





Gazipaşa (Antalya) kıyı akiferinin hidrojeolojik kavramsal modeli Hydrogeological conceptual model of Gazipaşa coastal aquifer (Antalya)

Çağlar BOZAN¹ , Pınar AVCI² , Naciye Nur ÖZYURT³ , Celal Serdar BAYARI⁴ 

¹Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
bozancaglar@gmail.com

^{2,3,4}Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
pavci@hacettepe.edu.tr, nozyurt@hacettepe.edu.tr, serdar@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 22.03.2018, Kabul Tarihi/Accepted: 16.05.2018

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2018.58855
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Doğu Akdeniz havzasında, Antalya ili sınırları içinde bulunan Gazipaşa kıyı ovasında temel geçim tarıma dayalı olup, tarımsal sulama suyu ihtiyacı yüzey ve yeraltı suyundan sağlanmaktadır. Yüzey sularının ardışık yıllarda gerçekleşen kuraklıktan olumsuz etkilenmesi nedeniyle kıyı akiferinin sürdürülebilir kullanımı tarımsal üretim açısından önemli bir risk unsuru oluşturmaktadır. Bu durumda kıyı akiferi rezervine ilişkin oldukça eski olan bilgilerin güncel araştırma yaklaşımları ile yenilenmesi ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmada jeolojik, hidrolojik, hidrojeokimyasal ve çevresel izotopik veriler ile Gazipaşa kıyı akiferinin kavramsal hidrojeolojik modelinin oluşturulması ve su bütçesi bileşenlerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. Değerlendirmelere göre ovadaki yeraltı suyu yük dağılımı yağışlı ve kurak dönemler arasında salınım göstermekle birlikte uzun dönemde değişmemiştir. Yeraltı suyu ağırlıklı olarak Ca-HCO₃/CO₃ fasiyesinde olup, deniz suyu katkısı kıyıya yakın iki noktada gözlenmiştir. Duraylı izotop verilerine göre örneklerin tamamı Küresel Meteorik Su Doğrusu'nun (Döteryum fazlası değeri (Dex) 10) solunda, Dex değeri +16 olan Antalya Meteorik Su Doğrusu ile Yerel Meteorik Su Doğrusu (Dex=+18) arasında bulunmaktadır. Bu değerler yeraltı suyunun Akdeniz kökenli nemin oluşturduğu yağışlardan beslendiğini göstermektedir. Duraylı izotop içeriklerinden kıyı bölgesinde yüzeye yakın bazı yeraltı suyu örneklerinin buharlaşmaya uğradığı anlaşılmaktadır. Yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin trityum içerikleri 3.08 TU ile 0.33 TU arasında değişmekte olup, ortalama değer 1.95 TU'dur. Dolaşım süresi uzun yeraltı sularında, sık dolaşımli sulara göre trityum içeriği düşük, özgül iletkenlik değeri ise yüksektir. Kıyı akiferine ait yeraltı suyu bütçesine göre yıllık beslenim 71.1 Mm³ olup bunun 32.0 Mm³'ü yağıştan, 39.1 Mm³'ü ise alüvyon akiferi çevreleyen kireçtaşı ve mermer birimlerinden sağlanmaktadır. Yeraltı suyu boşalım bileşenleri, buharlaşma-terleme kaybı (25.3 Mm³), yüzeyel akış (10.6 Mm³), sulama suyu ihtiyacı (10.9 Mm³), evsel su ihtiyacı (2.4 Mm³), yeraltı suyundan (0-2 m) buharlaşma (1 Mm³) ve denize boşalım (20.9 Mm³) olarak belirlenmiştir.

Abstract

Gazipaşa coastal plain is located in the Eastern Mediterranean basin, within the borders of Antalya province. The mainstay in the coastal plain based on agriculture and the irrigation water need is provided from surface water and groundwater. The sustainable use of coastal aquifer constitutes an important element of risk in view of agricultural production as surface waters are affected adversely by the droughts that occur for consecutive years. In this case information on coastal aquifer reserve is rather old and needs to be updated with contemporary research approaches. In this study, it was aimed to establish a conceptual hydrogeological model of the Gazipaşa coastal aquifer based on geological, hydrological, hydrogeochemical and environmental isotopic data and quantified the water budget components. According to the evaluations, the groundwater head distribution in the plain fluctuates between wet and dry periods during a year, but has not changed at all in the long term. The groundwater chemistry belongs to Ca-HCO₃/CO₃ facies and the sea water contribution was observed at only two sites near the coast. According to stable isotope data, all of the samples are located on the left side of the Global Meteoric Water Line with deuterium excess value (Dex) of 10, between the Antalya Meteoric Water Line with (Dex=+16) and Local Meteoric Water Line with Dex=+18. These values suggest that the groundwater is recharged by precipitation originating from the moisture over Mediterranean Sea. ³H value of surface and groundwater samples vary between 3.08 TU-0.33 TU and the average value is 1.95 TU. Compared to shallow-circulating groundwater, tritium content of the deep-circulating groundwater is lower and the specific conductivity value is higher. According to alluvial groundwater budget calculations, total annual groundwater recharge of 71.1 Mcm is supplied by precipitation (32.0 Mcm) and by recharge from limestone and marble units (39.1 Mcm) surrounding the alluvium. Groundwater's discharge components include evapo-transpiration loss (25.3 Mcm), surface flow (10.6 Mcm), irrigation water use (10.9 Mcm), domestic use (2.4 Mcm), evaporation from water table up to 2 m from ground surface (1 Mcm) and groundwater discharge into the sea (20.9 Mcm).

Anahtar kelimeler: Yeraltısuyu yönetimi, Su kimyası, Çevresel izotoplar

Keywords: Groundwater management, Water chemistry, Environmental isotopes

1 Giriş

Gazipaşa Kıyı Ovası, Antalya ilinin doğusunda yer alan aynı adlı ilçe içerisinde bulunan bir kıyı ovasıdır. Gazipaşa ilçesinde ekonomi, açık alan ve seralarda gerçekleştirilen muz vb. ürünlerin tarımına dayalıdır. Yıl boyu sürdürülen tarım için gerekli olan sulama suyu yüzey ve yeraltı suyundan sağlanmaktadır. Yeraltı suyu kaynağı olarak ovadaki Kuvaterner yaşlı alüvyon ve Neojen konglomeraları verimli birer akifer olarak işletilmektedir. Bölgede 1970'li yılların başında yapılmış hidrojeolojik etüt çalışmasından sonra

değişen yeraltı suyu kullanımını ve gereksinimini dikkate alan ayrıntılı bir hidrojeoloji çalışması yapılmamıştır. Buna karşın ovadaki sulama suyu ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır.

Gazipaşa kıyı akiferi için ilk hidrojeolojik etüt çalışması 1973 yılında DSİ [1] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada; ovadaki akiferler ve temel hidrojeolojik özellikleri belirlenerek, ovanın hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur. Çalışmada akifer olarak tanımlanan birimler alüvyonun çakıl ve kumları ile Neojen konglomeralarıdır. Alüvyon akiferin iletkenlik katsayısının (T) 608-1777 m³/gün/m ile 3200-4164 m³/gün/m arasında değiştiği belirtilmiştir. Gazipaşa kıyı akiferi için oluşturulan

yeraltı suyu bütçesine göre beslenim; yağıştan ve yüzeysel akıştan süzülme ile boşalım ise; sıg kuyulardan çekim, buharlaşma-terleme ve Akdeniz'e boşalım ile gerçekleşmektedir.

Gazipaşa Ovası'nın yeraltı suyu durumunu ortaya koymak amacıyla yapılan diğer bir çalışma ise Keleş [2] tarafından yapılmıştır. Çalışmada alandaki jeolojik birimler, akifer olma özelliklerine göre alüvyon, çatlaklı gözenekli kaya akifer, karstik-çatlaklı kaya akifer, zayıf yersel akifer ve geçirimsiz kayalar olarak ayırtlanmıştır. Keleş [2] yeraltı suyu emniyetli verimini 20.74 Mm³/yıl olarak belirlemiştir.

Bu makalede, Gazipaşa Kıyı Ovası'ndaki güncel hidrojeolojik durumun değerlendirilmesi amacıyla ayrıntıları Bozan'da [3] verilen çalışmanın sonuçları sunulmuştur. Çalışma derlenen jeolojik, meteorolojik, hidrometrik veriler ile üretilen hidrojeokimya, çevresel izleyici ve yeraltısuyu yük verileri kullanılarak kıyı akiferinin güncel beslenim boşalım ilişkisini

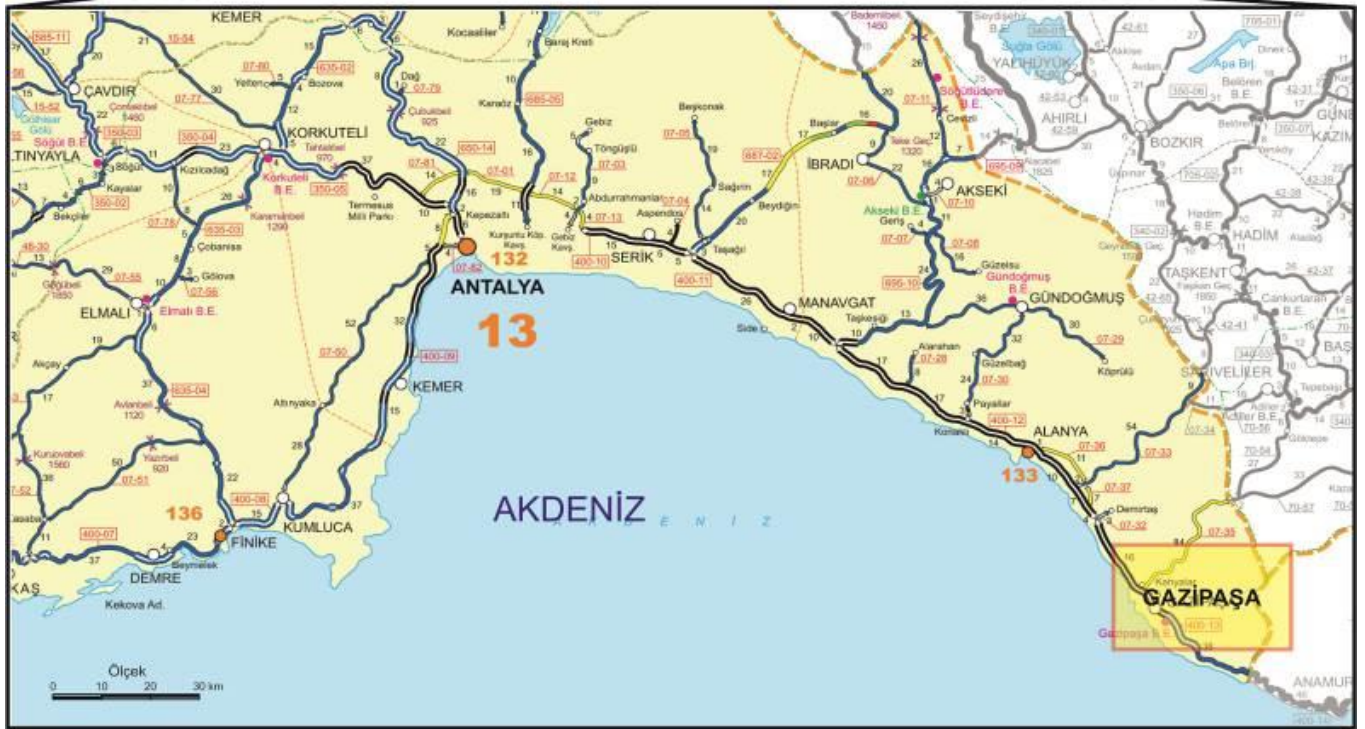
tanımlayan hidrojeolojik kavramsal modelin oluşturulmasını kapsamaktadır.

Gazipaşa Kıyı Ovası'nda hidrojeolojik kavramsal modelinin oluşturulabilmesi için alüvyon akiferinde YAS kotu değişiminin belirlenmesi, su noktalarında hidrojeokimyasal ve çevresel izotop içeriğinin belirlenmesi ve yeraltı suyu bütçesinin hesaplanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2 Çalışma alanı

2.1 Coğrafi Özellikler

Antalya ili Gazipaşa ilçesi sınırlarında bulunan Gazipaşa Kıyı Ovası 36°13'-36°34' kuzey enlemleri ile 32°15'-32°38' doğu boylamları arasındadır. Doğu Akdeniz havzasında yer alan çalışma alanının doğusunda Anamur, batısında Alanya ilçeleri bulunmaktadır (Şekil 1).



- | | | | |
|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| Bölünmüş yollar | Asfalt yollar | İlçe merkezi | Çalışma Alanı |
| Devlet yolu | İl merkezi | Bucak merkezi | |

Şekil 1: Çalışma alanı konum haritası.

Orta Toroslarda bulunan çalışma alanının güncel jeomorfolojik yapısı üzerinde Pleyistosen'deki tektonizma etkili olmuştur. Tektonizma sonucunda dağlık alanlar, alçak ve yüksek platolar ve kıyı ovası oluşmuştur. Gazipaşa Ovasının oluşum ve gelişiminde tektonizmanın yanısıra flüviyal süreçlerde etkili olmuştur [4]. Kuzeybatı-güneydoğu yönlü faylarla çöken saha, daha sonra Hacımusa, Bıçkıcı ve Delice derelerinin getirdiği alüvyonlarla dolarak ova şeklini almıştır. Bu derelerde Akdeniz ikliminin etkisiyle sadece yağışlı dönemlerle akış gözlemlenmektedir. Ovanın özellikle kıyı kesimlerinin Kuvaterner Buzullaşması sonrasında deniz seviyesinin ani yükselimi ile depolanmaya başlayan alüvyon ile doldurulduğu anlaşılmaktadır. Ovadaki akarsuların beslenme alanı yaklaşık 719 km²'dir.

Gazipaşa Kıyı Ovası'nda arazi kullanım alanları sera, narenciye ve açık tarım arazisi olarak üçe ayrılmaktadır. Ova alanı tarıma elverişli olup 11.85 km²'lik alanda seracılık yapılmakta, sera sebzeleri ve muz yetiştirilmektedir. İlçe muz üretiminde Türkiye ihtiyacının %35'ini karşılamaktadır [5]. Ayrıca ova içinde 1.45 km²'lik alanda narenciye yetiştirilmektedir. Yaklaşık 9 km²'lik alan ise açık tarım arazisi olarak kullanılmaktadır. Ova içindeki engebeli sahalarda tarım yapılmamaktadır.

2.2 Jeoloji

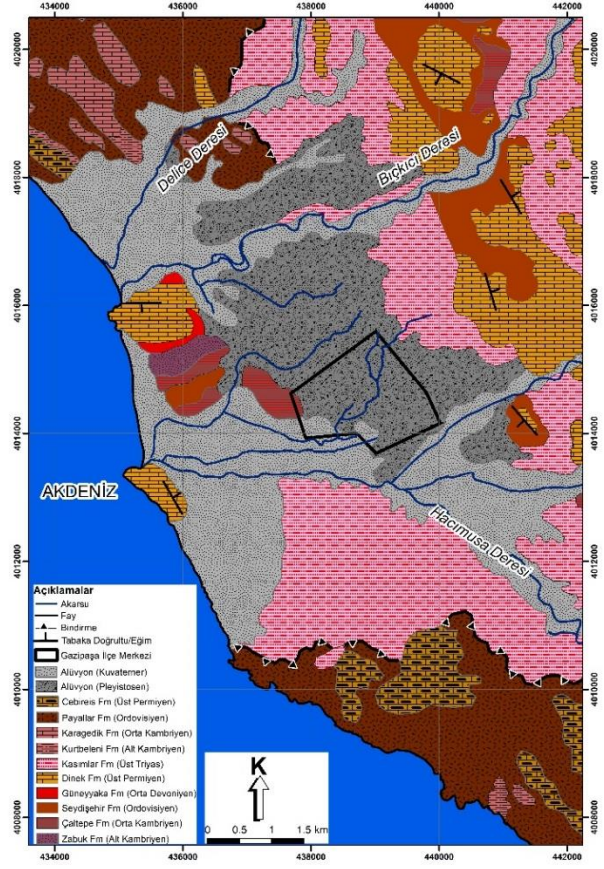
Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojik özelliklerini belirlemek amacıyla Özgül [6], Ulu [7], Erbay [8], MTA [9] tarafından çalışmalar yapılmıştır. Çalışma alanı ve çevresi Antalya ve Alanya birlikleri ile tanımlanan stratigrafik ve metamorfik özellikleri, içerdikleri kayalar ve yapısal unsurlarla birbirlerinden ayırt edilebilen birimlerden oluşmaktadır [6]. Alanya Birliği; Üst Kretase sonunda Antalya Birliğinin üzerine sıkışma tektoniği sonucu önce güneyden kuzeye ilerlemiş, bölgenin Eosen-Miyosen yaş aralığında ikinci kez sıkışması sonucu Hadim Nap'ı birimlerinin kuzey-güney yönlü ilerlemesi ile bugünkü konumlarını almışlardır [7].

Gazipaşa Kıyı Ovası ve çevresinde Akdeniz'den kuzeye doğru birçok jeolojik birim göze çarpmaktadır. Bunları genel olarak Kuvaterner alüvyon, Triyas'ın kırıntılıları, Paleozoyik kireçtaşları ve Kambriyen şist ve mermerler şeklinde gruplanabilir. Şistlerin üzerinde bulunan kireçtaşları kıvrımlı ve tabakalıdır. Şistler ve kireçtaşları arasında taban konglomerası gözlemlenmemiştir. Orta kalınlıkta tabakalanma gösteren bu birimin kalınlığının 400 m olduğu tahmin edilmektedir. Kireçtaşları gri-siyah renkli, sık dokulu, kırılğan ve karstik yapıdadır [8].

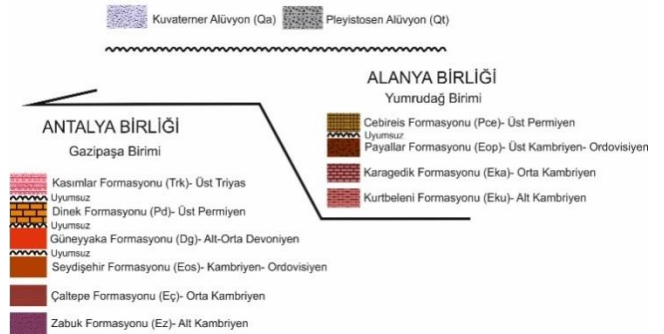
Kuvaterner yaşlı alüvyonlar akarsu vadi tabanlarında ve bu akarsuların getirdiği malzemelerden oluşan ovada gözlenmektedir.

Gazipaşa Kıyı Ovası ve yakın çevresindeki jeolojik birimlerin başlıca stratigrafik özellikleri MTA raporundan [9] derlenerek aşağıdaki şekilde özetlenmiştir. Çalışma alanını içine alan bölgede Antalya ve Alanya Birliği olmak üzere iki jeolojik birlik ayırtlanmıştır. Antalya Birliği kendi içinde Çataltepe Napı (Gazipaşa Birimi), Alakırçay Napı (Alakırçay Birimi) ve Tahtalıdağ Napı (Gündoğmuş-Katrandığı Birimleri) olmak üzere üçe ayrılmıştır. Alanya Birliği ise Mahmutlar, Sugözü ve Yumrudağ Birimi olmak üzere üçe ayrılmıştır. Gazipaşa Ovası ve çevresine ait jeolojik birimler Çataltepe Napı (Gazipaşa Birimi) ve Yumrudağ Birimi içinde bulunmaktadır. Çalışma

alanı ve çevresine ait jeoloji haritası Şekil 2(a)'da ve tektono-stratigrafik istif Şekil 2(b)'de verilmiştir.



Şekil 2(a): Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası ([9]'dan değiştirilerek).

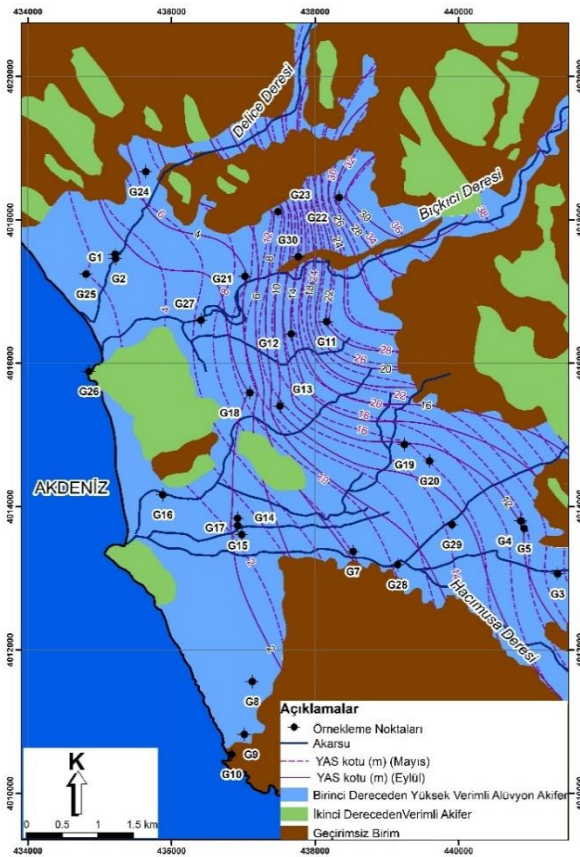


Şekil 2(b): Çalışma alanı ve çevresine ait tektono-stratigrafik istif ([9]'dan derlenerek).

2.3 Hidrojeoloji

Çalışma alanında yüzeylenen Kuvaterner alüvyon, Paleozoyik kireçtaşları (Dinek formasyonu) ve Kambriyen mermerler (Karagedik ve Kurtbeleni formasyonu) olarak gruplandırılan birimler farklı hidrojeolojik özellikler göstermektedir. Bu birimlerin yeraltı suyu taşıma ve iletme özellikleri ise birbirinden oldukça farklıdır. Alüvyonun çakıl ve kum tane boylarında malzeme içermesi nedeniyle birincil gözenekliliği, Paleozoyik kireçtaşları ve Kambriyen mermerlerin ise kırıklı yapılarından dolayı ikincil gözenekliliği yüksektir. Bu

değerlendirmeler sonucunda çalışma alanına ait hidrojeoloji haritasında sunulmuştur (Şekil 3).



Şekil 3: 2016 yılı Mayıs ve Eylül aylarına ait yeraltı suyu yük dağılım haritası.

Kuvaterner alüvyon birinci dereceden yüksek verimli taneli akifer olarak, Paleozoyik kireçtaşları ve Kambriyen mermerler ise ikinci dereceden verimli akifer olarak tanımlanmıştır.

2.3.1 Birinci dereceden yüksek verimli alüvyon akifer

Alüvyon akarsu yataklarında bulunmakta olup birinci dereceden yüksek gözeneklilik ve geçirimsizliğe sahiptir. Delice, Bıçkıcı ve Hacımusa dereleri yaklaşık 38 km²'lik alanda alüvyon biriktirmiştir. Ovada açılan kuyu verilerinden elde edilen bilgilere göre alüvyon kalınlığı en fazla 60 m'dir. Alüvyon akiferinin beslenimi yağıştan ve kireçtaşı ve mermerlerden yanıl/alttan olarak sağlanmaktadır. Alüvyon akiferinden boşalım ise kuyulardan çekim, buharlaşma-terleme ve Akdeniz'e boşalımla olmaktadır.

2.3.2 İkinci dereceden verimli akifer

Kalınlığı bölgeden bölgeye farklılık gösteren Paleozoyik kireçtaşları ve Kambriyen mermerler kırıklı çatlaklı yapısı ile ikinci dereceden verimli akifer olarak tanımlanmıştır. Ova içerisinde ve K-KD yönündeki yükselteleri oluşturmaktadır. Geçirimsiz birimler ile dokanaklarında kaynak şeklinde sularını boşaltmaktadır [4].

2.3.3 Geçirimsiz birim

Çalışma alanında Alanya Birliği Yumru dağ Biriminde bulunan Payallar ve Kurtbeleni formasyonları ile Antalya Birliği

Çataltepe Napı Gazipaşa Biriminde bulunan Kasımlar ve Seydişehir formasyonları hidrojeolojik olarak su iletme kabiliyetleri olmadığından geçirimsiz birim olarak tanımlanmaktadır.

2.4 Su noktaları

Gazipaşa Kıyı Ovası'nda bulunan su noktaları akarsular ve kaynaklar ile sondaj ve şahıs kuyuları olarak iki grupta incelenmiştir. Çalışma kapsamında örnekleme yapılan su noktalarının koordinatları ve kotları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Su noktalarının koordinatları (UTM zon: 36 N).

Örnekleme Noktası	Açıklama	Koordinat		
		X	Y	Z(m)
G1	62589 No.lu Gözlem Kuyusu	435217.6	4017524.3	7.70
G2	Delice Deresi 62590 No.lu	435224.7	4017461.5	3.12
G3	Gözlem Kuyusu	441381.7	4013062.8	27.61
G4	Şahıs Kuyusu	440868.3	4013802.1	33.31
G5	Şahıs Kuyusu	440914.0	4013695.6	27.82
G6	Şahıs Kuyusu	441929.7	4015129.3	56.06
G7	52921 No.lu İşletme Kuyusu	438531.7	4013376.7	13.32
G8	Şahıs Kuyusu	437128.2	4011563.4	4.34
G9	Şahıs Kuyusu Akdeniz	437017.3	4010823.9	4.09
G10	(Deniz suyu örneği)	436840.4	4010546.1	0.06
G11	Şahıs Kuyusu	438164.7	4016582.7	40.38
G12	Şahıs Kuyusu	437669.7	4016412.9	22.95
G13	Şahıs Kuyusu	437512.2	4015404.9	21.79
G14	Şahıs Kuyusu	436981.8	4013614.3	6.38
G15	Şahıs Kuyusu	436924.7	4013739.0	7.75
G16	Şahıs Kuyusu	435881.6	4014168.1	2.90
G17	Şahıs Kuyusu	436923.3	4013840.6	7.36
G18	Şahıs Kuyusu	437094.6	4015590.2	24.39
G19	Şahıs Kuyusu	439248.9	4014867.0	22.33
G20	Şahıs Kuyusu	439595.6	4014637.6	21.11
G21	Şahıs Kuyusu	437026.7	4017213.7	24.21
G22	Şahıs Kuyusu	438337.5	4018313.4	41.72
G23	Şahıs Kuyusu	437484.8	4018116.9	26.19
G24	Şahıs Kuyusu	435644.5	4018672.8	12.06
G25	Şahıs Kuyusu	434810.7	4017244.7	4.18
G26	Mağara Kaynağı	434847.6	4015885.3	5.00
G27	Bıçkıcı Deresi	436411.8	4016602.3	5.52
G28	Hacımusa Deresi	439151.5	4013191.6	12.03

2.4.1 Akarsular ve kaynaklar

Gazipaşa Ovası'nın kuzey/kuzeydoğusundan doğup Akdeniz'e boşalan Delice, Bıçkıcı ve Hacımusa dereleri bulunmaktadır. Delice Deresi'nin drenaj alanı 135 km², Bıçkıcı Deresi'nin drenaj alanı 158 km² ve Hacımusa Deresi'nin drenaj alanı 426 km²'dir.

Arazi çalışmalarında yapılan gözlemler sonucunda derelerin akış gösterdiği dönemlerde akarsudaki sular sulama kanalına aktarılmaktadır. Alüvyon akiferin yayıldığı ova genelinde ve özellikle akarsuların yakın çevresinde yoğun olarak inşaa edilen sulama kanalları ile sulama suyu ihtiyacı karşılanmaktadır. Delice ve Bıçkıcı dereleri üzerinde bulunan İnceğiz ve Gökçeler akım gözlem istasyonlarının (AGİ) yıllık akımlarının ortalaması sırasıyla 4.09 m³/s ve 2.26 m³/s olarak ölçülmüştür [3].

Bıçkıcı Deresi'nin Akdeniz'e döküldüğü noktada Mağara kaynağı olarak adlandırılan kaynak karstik olarak gelişmiş mağaradan boşalmaktadır. Kaynağın debisi yaklaşık 16 l/s'dir.

2.4.2 Sondaj ve şahıs kuyuları

Gazipaşa Kıyı Ovası'nda yapılan yoğun ve sürekli artan tarımsal faaliyetin doğal sonucu olarak artan su ihtiyacını karşılamak üzere 25 adet işletme kuyusu DSİ Genel Müdürlüğü'nce açılıp Gazipaşa Sulama Birliği'ne devredilmiştir. Kuyular alüvyon akiferde açılmış olup, kuyuların derinlikleri 10-60 m, debileri ise 13-90 l/s arasında değişmektedir. Yaz aylarında derelerde su bulunmadığından işletme kuyuları çalıştırılarak sulama suyu ihtiyacı giderilmektedir.

Gazipaşa Kıyı Ovası'nda sulama birliğince işletilen kuyulara ek olarak çok sayıda şahıs kuyusu da bulunmaktadır. Arazi çalışmalarında 20 farklı şahıs kuyusunda örnekleme yapılmıştır.

3 Veriler ve veri üretim yöntemleri

Bu çalışmada ihtiyaç duyulan geçmiş jeohidrolojik ve hidrometrik veriler DSİ Genel Müdürlüğü ve DSİ XIII. Bölge Müdürlüğü kaynaklarından temin edilmiştir. Meteorolojik veriler ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Gazipaşa-Alanya otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGİ) ölçümlerinden sağlanmıştır. Yağış, buharlaşma, ortalama sıcaklık verileri 1970-2015 yılları için aylık olarak temin edilmiştir.

Çalışma kapsamında arazide üretilen veriler yüzey ve yeraltı sularına ait hidrojeokimyasal ve çevresel izotopik özelliklerinin belirlenmesinin yanı sıra alansal hidrolik yük dağılımına yönelik 2016 yılı Mayıs ve Eylül ayları yeraltı suyu seviye gözlemlerini kapsamaktadır.

Yüzey ve yeraltı suyu noktalarının özellikle su seviye gözlemi yapılan kuyuların yeraltı suyu kotlarının (YAS kotu) hassasiyetle belirlenmesi topografik eğimin az olduğu yerlerde büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle arazi çalışmalarında kuyu başı kotlarının belirlenebilmesi için Spektra Precision Marka Epoch 50 GNSS (Global Navigation Satellite System) cihazıyla (diferansiyel GPS) çoklu uydu (15 uydu) bağlantısıyla statik ölçümde TUSAGA-Aktif sistemi kullanılarak yatayda +/- 3 mm, düşeyde +/- 5 mm, yükseklikte +/- 10 mm hata payı ile koordinatlandırma çalışmaları yapılmıştır. Arazi çalışmalarının tamamında ölçüm yapılabilmesi mümkün olan mevcut işletme kuyularında ve şahıs kuyularında yeraltı suyu derinlikleri elektrikli metre ile ölçülmüştür. Elektrikli metre ile kuyu başından itibaren suyun ne kadar derinde olduğu belirlendikten sonra GPS ile belirlenen kuyu başı kotlarından su derinliği çıkarılarak su noktalarındaki YAS kotu belirlenmiştir. YAS kotları ölçüm yapılan kuyulardaki statik su seviyesini temsil etmektedir.

2016 yılı Mayıs ve Eylül aylarında yapılan arazi çalışmalarında çalışma alanında seçilen 28 örnekleme noktasında su kimyası ve çevresel izotop çalışmaları için örnekleme yapılmıştır.

Major anyon ve katyon içeriğinin belirlenebilmesi için 500 ml'lik, trityum için 500 ml'lik, duraylı izotop için 30 ml'lik polietilen şişelere hava içermeyecek şekilde örnek alınmıştır. Bu örneklerde sıcaklık, özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), pH ve çözünmüş oksijen (ÇO) değerleri YSI MPS556 model çok parametrel su kalitesi ölçüm cihazı ile yerinde ölçülmüştür. Cihazın arazi çalışmaları öncesi kalibrasyonunda pH 7 ve 10 tamponlar ve 1413 µS/cm'lik iletkenlik çözeltisi kullanılmış, çözünmüş oksijen kalibrasyonu ise her örnekleme noktasında ölçülen barometrik basınca bağlı olarak yapılmıştır.

Standartlara uygun olarak hava içermeyecek şekilde alınan örneklerinin majör anyon-katyon (Na⁺, K⁺, Mg⁺², Ca⁺², NH₄⁺, Cl⁻, SO₄⁻², HCO₃⁻, CO₃⁻², F⁻, Br⁻, NO₃⁻, NO₂⁻), ve trityum içerikleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Trityum Laboratuvarlarında belirlenmiştir. Majör iyon içerikleri iyon kromatografi tekniği, alkalinite titrasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Trityum analizleri ön damıtma, alkali-elektrolitik zenginleştirme ve art damıtma sonrasında Sıvı Parıldama Sayım tekniği ile belirlenmiştir. Duraylı izotop ölçümleri Utah Üniversitesi Sirfer Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

4 Hidrojeolojik kavramsal modelin oluşturulması

Gazipaşa Kıyı Ovası'nda hidrojeolojik kavramsal modelinin oluşturulabilmesi için kıyı akiferinde YAS kotu değişiminin belirlenmesi, su noktalarında hidrojeokimyasal ve çevresel izotop içeriğinin kurak ve yağışlı dönemde değişiminin izlenmesi ve yeraltı suyu bütçesinin hesaplanmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

4.1 YAS kotu gözlemleri

Arazi çalışmalarında ölçüm yapılabilmesi mümkün olan mevcut işletme ve şahıs kuyularında YAS kotları ölçülmüştür. 2016 yılı Mayıs ve Eylül aylarında yapılan arazi çalışmalarında belirlenen YAS kotu değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. YAS kotu değerlerinin zamanla değişimi incelendiğinde; yaz aylarında yağışın gerçekleşmemesi ve yeraltı suyu çekiminin artması sonucu Eylül dönemi YAS kotu değerleri, Mayıs dönemine göre daha düşüktür.

YAS kotu ölçümü yapılan kuyularda Mayıs ve Eylül ayları için yeraltı suyu yük dağılım haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Çalışma alanında yeraltı suyu akım yönü denize doğrudur. Şekil 3 incelendiğinde Hacımusa Deresi çevresinde akım yönü her iki dönemde de aynı iken, ovanın orta kesimlerinde noktasal çekimlere bağlı olarak dönem içinde yük değişimi gerçekleştiği görülmektedir. Eylül döneminde YAS kotu değerlerinin düşük olması kıyı bölgelerinde tuzlu su girişimi riskini arttırmaktadır. Dolayısıyla kıyıya yakın kuyularda olası tuzlusu girişimi riskine karşı sürekli gözlem yapılmalıdır.

Bıçkıcı Deresi'nin ortalama 1192 m²/gün [1] iletimliliğe sahip olması ve çevresinde alansal yeraltı suyu çekiminin fazla olması YAS kotunun düşmesine ve kireçtaşı/mermer akiferi ile hidrolik yük farkının artmasına neden olmuştur. Hacımusa Deresi'nin ortalama 3682 m²/gün [1] olan iletimliliği Bıçkıcı Deresi'ne kıyasla yüksek olması nedeniyle hidrolik eğim daha düşüktür. Ayrıca G18 kuyusunda aşırı yeraltı suyu çekiminden dolayı noktasal bir değişim görülmektedir.

Tablo 2: YAS kotu gözlemleri.

Örnekleme Noktası	Açıklama	YAS Kotu (m)	
		Mayıs 2016	Eylül 2016
G1	62589 No.lu Gözlem Kuyusu	2.38	1.37
G3	62590 No.lu Gözlem Kuyusu	23.37	13.18
G4	Şahıs Kuyusu	*	*
G5	Şahıs Kuyusu	19.57	12.04
G6	Şahıs Kuyusu	34.82	*
G7	52921 No.lu İşletme Kuyusu	8.04	*
G8	Şahıs Kuyusu	*	*
G9	Şahıs Kuyusu	0.22	0.24
G11	Şahıs Kuyusu	27.76	22.21
G12	Şahıs Kuyusu	18.95	*
G13	Şahıs Kuyusu	13.59	10.45
G14	Şahıs Kuyusu	*	*
G15	Şahıs Kuyusu	2.60	2.34
G16	Şahıs Kuyusu	*	*
G17	Şahıs Kuyusu	*	*
G18	Şahıs Kuyusu	*	2.15
G19	Şahıs Kuyusu	15.68	11.87
G20	Şahıs Kuyusu	16.11	10.98
G21	Şahıs Kuyusu	8.96	3.78
G22	Şahıs Kuyusu	33.57	29.39
G23	Şahıs Kuyusu	12.69	8.47
G24	Şahıs Kuyusu	7.36	4.44
G25	Şahıs Kuyusu	1.93	0.25
G29	27020 No.lu İşletme Kuyusu	*	9.58
G30	28623 No.lu İşletme Kuyusu	*	*

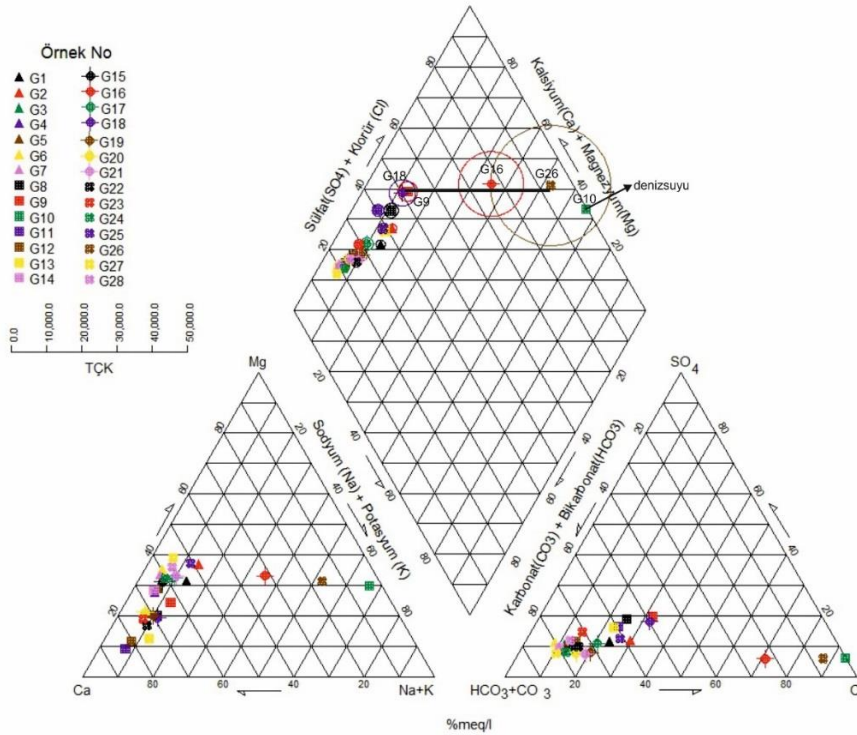
(*): Bu noktalarda YAS kotu ölçilememiştir.

4.2 Hidrojeokimya gözlemleri

2016 yılı Mayıs ve Eylül aylarında yapılan arazi çalışmasında su noktalarında yerinde ölçülen sıcaklık, ÖEİ, pH ve ÇO ölçümlerinin en düşük, en yüksek, ortalama değerleri Tablo 3'te verilmiştir. İki dönem örneklemeleri arasında büyük farklılıklar ölçülmediğinden bu çalışmada 2016 yılı Mayıs verileri kullanılarak değerlendirmeler yapılmış olup ayrıntılı değerlendirmelere HÜ-BAB-FHD-2015-9161 No.lu rapordan [10] ulaşılabılır. Mayıs gözlemlerinde en düşük sıcaklık 17.13 °C ile 62590 No.lu gözlem kuyusunda (G3) ölçülürken, en yüksek sıcaklık 28.49 °C ile Delice Deresi'ndedir. Ortalama sıcaklık ise 20.46°C ölçülmüştür. Deniz suyunun ÖEİ değeri en yüksek iken, Bıçkıcı Deresi'nin ÖEİ değeri en düşüktür. Ölçülen pH değerleri 6.07-8.12 arasında olup ortalama değer 7.23'tür. Çalışma alanında ÇO içeriği 3.50-9.49 mg/l arasında değişmektedir.

Mayıs ayı örneklerine ait majör iyon içeriği EK-1'de verilmiştir. Bütün örneklerin analiz sonuçları kabul edilebilir hata payına (% elektro-nötrallite) % EN sahiptir. Çok sayıda örneğe ait majör iyon değişiminin değerlendirilebilmek için yaygın olarak kullanılan yöntem olan Piper diyagramı çizilmiştir.

Mayıs ayı analiz sonuçlarına göre çizilen Piper Diyagramı'nda (Şekil 4) Akdeniz'den alınan deniz suyu örneği (G10), Mağara kaynağından alınan örnek (G26) ve 2894 µS/cm ÖEİ değerine sahip G16 örneğinin NaCl fasiyesinde olduğu gözlemlenmiştir. Toplam çözülmüş madde miktarının bir göstergesi olan ÖEİ değerlerinin deniz suyu ile teması sonucu yükseldiği düşünülmektedir. Deniz suyu örneği çalışma alanında uç bileşeni temsil etmektedir. Bunların dışında kalan diğer yüzey ve yeraltı suyu örneklerinin tamamı CaCO₃/CaHCO₃⁻ fasiyesindedir.



Şekil 4: 2016 yılı Mayıs ayında örneklenen yüzey ve yeraltı sularına ait Piper diyagramı.

Tablo 3: 2016 yılı Mayıs ve Eylül aylarında ölçülen fiziksel ve kimyasal parametreler.

	2016 yılı Mayıs ayı örnekleme				2016 yılı Eylül ayı örnekleme			
	T (°C)	ÖEİ (µS/cm)	pH	ÇO (mg/l)	T (°C)	ÖEİ (µS/cm)	pH	ÇO (mg/l)
En Düşük	17.13	361	6.07	3.50	14.64	375	6.31	0.96
En Yüksek	28.49	58530	8.12	9.49	28.16	61036	7.54	8.78
Ortalama	20.46	2995	7.23	8.29	20.05	3207	6.83	5.31

Piper diyagramına göre ÖEİ değeri 2894 µS/cm olan G16 örneği; G26 ve G18-G9 örneklerinin örneklerin karışım doğrusu üzerinde yer almaktadır. ÖEİ değeri toplam çözünmüş katı (TÇK) miktarının bir göstergesi olduğu için G9, G18, G16, G26 örneklerinin ÖEİ içeriklerine göre çizilen TÇK dairelerine göre karışımdan bahsetmek söz konusu değildir.

4.3 Çevresel izotop gözlemleri

Çalışma kapsamında örneklenen yüzey ve yeraltı sularının etkilendiği fiziksel ve kimyasal süreçlerin belirlenebilmesi için çevresel izotoplardan (¹⁸O, ²H, ³H) yararlanılmıştır. Analiz sonuçları binde (‰) olarak Viyana Standart Okyanus Suyu (VSMOW) standarttan sapma (δ) olarak ifade edilmiştir. Tablo 4'te 2016 yılı Mayıs ayı ve Tablo 5'te Eylül ayı örneklerinin çevresel izotop verilerine ait bazı istatistikler verilmiştir.

Tablo 4: 2016 yılı Mayıs ayı örneklerinin çevresel izotop verilerine ait bazı istatistikler.

	En yüksek	En düşük	Ortalama
³ H (TU)	3.08	0.33	1.95
δ ¹⁸ O (‰VSMOW)	1.4	-6.8	-5.7
δ ² H (‰VSMOW)	9.2	-35.9	-29.3

Tablo 5: 2016 yılı Eylül ayı örneklerinin çevresel izotop verilerine ait bazı istatistikler.

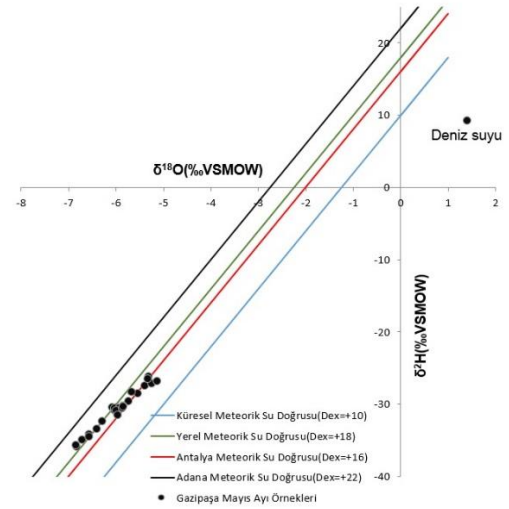
	En yüksek	En düşük	Ortalama
³ H (TU)	2.62	0.78	1.72
δ ¹⁸ O (‰VSMOW)	1.5	-7.9	-5.8
δ ² H (‰VSMOW)	10.3	-43.1	-29.8

4.3.1 Oksijen-18 ve Döteryum(²H)

Çalışma kapsamında 2016 yılı Mayıs ve Eylül ayında örneklenen yüzey ve yeraltısuyu örneklerinin δ¹⁸O (‰VSMOW) ve δ²H (‰VSMOW) içerikleri büyük farklılıklar göstermediğinden hidrojeokimya gözlemlerinde olduğu gibi Mayıs ayı analiz sonuçları değerlendirmeye alınmıştır.

Alınan 28 örnekten en yüksek δ¹⁸O içeriği deniz suyuna (1.4 ‰VSMOW), en düşük δ¹⁸O içeriği ise Bıçkıcı Deresi'ne (-6.8 ‰VSMOW) aittir. En yüksek δ²H değeri 9 ‰VSMOW ile deniz suyuna, en düşük δ²H değeri ise -35.9 ‰VSMOW ile G24 kuyusuna aittir. Gazipaşa Kıyı Ovası'na ait örneklerin ortalama δ¹⁸O içeriği -5.7 ‰VSMOW ve δ²H içeriği -29.3 ‰VSMOW olarak belirlenmiştir. Çalışma alanına ait örneklerin δ¹⁸O-δ²H grafiği Şekil 5'te verilmiştir. Örneklerin tamamı Küresel Meteorik Su Doğrusu'nun [11] solunda, döteryum fazlası (Dex) değeri +16 olan Antalya Meteorik Su Doğrusu [12] ile Yerel Meteorik Su Doğrusu (Dex=+18) arasında bulunmaktadır. Bu durum yeraltı sularının Akdeniz kökenli nemin oluşturduğu

yağışlardan beslendiğini göstermektedir. Grafikte eksenlerin pozitif kısmında bulunan örnek deniz suyu örneğidir.



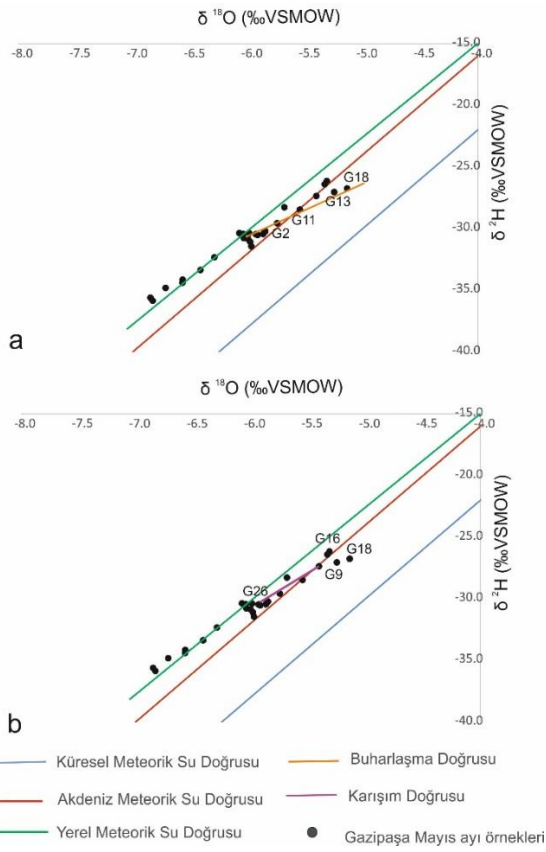
Şekil 5: 2016 yılı Mayıs dönemine ait örneklerin δ¹⁸O-δ²H grafiği.

G2, G11, G13 ve G18 örneklerinin Yerel Meteorik Su Doğrusundan (Dex=+18) pozitif yönde saptığı (zenginleştiği) görülmektedir (Şekil 6(a)). G2 örneği Delice Dere'sinden alınmış olup örnekleme noktasının beslenme noktasına göre çok düşük kotta bulunmasından dolayı örnekleme anına kadar örneğin buharlaşmış olduğu anlaşılmaktadır. Diğer yandan, majör iyon içeriğine göre G9 ve G26 örneğinin karışımından oluştuğu düşünülen G16 örneğinin, duraylı izotop değerlendirmesinde karışım doğrusu üzerinde bulunmadığı belirlenmiştir (Şekil 6(b)).

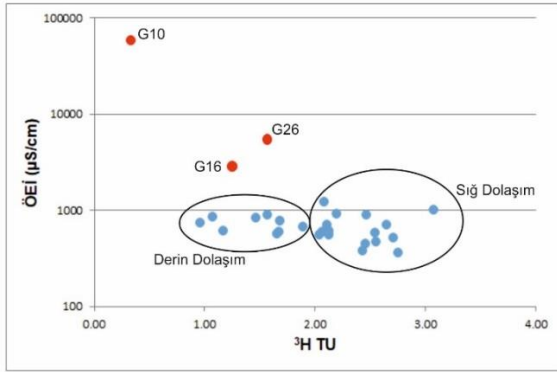
4.3.2 Trityum(³H)

Gazipaşa Kıyı Ovası'nda 2016 yılı Mayıs ayında 28 örnekleme noktasından alınan yüzey ve yeraltı suyu örneğinde belirlenen en yüksek trityum içeriği 3.08 TU ile G8 kuyusunda, en düşük trityum içeriği ise 0.33 TU ile deniz suyu örneğinde ölçülmüştür. Ortalama ³H değeri 1.95 TU'dur

ÖEİ-³H grafiğine (Şekil 7) göre majör iyon değerlendirmesinde ÖEİ değeri yüksek olup, NaCl fasiyesinde bulunan deniz suyu (G10), mağara kaynağı (G26) ve G16 örnekleri kırmızı renkte işaretlenmiştir. Bu örnekler dışında kalan CaHCO₃/CaCO₃ fasiyesindeki yüzey ve yeraltı suyu örnekleri mavi renkte gösterilmiş olup trityum içerikleri 1-3 TU arasında değişmektedir. Düşük ³H ve yüksek ÖEİ içeriğine sahip örnekler alüvyon akiferdeki yeraltı suyuna göre daha uzun dolaşım ve daha derin akım yolları boyunca kuyulara ulaşan yeraltı sularıdır. Yüksek ³H ve düşük ÖEİ içerikleri ise alüvyon akiferindeki daha sığ dolaşım ve yeraltında kalış süresinin görece kısa (genç) sular olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 6: Çalışma alanı büyütülmüş δ¹⁸O- δ²H grafiği.



Şekil 7: 2016 yılı Mayıs ayı analiz sonuçlarına göre oluşturulan ÖEI - ³H grafiği.

4.4 Hidrolojik bütçe bileşenlerinin belirlenmesi

Hidrolojik su bütçesinin belirlenmesi ile Gazipaşa kıyı akiferi için sürdürülebilir su kullanım senaryolarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Hidrolojik bütçe hesabı yapılırken aşağıdaki bütçe eşitliği (1) kullanılmıştır.

$$\Delta S (\text{Yeraltısu Depolamasındaki Değişim}) = \text{Beslenim} - \text{Boşalım} \quad (1)$$

Gazipaşa kıyı akiferi için bütçe eşitliğinde beslenim bileşenlerini akifer alanına düşen yağış ve akiferi çevreleyen kireçtaşı/mermerlerden gerçekleşen yanıl ve alttan beslenim oluşturmaktadır. Akarsu yatağından yeraltı suyu beslenimi ovada bulunan akarsuların devamlı akış göstermemesinden dolayı hesaba katılmamıştır. Boşalım bileşenlerini ise; alandan gerçekleşen buharlaşma-terleme, evsel su ihtiyacı, bitki sulama

suyu ihtiyacı (kuyulardan çekilen su miktarı), yeraltı suyundan buharlaşma, akiferden denize boşalım ve yüzeysel akış oluşturmaktadır. Beslenim ve boşalım arasındaki fark alüvyon akifer için depolamadaki değişimi verecektir. Bu bilgiler doğrultusunda Gazipaşa Ovası kıyı akiferi için su bütçesi eşitliği (2) aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\Delta S = (Y + Bkçt) - (BT + YA + \text{Çevsel} + \text{Çsulama} + \text{Byas} + \text{Bdeniz}) \quad (2)$$

Eşitlikte ΔS: depolamadaki değişim, Y: Yağış, Bkçt: Kireçtaşı/Mermer Beslenimi, BT: Buharlaşma Terleme miktarı, YA: Yüzeysel Akış, Çevsel: Evsel Su İhtiyacı, Çsulama: Sulama Suyu İhtiyacı, Byas: Yeraltı suyundan Gerçekleşen Buharlaşma ve Bdeniz: Denize Boşalım olarak tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamında hidrolojik bütçe bileşenleri uzun yıllık ortalamalar kullanılarak hesaplanmıştır.

4.4.1 Yağış

Alansal ortalama yağışın belirlenmesi için Gazipaşa OMGİ'nun 1970-2014 yılları için yıllık toplam yağış değerleri kullanılarak yıllık ortalama yağış 836.6 mm (En düşük: 408.2 mm, En yüksek: 1431.3 mm Standart Sapma: 224.0 mm) olarak hesaplanmıştır. Gazipaşa Ovası'nın toplam alanı 38 km² ile ovaya düşen ortalama yağış (836.6 mm) çarpılarak hesaplama yapılmıştır. Buna göre Gazipaşa Ovası'nda yağıştan beslenim 32 Mm³/yıl olarak hesaplanmıştır.

4.4.2 Buharlaşma terleme

Çalışma alanında alansal buharlaşma-terlemenin belirlenmesi için mevcut meteorolojik gözlemler göz önüne alınarak Turc yaklaşımı [13] tercih edilmiştir. Yıllık gerçek buharlaşma terleme eşitliği (3) aşağıdaki gibidir.

$$ETG = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (3)$$

ETG : Gerçek buharlaşma-terleme (mm),
P : Yıllık ortalama yağış (mm),
L : Sıcaklığa bağlı katsayı (300+25T+0.005T³).

Turc yaklaşımı ile alansal buharlaşma-terlemenin belirlenebilmesi için DMİ Gazipaşa OMGİ'nun 1970-2015 yıllarına ait ortalama yıllık sıcaklık ve yıllık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Eşitlikte ortalama yıllık yağış ve ortalama sıcaklık için 1970-2015 yıllarına ait değerler kullanılarak ortalama ETG değeri 665.8 mm olarak hesaplanmıştır Buna göre Gazipaşa Kıyı Ovası'ndan toplam buharlaşma-terleme kaybı 25.3 Mm³/yıl olarak belirlenmiştir.

4.4.3 Yüzeysel akış

Delice ve Bıçkıcı dereleri üzerinde bulunan İnceğiz ve Gökçeler AGİ'ye ait yıllık ortalama akım değerleri kullanılarak ortalama yağıştan itibaren yıllık toplam akımlar aşağıdaki eşitlik (4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\left(\frac{P_i}{Port}\right) \times Qort = Q_i \quad (4)$$

Pi : Yıllara göre toplam yağış (mm),
Port : Yıllık ortalama yağış (mm),
Qort : Yıllık toplam akımların ortalaması (m³/s)
Qi : Yıllara göre toplam akım (m³/s).

Eşitliğe göre hesaplama yapılırken İnceğiz AGİ ve Gökçeler AGİ yıllık ortalama akım değerleri sırasıyla 4.09 ve 2.26 m³/s'dir [3]. İnceğiz ve Gökçeler AGİ'den 1970-2015 yıllarında geçen ortalama akım beslenme alanında oluşan yüzeysel akışı göstermektedir. Gazipaşa Kıyı Ovası'nda oluşan akım ise beslenme alanında oluşan akımla oranlanması ile hesaplanmıştır (Tablo 6).

Tablo 6: Yüzeysel akışın hesaplanması.

	Alan(km ²)	Qinceğiz+Qgökçeler (m ³ /s)	Yüzeysel Akış (Mm ³ /yıl)
Beslenme Alanı	719	6.35	200.25
Gazipaşa Ovası	38	0.34	10.58

4.4.4 Sulama suyu ihtiyacı

Gazipaşa Ovası'nda sulama suyu ihtiyacı yağışlı dönemde Bıçkıcı, Delice ve Hacımusa derelerinden sulama kanalına aktarılan yüzey suyu ile kurak geçen yaz aylarında ise yeraltı suyundan karşılanmaktadır. Bu nedenle sulama suyu ihtiyacı belirlenirken ovada tarımı yapılan bitki türlerinin sulama suyu ihtiyacı dikkate alınmıştır. Gazipaşa Ovası'nda genellikle seralarda muz, açık tarım arazilerinde domates, biber salatalık ve narenciye yetiştirilmektedir. Bu doğrultuda Blaney-Cridle eşitliği [14] kullanılarak ovada yetişen muz, narenciye ve domates, biber ve salatalık için sulama suyu ihtiyacı hesaplanmıştır. Bitki türleri için hesaplanan sulama suyu ihtiyacı bitki türlerinin yetiştiği alanlar ile çarpılarak Gazipaşa Kıyı Ovası'nda gerçekleşen tarım faaliyetleri için gerekli sulama suyu ihtiyacı belirlenmiştir. Gazipaşa Kıyı Ovası'nda toplam 22.3 km²'lik alanda tarım yapılmaktadır. Açık tarım arazisi için hesaplanan 9 km²'lik alanda yetiştirilen domates, biber ve salatalık alanları eşit kabul edilmiştir. Buna göre Gazipaşa Kıyı Ovası'nda yıllık sulama suyu ihtiyacı 15.78 Mm³'tür (Tablo 7).

Tablo 7: Yıllık toplam sulama suyu ihtiyacının belirlenmesi.

	Bitki Türü				
	Narenciye	Muz	Domates	Biber	Salatalık
Tarım alan(km ²)	1.45	11.85	3.00	3.00	3.00
Sulama suyu ihtiyacı(mm/yıl)	395.0	922.9	302.5	617.9	503.6
Sulama suyu ihtiyacı(Mm ³)	0.57	10.93	0.9	1.85	1.51
Toplam sulama suyu ihtiyacı(Mm ³)	15.78				

Gazipaşa Kıyı ovasında sulama suyu ihtiyacı 15.78 Mm³ olmasına karşın bu ihtiyacın tamamı yeraltı suyundan karşılanmamaktadır. Uzun yıllar ortalamasına göre 15.78 Mm³ sulama suyu ihtiyacının 10.86 Mm³'ü yeraltı suyundan, 4.93 Mm³'ü ise yüzey suyundan karşılanmaktadır [3].

4.4.5 Eysel su ihtiyacı

Gazipaşa'da yaşayan nüfusun evsel su ihtiyacının belirlenebilmesi için 2016 yılı nüfus sayımı dikkate alınmıştır [15]. 49.207 nüfuslu Gazipaşa için kişi başı su ihtiyacı (137 l/gün) [16] dikkate alındığında evsel su ihtiyacı 2.4 Mm³/yıl olarak belirlenmiştir.

4.4.6 Yeraltısuyundan buharlaşma

Gazipaşa kıyı akiferinin hidrolojik bütçe bileşenleri değerlendirilirken yeraltı suyundan buharlaşma miktarı da bütçe eşitliğine (2) dahil edilmiştir. YAS kotunun yüzeye yakın

olduğu akiferlerde yeraltı suyundan da buharlaşma gerçekleşmektedir. Gazipaşa kıyı akiferinin özellikle denize yakın kesiminde yeraltı suyu seviyesi oldukça sığdır. Yeraltı suyu derinliğinin 0-2 m arasında değiştiği kıyı zonundan gerçekleşen buharlaşmanın hesaplanması için 2016 yılı Mayıs ayı yeraltı suyu seviye ölçümleri kullanılarak yeraltı suyu derinlik haritası oluşturulmuş ve 0-2 m derinliğe sahip alan 0.9 km² olarak hesaplanmıştır [3]. 1979-2015 yılları için Gazipaşa Ovası'nda açık yüzey buharlaşması MGM tarafından 1430.2 mm/yıl olarak ölçmüştür. 0-2 m yeraltı suyu derinliğine sahip alanda gerçekleşen buharlaşma, düzeltme katsayısı (tava buharlaşması için 0.8) kullanılarak [17] 1.0 Mm³/yıl olarak hesaplanmıştır.

4.4.7 Denize boşalım

Gazipaşa kıyı akiferinden denize boşalmanın belirlenebilmesi için Bıçkıcı ve Hacımusa dere kesitlerinden akifer genişliği boyunca hidrolik eğim altında boşalan su hacmi hesaplanmıştır. Buna göre iletimlilik katsayısı 1192 m²/gün olan Bıçkıcı dere kesitinden yıllık 3.2 Mm³ ve iletimlilik katsayısı 3682 m²/gün olan Hacımusa Dere kesitinden 17.7 Mm³ yeraltı suyu denize boşalmaktadır. Kıyı akiferinden toplam denize boşalım miktarı ise 20.9 Mm³/yıl olarak hesaplanmıştır [3].

4.4.8 Depolamadaki değişim

YAS kotu değerlendirmelerinde ardışık kurak ve yağışlı dönem sonundaki değişimin belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle çalışma alanında DSİ XIII. Bölge Müdürlüğü'nün uzun süreli YAS kotu gözlemlerinden yararlanılmıştır. Ovada açılan 5 farklı işletme kuyusunda 1999-2015 yılları arasında yapılan YAS kotu ölçümlerine göre yıl içinde +/-3 m'yi bulan yeraltı suyu seviye salınımlarına rağmen ovada uzun dönemde YAS kotu korunmaktadır (Şekil 8). Bu sebeple kıyı akiferinde yeraltı suyu depolanmasının değişmediği beslenimin boşalma eşit olduğu kabul edilmiştir.

4.4.9 Kireçtaşı/Mermer beslenimi

Gazipaşa kıyı akiferi yeraltı suyu bütçesindeki doğrudan ölçümü mümkün olmayan, dolayısıyla belirsizliği en büyük bileşen kireçtaşı/mermer akiferden alüvyon akifere gerçekleşen beslenimdir. Ovada açılan işletme kuyularında yapılan ölçümlerde yoğun yeraltı suyu çekimine karşın uzun dönem YAS kotunun değişmemesi güçlü bir yanıl/alttan beslenimin göstergesidir. Gazipaşa Kıyı Ovası'nda bütçe girdi ve çıktılarının tanımlanmasıyla kireçtaşı/mermerden beslenimin yaklaşık 39.1 Mm³/yıl olduğu belirlenmiştir. Gazipaşa kıyı akiferi yeraltı suyu bütçesi bileşenleri Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8: Gazipaşa kıyı akiferi yeraltı suyu bütçesi bileşenleri.

	Beslenim (Mm ³ /yıl)	Boşalım (Mm ³ /yıl)
Yağıştan Beslenim	32.0	
Buharlaşma-Terleme Kaybı		25.3
Yüzeysel Akış		10.6
Sulama Suyu İhtiyacı (Yeraltısuyu Kullanımı)		10.9
Eysel Su İhtiyacı		2.4
Yeraltısuyundan Buharlaşma (0-2 m)		1.0
Denize Boşalım		20.9
Kireçtaşı/Mermer Beslenimi	39.1	
Toplam	71.1	71.1

Gazipaşa kıyı akiferinin hidrojeolojik kavramsal modeli (Şekil 9) jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotopik verilerin değerlendirilmesiyle oluşturulmuştur. Çalışma alanının jeolojik yapısı alüvyon akiferin beslenme koşullarını doğrudan etkilemektedir. Alüvyon akifer yağış ve akarsu yataklarından sızmanın yanı sıra dokanaklı olduğu kireçtaşı ve mermerlerden yanal olarak beslenmektedir. Yanal beslenme hidrolik eğime, akarsu yatağından sızma ise iletimlilik katsayısına bağlı olarak çalışma alanında alansal olarak farklı büyüklüklerde gerçekleşmektedir.

Alanda gerçekleştirilen uzun süreli gözlemlere dayanarak YAS kotunda yıl içinde beslenme-boşalım koşulları, yeraltı suyu kullanımı ve yağışlı-kurak dönemler ile ilişkilendirebilen salınımlar uzun dönemde gözlenmemektedir. Diğer bir deyişle, Gazipaşa kıyı akiferinde kireçtaşı/mermer akiferinden gelen yanal beslenimin de katkısı ile uzun dönemde (1999-2015) yeraltı su seviyesinin korunmasını sağlamıştır. Uzun yıllar içinde yeraltı suyu çekimine karşın korunan bölgesel yeraltı suyu yük dağılımı sonucunda kıyı ovasında olası tuzlu su girişimi problemi ile henüz karşılaşılmamıştır.

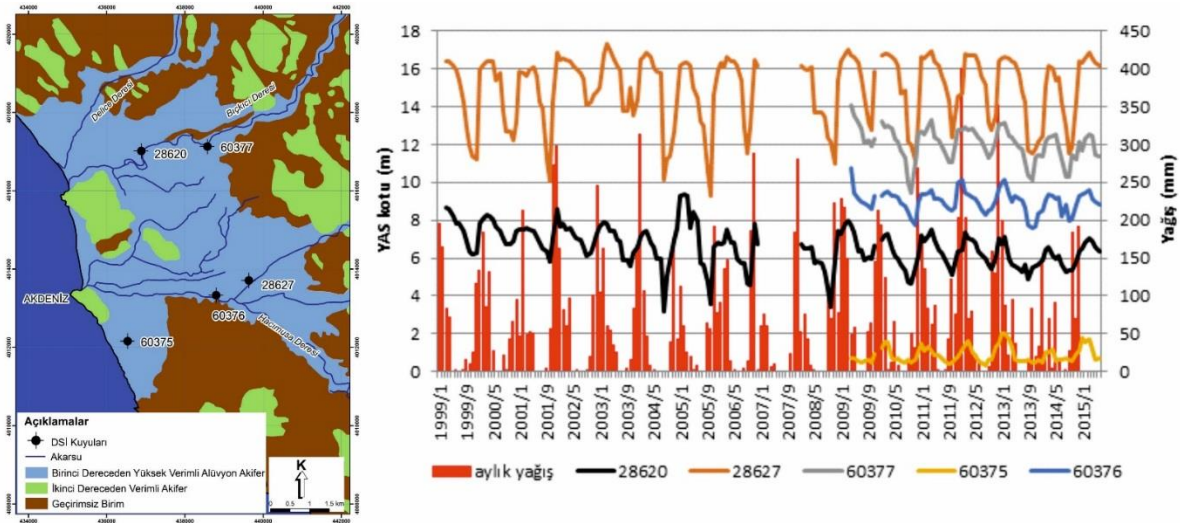
5 Sonuçlar ve öneriler

Gazipaşa Kıyı Ovası hidrojeolojik açıdan ovayı oluşturan Kuvaterner alüvyon ve ovayı çevreleyen Paleozoyik kireçtaşları ve Kambriyen mermerlerden oluşmaktadır. Gözeneklilik ve iletimlilik özelliklerine göre Kuvaterner

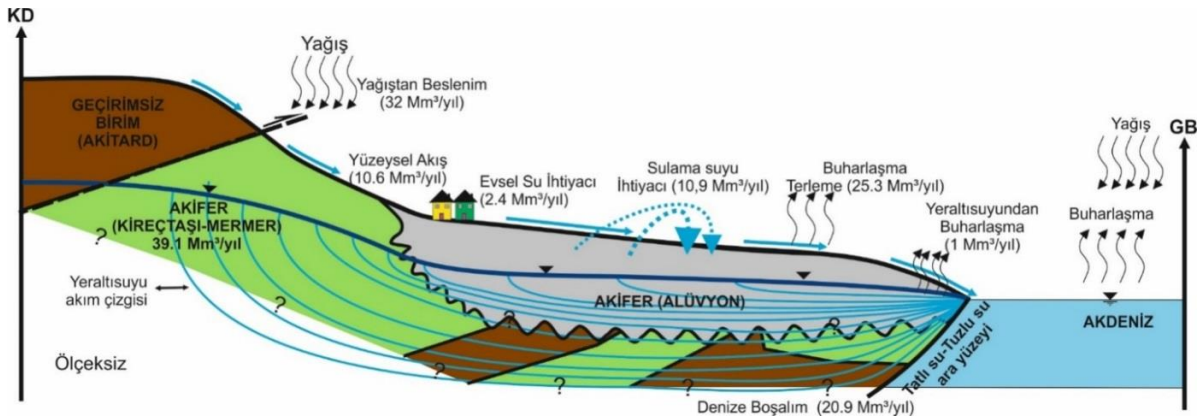
alüvyon birinci dereceden yüksek verimli akifer, Paleozoyik kireçtaşları ve Kambriyen mermerler ikinci dereceden akifer olarak tanımlanmıştır. Ovadaki yeraltı suyu beslenimi ovaya düşen yağıştan ve yanal/alttan olarak besleyen kireçtaşı/mermer akiferden sağlanmaktadır. Ovada yeraltı suyu akımı denize doğrudur.

Gazipaşa Kıyı Ovası'nda toplam 22.3 km²'lik alan seracılık, narenciye yetiştiriciliği ve açık tarım arazisi için kullanılmaktadır. Tarımsal sulama için gerekli olan su yüzey suyu ve yeraltı suyundan sağlanmaktadır. Akış olan dönemde Delice, Bıçkıcı ve Hacımusca derelerindeki sular sulama kanallarına aktararak 10.64 km²'lik alanda sulama yapılmaktadır. Akış olmayan Temmuz-Ağustos-Eylül aylarında ise işletme ve şahıs kuyularından yeraltı suyu çekimi yapılmaktadır. Sulama kanalı bulunmayan kesimde ise yıl boyu tarımsal sulama yeraltı suyundan sağlandığı için yetişen bitki türlerine bağlı olarak kullanılan su miktarı değişim göstermektedir.

Alüvyon akiferi üzerine düşen yıllık ortalama yağış 32 Mm³ akiferden oluşan -Turc yöntemi ile hesaplanan gerçek buharlaşma-terleme kaybı ise 25.3 Mm³/yıl'dır. Yapılan tarıma bağlı olarak sulama suyu ihtiyacı yaklaşık 15.78 Mm³'tür. Bunun 10.86 Mm³'ü yeraltı suyundan, 4.93 Mm³'ü ise derelerden sulama kanallarına aktararak yüzey suyundan sağlanmaktadır. Alüvyon akiferine yanal/alttan sağlanan beslenme ise 39.1 Mm³ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8: YAS kotu değişimi.



Şekil 9: Gazipaşa kıyı akiferinin hidrojeolojik kavramsal modeli.

Çalışma kapsamında örneklenen yüzey ve yeraltı sularının majör iyon içerikleri $\text{CaHCO}_3/\text{CaCO}_3$ ve NaCl fasiyesleri ile temsil edilmektedir. Sahil kesimindeki sıg kuyularda gözlenen yüksek ÖEİ değerinin deniz suyunun girişimi sonucu oluşmadığı, sıg yeraltı suyundan buharlaşma sonucu yükseldiği belirlenmiştir. Çevresel izotop gözlemleri kıyı akiferinde sıg ve derin dolaşımli olmak üzere iki farklı yeraltı suyu akımını ortaya koymuştur. Kıyı akiferi yüzey ve yeraltı suyu örnekleri döteryum fazlası değeri +16 olan Akdeniz Meteorik Su Doğrusu ve +18 olan Yerel Meteorik Su Doğrusu arasında yer almaktadırlar.

Gazipaşa kıyı akiferi için oluşturulan hidrojeolojik kavramsal modele göre kireçtaşı/mermer akiferinden alüvyon akiferine sürekli yeraltısuyu akışı gerçekleşmektedir. Böylece alüvyon akiferin YAS kotu yıl içinde gerçekleşen salımlara karşın uzun dönemde kararlı bir seyir izlemektedir.

Kıyı akiferinin yeraltı suyu yük dağılım haritası özellikle kıyı kesimde tuzlu su girişimi riskinin mevcut olduğunu göstermiştir. Sulama suyu kalitesinin korunması ve yeraltı suyunun sürdürülebilir kullanımı açısından alüvyon akiferden çekilecek yeraltı suyu miktarının $15 \text{ Mm}^3/\text{yıl}$ düzeyinde kalması önerilmektedir.

Gazipaşa Ovası'nın kuzey kesiminde, çalışma alanı dışında kalan ve halen yapımına devam edilen Gökçeler Barajı ve sulaması projesi gelecekte tarımsal sulama için gerekli suyu büyük oranda sağlayacak olup, mevcut yeraltı suyu rezervine olan talebi azaltacaktır. Öte yandan, gelecekteki tarımsal faaliyetlerin yüzey ve yeraltısuyu kalitesine olabilecek olumsuz etkilerinin izlenmesi ve engellenmesi gerektiği düşünülmektedir.

6 Teşekkür

Bu çalışma, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (HÜ-BAB) tarafından FHD-2015-9161 No.lu proje kapsamında finansal olarak desteklenmiştir. Araştırmacılar saha çalışmalarındaki destekleri için Mustafa Akpınar, Tanju İşeri (DSİ 13. Bölge Müdürlüğü), Anıl Salman (Gazipaşa Sulama Kooperatifi) ve Bülent Topuz'a (HÜ) teşekkür ederler.

7 Kaynaklar

- [1] Devlet Su işleri. "Gazipaşa Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu". Ankara, Türkiye, 49, 1972.
 [2] Keleş A. Gazipaşa (Antalya) Ovası Hidrojeoloji İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 1996.

- [3] Bozan Ç. Gazipaşa Kıyı Ovasının Hidrojeolojik İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2018.
 [4] Güngör Ş. Gazipaşa İlçesi'nin (Antalya) Coğrafi Etüdü. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2010.
 [5] Akış A. Gazipaşa'nın İklimi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 1997.
 [6] Özgül N, "Toroslar'ın bazı temel jeoloji özellikleri". *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19(1), 65-78, 1976.
 [7] Ulu Ü, "Sugözü-Gazipaşa (Antalya) Alanının Jeoloji İncelemesi". *Jeoloji Mühendisliği*, 16, 3-8, 1983.
 [8] Erbay G. Demirtaş-Gazipaşa Civarının Jeolojik, Mineralojik ve Petrografik Özellikleri. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 1998.
 [9] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. "1/100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No: 223, Alanya-P28 Paftası". Ankara, Türkiye, 19, 2016.
 [10] Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi. "FHD-2015-9161 Gazipaşa (Antalya) Kıyı Ovasının Hidrojeolojik İncelenmesi". Ankara, Türkiye, 77, 2016.
 [11] Craig H. "Isotopic variations in meteoric waters". *Science*, 133, 1702-1703, 1961.
 [12] Gat JR, Carmi I. *Effect of climate changes on the precipitation patterns and isotopic composition of water in a climate transition zone: Case of the Eastern Mediterranean Sea area*. Editors: Solomon SI, Beran M, Hogg W. The Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources, 501-513, Oxfordshire, UK, IAHS Publication, 1987.
 [13] Turc L. "Le bilan d'eau des sols; relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement". *Annales Agronomiques*, 5, 491-569, 1954.
 [14] Bayazit M. *Hidroloji*, 7. Baskı, İstanbul, Türkiye, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 1999.
 [15] Türkiye İstatistik Kurumu. "Gazipaşa 2016 Yılı Nüfus Sayımı". <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (15.12.2016).
 [16] Antalya Valiliği, İl Çevre ve Orman Müdürlüğü. "İl Çevre Durum Raporu". Antalya, Türkiye, 462, 2010.
 [17] Dumlu O, Yalçın HT, Bozkurtoğlu E. *Yeraltısuyu Jeolojisi ve Hidrolojisi*, 1. Baskı, İstanbul, Türkiye, Literatür Yayıncılık, 2006.

Ek 1: 2016 yılı Mayıs ayı örnekleri majör iyon içeriği

Örnek No	Açıklama	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	EN
		mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l
G1	62589 No.lu Gözlem Kuyusu	0	0.99	0	0	0.15	0.65	0	4.61	1.15	0.03	0.05	1.45	4.2	3.67
G2	Delice Deresi	0	1.15	0	0	0.09	0.63	0	3.92	1.12	0.02	0.05	1.59	3.45	3.7
G3	62590 No.lu Gözlem Kuyusu	0.01	0.38	0	0	0.05	0.48	0	4.41	0.46	0.04	0.03	1.15	4.09	3.87
G4	Şahıs Kuyusu	0	0.43	0	0	0.2	0.46	0	4.9	0.51	0.01	0.02	1.21	4.76	4.17
G5	Şahıs Kuyusu	0.01	0.44	0	0	0.21	0.47	0	4.8	0.53	0.01	0.03	1.26	4.58	3.78
G6	Şahıs Kuyusu	0	0.21	0	0	0.02	0.38	0	3.43	0.25	0.02	0.02	1.06	2.96	3.22
G7	52921 No.lu İşletme Kuyusu	0	0.32	0	0	0.14	0.42	0	4.22	0.35	0.01	0.02	1.26	3.83	3.53

Ek 1: Devamı.

Örnek No	Açıklama	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Ca ⁺²	EN
		mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l	mek/l
G8	Şahıs Kuyusu	0.01	1.51	0	0	1.94	1.53	0	5.78	1.52	0.06	0.03	1.47	8.38	3.07
G9	Şahıs Kuyusu	0.01	1.89	0	0	1.23	1.59	0	4.9	1.42	0.04	0.21	1.65	7.04	3.7
G11	Şahıs Kuyusu	0	1.07	0	0	2.56	1	0	4.61	0.86	0.01	0.01	0.58	8.61	4.32
G12	Şahıs Kuyusu	0.01	0.6	0	0	0.75	0.66	0	5.39	0.72	0.01	0.02	0.59	6.69	4.01
G13	Şahıs Kuyusu	0.01	1.2	0	0	1.47	1.15	0	5.54	1.5	0.04	0.01	0.79	7.86	4.24
G14	Şahıs Kuyusu	0	0.38	0	0	0.25	0.45	0	4.9	0.46	0.01	0.04	1.25	4.78	4.34
G15	Şahıs Kuyusu	0	0.58	0	0	0.23	0.54	0	5.29	0.62	0.03	0.03	1.54	5.04	4.38
G16	Şahıs Kuyusu	0	17.86	0	0.02	0.64	1.98	0	10.04	14.39	0	0.23	7.26	11.49	4.4
G17	Şahıs Kuyusu	0	1.16	0	0	0.28	0.82	0	6.57	1.16	0	0.03	2.11	6.19	3.57
G18	Şahıs Kuyusu	0.01	2.5	0	0.01	2.08	1.9	0	6.69	1.96	0.04	0.03	1.78	10.52	4.16
G19	Şahıs Kuyusu	0.01	1.08	0	0	0.95	0.57	0	6.58	1.15	0.03	0.03	1.27	7.32	3.28
G20	Şahıs Kuyusu	0.01	0.72	0	0	0.84	0.45	0	5.78	0.71	0.01	0.02	1.15	6.46	3.47
G21	Şahıs Kuyusu	0	0.74	0	0	0.19	0.39	0	4.9	0.84	0.01	0.04	1.54	4.37	4.28
G22	Şahıs Kuyusu	0.01	0.66	0	0	0.4	0.55	0	5.29	0.86	0.01	0.02	0.79	5.77	3.81
G23	Şahıs Kuyusu	0.01	0.59	0	0	0.8	0.8	0	4.9	0.69	0.01	0.02	0.94	6.01	3.84
G24	Şahıs Kuyusu	0	0.5	0	0	0.22	0.41	0	5.1	0.62	0.01	0.03	1.48	4.6	3.79
G25	Şahıs Kuyusu	0.01	1.35	0	0	0.42	0.86	0	5.39	1.31	0.02	0.05	2.25	5.07	4.05
G26	Mağara Kaynağı	0.01	45.6	0.02	0.05	0.18	4.2	0	5.9	37.35	0	0.95	12.11	10.46	4.21
G27	Bıçkıcı Deresi	0	0.26	0	0	0.02	0.25	0	3.43	0.33	0	0.02	1.18	2.74	3.69