7	yok	701.9	4.3	18.5	0.9	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	36.5	-	-2.9	-6.0	-3.4	
20	Kuyu no: 9	E	18.10.1996	7.8	720	1	0.1	1.8	4.2	eser	0	4.1	1.4	1.7	yok	497.7	0.7	14.4	0.6	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	30	0	-2.8	-5.3	-3.2	3.4
21	Kuyu no: 9-1		23.07.1997	7.5	970	1.8	0.1	3.5	4.3	yok	0	6.1	1.8	1.7	yok	684.3	0.5	18.6	0.9	C <sub>3</sub> S <sub>1</sub>	39	-	-2.8	-5.7	-3.2	
22	Kuyu no: 10	M	18.10.1996	7.9	650	0.7	0.1	3.4	2.3	yok	0	4.8	1	0.9	yok	483.9	1.3	10.8	0.4	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	28.5	-				
23	Kuyu no: 11	M	28.09.1993	8.2	458	0.6	0	3.3	0.7	yok	0.8	2.4	0.8	0.6	yok	316.6	0.2	13.0	0.4	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	20	0				
24	Kuyu no: 12	M	28.09.1993	8.2	570	0.7	0	3.2	1.9	yok	0.4	3.4	0.9	1.1	yok	408.6	0.3	11.6	0.4	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	25.5	0				
25	Kuyu no: 33	E	15.10.1996	7.4	660	0.8	0.1	2.9	2.8	yok	0	4.7	0.9	1	yok	482.7	0.2	12.2	0.5	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	28.5	0	-2.9	-6.0	-3.3	0.3
26	Kuyu no: 33-1		23.07.1997	7.6	690	1.4	0.1	2.4	3	yok	0	5.1	0.9	1	yok	507.9	0.5	20.3	0.9	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	27	-	-2.7	-5.6	-3.0	
27	Kuyu no: 34	M	19.02.1992	7.2	580	0.5	0.1	3.7	1.9	yok	0	4.7	0.8	0.7	yok	459.6	0.5	7.31	0.3	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	28	-				
28	Kuyu no: 34-1		15.10.1996	7.4	540	0.6	0.1	2.8	1.9	yok	0	4.1	0.8	0.6	yok	401.1	0.9	11.5	0.4	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	23.5	0	-2.8	-6.2	-3.3	2.5
29	Kuyu no: 34-2		23.07.1997	7.6	680	1.4	0.1	1.9	3.4	yok	0	5.1	0.9	0.8	yok	494.9	0.3	20.6	0.9	C <sub>2</sub> S <sub>1</sub>	26.5	-	-2.7	-5.2	-3.0	



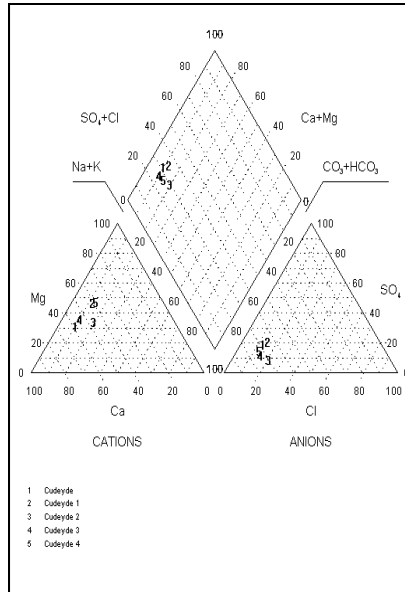
Şekil 12a. Yenişehir kaynağı Schoeller diyagramı [7].



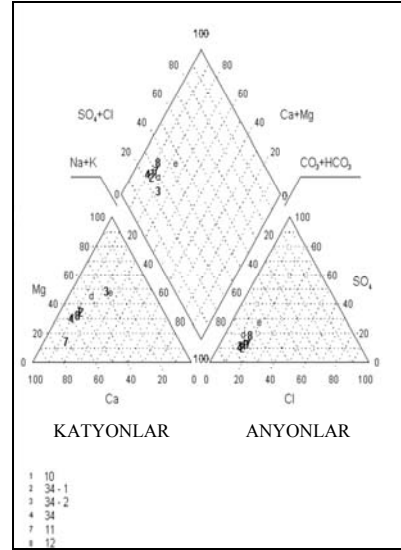
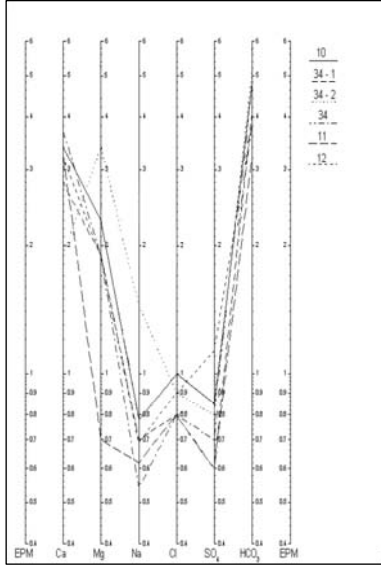
Şekil 12b. Yenişehir kaynağı Piper diyagramı.



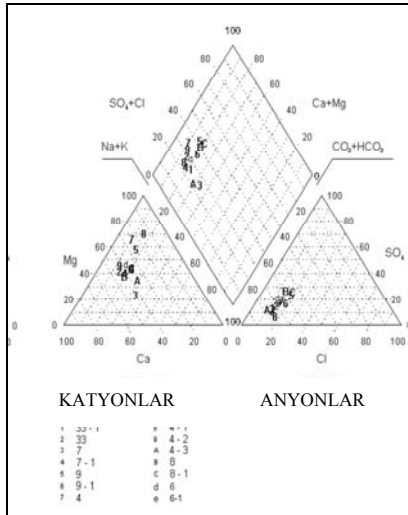
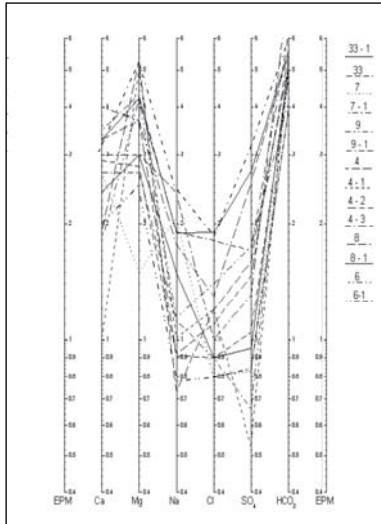
Şekil 13a. Cüdeyde kaynağı Schoeller diyagramı [7].



Şekil 13b. Cüdeyde kaynağı Piper diyagramı.

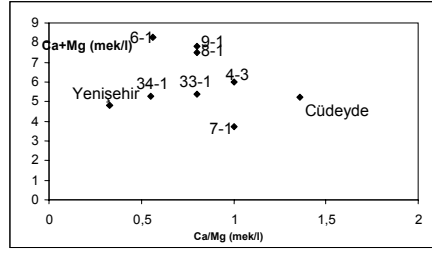


Şekil 14a. ÜKA Schoeller diyagramı [7]. Şekil 14b. ÜKA Piper diyagramı [7].

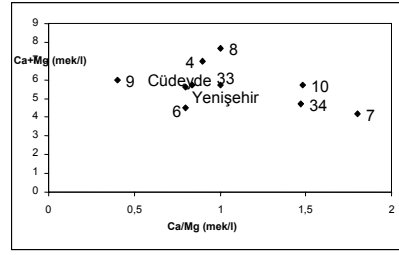


Şekil 15a. AKA Schoeller diyagramı [7].

Şekil 15b. AKA Piper diyagramı [7].



**Şekil 16a.** (Ca/Mg)-(Ca+Mg) yağışlı dönem grafiği.

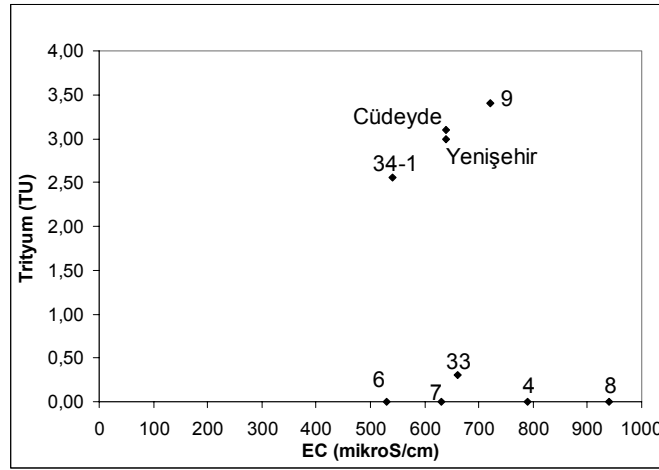


**Şekil 16b .** (Ca/Mg)-(Ca+Mg) kurak dönem grafiği.

EC-trityum grafiğinde (Şekil 17) Cüdeyde kaynağı, Yenişehir kaynağı, 34-1 ve 9 numaralı örnekler I. Grup; 4, 33, 6, 7 ve 8 numaralı su örnekleri ise II. Grubu oluşturmaktadır. I. Grup sularda yer alan Cüdeyde ve Yenişehir kaynakları, 34-1 nolu ve Reyhanlı D.Ü.Ç'ün 9 numaralı kuyularının trityum değerleri "2.55–3.4" TU arasında değişmektedir. II. Grup örneklerin trityum değerleri sıfır ve sıfıra yakın değerlerde kalmaktadır. II. Grubu temsil eden 4, 33, 7 ve 8 nolu kuyuların yeraltı suyu beslenimi I. Grup örneklere göre daha uzak bir mesafeden, daha uzun ve olasılıkla daha derin bir yol izleyerek olduğunu ifade etmektedir.

Yenişehir kaynağının boşalımının oluşturduğu gölalanı çevresinde bulunan turistik gazino ve lokantaların atıkları gölü kirletmektedir. Nitekim yapılan çalışmalarda yaz aylarında göl suyunun çözülmüş oksijen (ÇO) ve nitrat içeriğinde düşüş, fosfat ve anyonik deterjan içeriğinde artış saptanırken, kış aylarında yağışların ve düşük sıcaklığın etkisiyle oksijene doygunluk sonucu ÇO ve nitrat miktarında artış görülmektedir [26], [8]. Ayrıca kaynağın doğusunda bulunan evsel atıkların biriktirildiği çöp depolama alanı da yağış sularının çöp ile temas ederek kaynağa doğru kolaylıkla süzulebileceği konumdadır. Cüdeyde kaynağı yakınında bazı binaların kanalizasyon suyunun kaynak göl alanına ulaştığı gözlenmiştir. Kaynak çevresinde ve beslenme alanının da küçük ve büyükbaş hayvan barınakları ile yerleşim yerlerinin bulunması (Şekil 9), karstik özellikteki zeminden yeraltı suyuna sızacak kirlilik için tehlike oluşturmaktadır.





Şekil 17. Kurak dönem EC-Tritiyum grafiği.

## VI. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yenişehir kaynağı eğim atımlı fay kontağı boyunca Eosen yaşlı karstik kireçtaşından boşalan fay kaynağı özelliğindedir. Yenişehir kaynağının beslenme alanı Suriye sınırı içerisine uzanmaktadır. Kaynağın yıllık boşalımı  $22.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Yenişehir kaynağının 1976–81 yılları arası aylık ortalama akım değerlerinden elde edilen boşalım katsayısı ( )  $3.93 \times 10^{-3} \text{gün}^{-1}$  düzeyindedir. Kaynak dinamik rezervinin ortalama % 71'ini yıl içinde boşaltmaktadır. Baz akım değişim katsayısı 0.28 olup, "yarı değişken kaynak" sınıfına girmektedir. Kaynak geliştirmeğe uygundur. Yenişehir kaynağının boşalmasına neden olan eğim atımlı fay zonu boyunca oluşan breşik malzemenin kalınlığı maksimum 100 metreyi bulmaktadır. Bu zon boyunca açılan keson kuyular oldukça verimli olup (50–80 l/s), bu yöntemle bir çeşit kaynak geliştirilmesi yapılmıştır.

Cüdeyde kaynağı doğu-batı yönünde oluşmuş fay hattını dik olarak kesen tansiyon kırıklarının oluşturduğu erime ve çökmeye bağlı olarak gelişen bir kaynaktır. Kaynağın ortalama yıllık baz akım boşalımı  $5.6 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Cüdeyde kaynağının 1976–80 yılları arası aylık ortalama akım değerlerinden elde edilen boşalım katsayısı ( )  $6.71 \times 10^{-3} \text{gün}^{-1}$  dir. Cüdeyde kaynağı baz akım değişim katsayısı ortalama 0.53 olup, "değişken kaynak"

sınıfına girmektedir. Kaynak dinamik rezervinin ortalama % 47'sini boşaltmakta ve geliştirilebilme açısından verimli olarak değerlendirilmiştir. Cüdeyde kaynağının beslenme alanında açılan farklı derinlikte 9 adet sondaj kuyusu bulunmaktadır (Şekil 1). Bu kuyuların çoğunun DSI'den izin verilen çekim miktarından (tahsisten) daha fazla çekim yaptığı ve kaynağı etkiledikleri yapılan arazi çalışmaları sırasında saptanan bir durumdur [7].

Her iki karst kaynağının kaynak azalım eğrilerinden elde edilen akım parametreleri değerlendirildiğinde Üst Karstik Akifer sisteminden boşalan Cüdeyde kaynağının Alt Karstik Akifer sisteminden boşalan Yenişehir kaynağına göre daha geniş akım yollarını izleyerek boşaldığı, buna karşın daha kısıtlı bir rezervuar alanına ve daha düşük iletimlilik katsayısına sahip olduğu anlaşılmıştır. Yenişehir kaynağının ise daha dar çaplı kırık ve çatlakları izleyen ve daha yüksek iletimlilik katsayısına sahip olduğu belirlenmiştir.

Cüdeyde ve Yenişehir kaynakları su kimyası analiz sonuçlarına göre Ca, Mg HCO<sub>3</sub> tipi sularındır. Yenişehir kaynağının beslenimi daha güneyde Suriye sınırları içerisinde yer alan polyeden itibaren olmaktadır (Şekil 3). Miyosen akiferini (Üst Karstik Akifer) temsil eden sular Ca HCO<sub>3</sub>'lü sular sınıfında yer alırken, Eosen akiferini (Alt Karstik Akifer) temsil eden sular ise Ca, Mg HCO<sub>3</sub> sınıfındadır. Eosen akiferinde yer yer bor miktarı yüksek, sıcak sular ile karışım gösteren Miyosen akiferinde dolaşan yeraltı suyuna göre daha yaşlı, derin dolaşıma sahip sular bulunmaktadır.

Sahada 1997 yılında geniş açılımlı (400–700m) jeofizik rezistivite çalışmaları yapılarak, Eosen yaşlı karstik kireçtaşının derinliği araştırılmıştır. Özellikle Bakmita Sulama kooperatifi sulama sahasında yoğunlaştırılan hidrojeolojik ve jeofizik çalışmalarının sonucunda, yüzeyi örtülü eğim atımlı fayların sahayı bölümlere ayırdığı ve horst-graben şeklindeki gömülü tektonik yapıların varlığı anlaşılmıştır.

Genel olarak, sahanın güneyi ve doğu kesimi yeraltı suyu açısından verimli olup, Eosen yaşlı kireçtaşının yüzlek verdiği alanlar işletme sahası olarak uygundur. Hem Yenişehir kaynağı hem de Cüdeyde kaynağında kaynak zonu boyunca ve beslenme sahasında açılan sondaj kuyuları ile kaynak geliştirilmesinin yapılaması uygundur.

Kaynakların boşalım sahasında oluşan göllerin çevresel kirliliğe açık olması nedeniyle kirliliği önleyici tedbirlerin alınması ve özellikle Reyhanlı ilçesi ile Amik Ovasındaki bazı köylere içme, kullanma ve sulama suyu sağlayan, yörenin en önemli kaynağı konumundaki Yenişehir kaynağının ivedlikle korunma altına alınması gerekmektedir.

### ***KATKI BELİRTME***

Bu çalışma, DSİ Genel Müdürlüğü ve DSİ 6. Bölge Müdürlüğü tarafından yazarın da başlıca yürütücü olarak yer aldığı proje çalışması kapsamında gerçekleştirilmiş olup, tüm veriler söz konusu çalışmadan temin edilmiştir. Bu nedenle yazar, ilgili projeye katkılarını koyan DSİ teknik elemanlarına teşekkürü borç bilmektedir. Makalenin hazırlanmasında, Didem Yasin, Ender Sunerli ve Muhammet Konakçı teknik destek sağlamışlardır. Ayrıca, yazar, makaleye bilimsel katkılarını koyan Prof. Dr. Fikret Kaçaroğlu'na, Prof. Dr. Serdar Bayarı'ya ve Yrd. Doç. Dr. Tolga Yalçın'a şükranlarını sunmaktadır.

### ***KAYNAKLAR***

- [1] G.Günay, “*Reyhanlı-Cilvegözü Sağlık Tesislerinin İçme Suyu İhtiyacının Yeraltı Suyundan Karşılanması*”, *DSİ Teknik Raporu*, No: 15, 10 s., Adana,1964.
- [2] G.Türkmen, “*Reyhanlı, Bakmita Sulama Kooperatifi Sahası Yeraltı Suyu Etüdü*”. *DSİ Teknik Raporu*, No: 20, s. 15, Adana, 1966.
- [3] G.Türkmen, “*Reyhanlı DÜÇ Arazileri Yeraltı Suyu Durumu*”, *DSİ Teknik Raporu*, No:32, s. 20, Adana, 1968.
- [4] E.Tuncel, “*Hatay-Reyhanlı Kaynaklan Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu*”, *DSİ Teknik Raporu*, No:40, s.28, Adana, 1973.
- [5] F. Öztepe, “*Asi Havzası Hidrojeolojik Etüt Raporu*”, *DSİ Teknik Raporu*, No: J-45, s.53, 1975.
- [6] S.Gördük, “*Hatay-Reyhanlı-Cüdeyde Karst Kaynaklarının Hidrojeolojik Açıdan İncelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, Tez No: 88113, 1999.
- [7] G.Yüce, “*Hatay-Reyhanlı-Yenişehir ve Cüdeyde Kaynakları Karst Hidrojeolojisi Etüt Raporu*”, *DSİ Raporu*, No: 49, Ankara, 1999.

- [8] O.Tekinalp, “Yenişehir Gölü’nün (Reyhanlı/Hatay) Kirliliği ve Kirletici Faktörlerin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi FBE, Biyoloji Anabilim Dalı, MKÜ kütüphanesi, s.73, Antakya, 2005.
- [9] F. Şaroğlu, A. Boray, O. Emre, “Active Faults of Turkey”, MTA Raporu, No: 8643, s. 394, 1987 (yayımlanmamış).
- [10] E. Altunlu, “Hatay’ın Su Potansiyeli”, Kültür Ofset, ss. 34-42, Antakya. 2002.
- [11] E. Maillat, “Essais d’Hydraulique Souterraine et fluviale”, s. 218, Hermann, Paris, 1905.
- [12] N. Korkmaz, “Akiferlerin Boşalım Katsayılarına Göre Gruplandırılması Üzerine Bir Araştırma”, DSİ Teknik Bülteni, Sayı: 69, s.51-63, Ankara,1989.
- [13] O.E. Meinzer, “Hydrology”, McGraw Hill, s. 712, 1942.
- [14] F.R. Hall, “Base Flow Recession: a review”, Water Resources Research, No:4, ss. 973-983, 1968.
- [15] L.Kiraly, “Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers” 1 (3), s. 26, September 2003.
- [16] L. Turc, “Le bilan d’eau des sols. Relations entre la précipitations, l’évaporation et l’écoulement”, Ann. Argon., 5, ss. 491-569, 1954.
- [17] G.B. Allison, P.G.Cook, S.R. Barnett, G.R. Walker, I.D. Jolly, M.W. Hughes, “Land Clearance and River Salinization in the Western Murray Basin, Australia”, Journal of Hydrology, Vol: 119, ss.63-86, 1990.
- [18] L. Şaylan, B. Çaldağ, F.Bakanoğulları, H.Toros, O.Şen, M. Kadioğlu, K.Koçak, F.Avşar, M.A. Gürbüz, M.Yazgan, K.Alp, “Trakya bölgesinde kuraklığın, asit yağışları ve yağış rejiminin belirlenmesi projesi”, III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, ss. 97-106, İTÜ, İstanbul, 2003.
- [19] E. Root, W. Jones, B. Schwarz, J. Gibbons, B. Haileab. “Rainwater Chemistry Across the UnitedStates”, s.23, 2004.
- [20] JA. Postma, “Geochemistry, Groundwater and Pollution, vol 7. pp 12–58, Amsterdam, 1992.
- [21] J. J. Malecki, M. Szostakiewicz, “The Role of Evapotranspiration in the Formation of the Chemical Composition of Shallow Groundwater (the

- Polish Tatras*)”, *Acta Geologica Polonica*, Vol. 56, No. 4, pp. 485-492, 2006.
- [22] A.M. Piper, “*A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analysis*”, *Trans. American Geophysics Union*, No:25, ss. 914-928, 1944.
- [23] D.M. Anthony, C.Groves, J. Meiman, “*Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*” 1 (4), s. 6, December 2003.
- [24] N.Zupan Hajna, “*Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers*” 1(3), s. 6, September 2003.
- [25] J.D. Hem, “*Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*” Geological Survey Water-Supply Paper 1473, Secon Edition, s. 361, US Gov’ Printing Office, Washington, 1970.
- [26] [http://eski.kkgm.gov.tr/Birimler/Cevre\\_Afet/Anadolu\\_Su\\_Havza/Hatay.pdf](http://eski.kkgm.gov.tr/Birimler/Cevre_Afet/Anadolu_Su_Havza/Hatay.pdf) (*Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Koruma ve Kontrol Genel Müdürlüğü, Kkgm-Bp 0101/02- F 02 Aylık Su Kirliliğinde Nitrat Formu No: 3, s.2, 2004*).

