



Zamanda Sürekli ve Süreksiz Yeraltısuyu Kot, Sıcaklık ve Özgül Elektriksel İletkenlik Verileri Işığında Demre Kıyı Akiferinde (Antalya) Yeraltısuyu Akım Dinamiği

Groundwater Flow Dynamics In The Demre Coastal Plain Aquifer (SW Turkey) Based On Continuous-Time and Discrete-Time Groundwater Head, Temperature And Specific Conductance Data

Pınar Avcı ^{1*}, Celal Serdar Bayarı ¹, Naciye Nur Özyurt ¹

¹ Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara, TÜRKİYE
Sorumlu Yazar / Corresponding Author *: pavci@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi / Received: 06.01.2019

DOI:10.21205/deufmd.2019216318

Kabul Tarihi / Accepted: 04.03.2019

Araştırma Makalesi/Research Article

Atıf şekli/How to cite: AVCI, P., BAYARI, C. S., ÖZYURT, N. N. (2019). Zamanda Sürekli ve Süreksiz Yeraltısuyu Kot, Sıcaklık ve Özgül Elektriksel İletkenlik Verileri Işığında Demre Kıyı Akiferinde (Antalya) Yeraltısuyu Akım Dinamiği. DEUFMD, 21(63), 897-909.

Öz

Demre Ovasında temel geçim kaynağı sera tarımı olup, sulama suyu gereksinimi yeraltısuyundan sağlanmaktadır. Demre kıyı akiferinde yeraltısuyu seviyesi zaman içinde yeraltısuyu kullanımından etkilenmektedir. Ovada uzun dönemde su ve gıda güvenliği alüvyon akiferin sürdürülebilir kullanımına bağlıdır. Bu çalışma kapsamında; Demre ovasında bulunan 24 kuyuda Ocak 2014 – Mayıs 2015 arasında 6 dönem yeraltısuyu seviye belirleme çalışması yapılmıştır. Ayrıca 4 kuyuda farklı dönemlerde otomatik veri toplar cihazlar ile özgül elektriksel iletkenlik, sıcaklık ve seviye ölçümleri alınmıştır. Veri toplar cihazlardan elde edilen bilgiler günlük yağış verisi ile ilişkilendirildiğinde bütün kuyularda yağıştan sonra seviyenin yükseldiği belirlenmiştir. Yağış sonrası su seviyesinde oluşan yükselmelerin uzun süreli devam etmesi beslenimin önce alüvyon akifer üzerine düşen yağıştan daha sonra da kireçtaşından yanıl beslenimle devam ettiğini göstermiştir. Demre kıyı akiferinde yeraltısuyunun özgül elektriksel iletkenliğinin zaman içinde değişimi incelendiğinde bazı kuyularda yıl içinde iletkenlikte önemli bir değişim olmazken, bazılarında yağışın doğrudan ya da kısa bir süzülmeyle yeraltına ulaşmasıyla yeraltısuyu iyon konsantrasyonunda seyrelme olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada yağış ve yanıl beslenimle beslenen Demre kıyı akiferinde yeraltısuyu kotunun uzun dönemde kararlı bir seyir izlediği belirlenmiş olup bu durum akifer depolamasının değişmediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: yeraltısuyu seviyesi, veri toplar, Demre kıyı akiferi

Abstract

The main source of livelihood in the Demre plain is greenhouse agriculture and the irrigation water demand is provided by groundwater. Groundwater level is affected by the use of groundwater over time in Demre coastal aquifer. The security of long term water and food production in the plain depends on sustainable use of the alluvium aquifer. In this study, groundwater level is measured at

24 wells located in Demre plain between January 2014 - May 2015 for 6 periods. In addition, electrical conductivity-temperature-level measurements are taken in 4 wells at different periods by automatic data-loggers. When data obtained from the data-loggers are associated with the daily precipitation data, it is determined that groundwater level increases after the precipitation in all wells. The long-term groundwater level rise continuation shows that alluvium aquifer feeds firstly by precipitation over aquifer and then later seepage from limestone. When the change of the specific electrical conductivity of groundwater in the Demre coastal aquifer is examined over time, there is no significant change in conductivity in some wells during the year, while in some cases it is determined that there is diluted in groundwater ion concentration when precipitation reached the ground directly or with a short infiltration. In this study, it is determined that Demre coastal aquifer which is fed by precipitation and lateral seepage has quasi steady-state groundwater level in long term. This indicates that aquifer storage is not changed.

Keywords: groundwater level, data-logger, Demre coastal aquifer

1. Giriş

Demre Ovası Türkiye'nin güneybatısında, Antalya ilinde yer almaktadır. Bölgenin temel geçim kaynağı tarım olup; içme, kullanım ve sulama suyu ihtiyacı yeraltısuyundan sağlanmaktadır. Sürekli artan su ihtiyacına ve kullanımına bağlı olarak yeraltısuyu tükenme ve kirlenme tehlikesi altındadır. Bu nedenle yörenin sosyo-ekonomik güvenliği büyük oranda su ve gıda güvenliğine, bunlar ise Demre kıyı akiferinin sürdürülebilir kullanımına bağlıdır. Bu çalışmanın amacı akiferin sürdürülebilir kullanımına yönelik temel bir süreç olan yağış-hidrolik yük ilişkisinin ve yeraltısuyu akım dinamiğinin yer ve zaman içindeki değişiminin incelenmesidir. Çalışma kapsamında ovada açılan kuyularda su kotları elektrikli metre ile ölçülmüş, seçilen kuyularda veri toplar cihazlar ile özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ) -sıcaklık ve yeraltısuyu kotu (YAS kotu) ölçümleri alınmıştır.

Çalışma alanı 1/250,000 ölçekli jeoloji haritalarının Antalya (No:2) ve Fethiye paftalarında (No:3) [1 ve 2] bulunmaktadır. Çalışma alanı ve çevresinin jeolojik özelliklerini belirlemek üzere birçok araştırmacı tarafından (Colin [3], Pisoni [4], Özgül [5] ve Şenel vd., [6]) çalışmalar yapılmıştır. Demre Ovası ve çevresinde Akdeniz'den kuzeye doğru iki jeolojik birim göze çarpmaktadır (Şekil 1). Bunlar, Demre Ovası'nı dolduran Demre Çayı'nın taşıdığı alüvyon ve bu alüvyon altında yer alan ve ovayı çevreleyen kireçtaşlarıdır.

Demre Ovası'nı çevreleyen kireçtaşları Üst Kretase'den Orta Eosen'e kadar süren jeolojik zamanda çökelmiştir. Colin [3] yaş ve formasyon sınırı olarak bu iki zamanı ayrı haritalarken, Pisoni [4] birlikte değerlendirmiştir. Şenel vd.

[6] ve MTA [1 ve 2] yaptıkları çalışmalarda bu kayaları Üst Kretase yaşlı neritik kireçtaşlarından oluşan Beydağları Formasyonu olarak tanımlamışlardır.

Üst Kretase yaşlı Beydağları Formasyonu beyaz, gri, bej renkli masif görünümlü dolomitik kireçtaşı/kireçtaşı ile başlayıp, üste doğru bol çatlaklı krem renkli orta kalın katmanlı kireçtaşı seviyeleri ile devam etmektedir. Üst seviyelerde ise daha açık renkli orta-kalın katmanlı, sert, yer yer dolomitleşmiş kireçtaşları bulunmaktadır. Formasyonun kalınlığı yaklaşık 1200 m olup, lamel ve mercan kavkularından self ortamında çökelmiş anlaşılmaktadır [6]. Yer yer dolomit ve dolomitik kireçtaşı düzeyi içeren kireçtaşları sık çatlaklıdır ve karstlaşma yaygın olarak görülmektedir [1 ve 2].

Çalışma alanında Kuvaterner yaşlı alüvyon Kasaba ve Demre Ovaları arasındaki Demre Çayı vadisi tabanında ve Demre Çayı'nın oluşturduğu ovada gözlemlenmektedir. Vadi tabanındaki alüvyonlar iri çakıllıken, ovadaki alüvyonlar daha ince tanelidir. Demre Ovası'nda alüvyon kalınlığı bazı yerlerde 100 m'yi bulmakla birlikte, yapılan sondajlarda yüzeyden 50 m derinliğe kadar çakıllı seviyeler bulunmaktadır.

Beslenme alanı yaklaşık 960 km² olan Demre Çayı, Kıbrıs Çayı ve Karadağ Çayı'nın birleşmesiyle oluşup, Demre Ovası'nı ikiye bölerek Akdeniz'e ulaşmaktadır. Çalışma alanının yeraltısuyu beslenimi ovaya düşen yağıştan, Demre Çayı'ndan, ve kireçtaşları ile olan sınır boyunca kireçtaşının yanal besleniminden olmaktadır. Yeraltısuyu akım yönü genel olarak kuzeyden güneye, denize doğrudur. Kuvaterner alüvyon hidrojeolojik açıdan birinci dereceden yüksek verimli taneli akifer olarak, karstik özellik gösteren Kretase

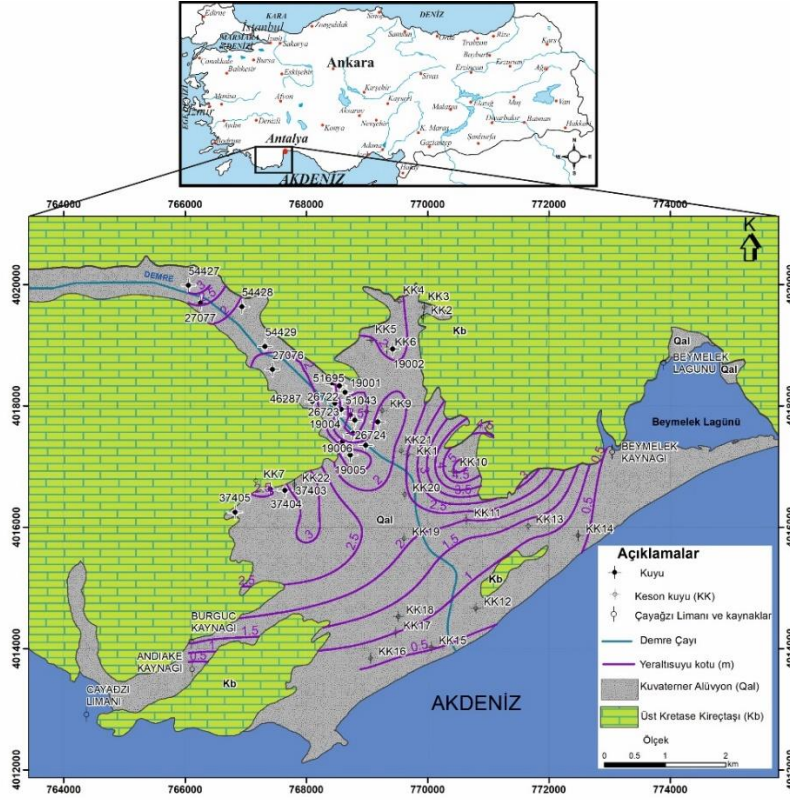
kireçtaşları ise ikinci dereceden yüksek verimli akifer olarak tanımlanmıştır.

Demre Çayı, beslenme alanına düşen yağışın yüzeysel akışla denize ulaştığı tek araç olduğundan özellikle kış aylarında gerçekleşen yağışlar sonucu sıklıkla taşkın oluşturmaktadır. Şubat 2015 döneminde gerçekleşen bir taşkına ait morfometrik verilerden hareketle, sıklıkla karşılaşılan nitelikteki bir taşkında debinin 650 m³/sn'ye ulaşabildiği tahmin edilmiştir [7]. Demre Çayı, yağışlı dönem dışında kurumaktadır.

Demre Ovası'nda gerçekleştirilen yoğun ve yıl boyu süreklilik gösteren tarımsal faaliyet için gereksinilen sulama suyu ihtiyacını karşılamak üzere DSİ Genel Müdürlüğü'nce 24 işletme kuyusu açılmış, bölgede bulunan Alakent ve Köşkerler sulama kooperatiflerine devredilmiştir. Alüvyon içinde açılan kuyuların derinlikleri 20-100 m, debileri ise 40-120 lt/sn arasında değişmektedir [8]. Demre Ovası'nda bulunan işletme kuyularına ait bazı özellikler Tablo 1'de verilmiştir [7]. Demre Ovası'nda sulama kooperatiflerince işletilen kuyulara ek olarak çok sayıda, derinlikleri 3-15 m arasında değişen keson kuyu tipinde şahıs kuyusu da bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında -19004, 19006, 63068, ve 63070 No.lu 4 adet derin sondaj kuyusunun yanısıra 23 adet keson kuyuda (KK) da ölçüm yapılmıştır. Demre Ovası'ndaki derin kuyular ovanın denizden uzak olan kuzey kesiminde yoğunlaşmakta, keson kuyular ise su tablasının nispeten sığ derinlikte olduğu ovanın denize yakın olan orta ve güney bölümlerinde bulunmaktadır. Su noktalarının konumları Şekil 1' de verilmiştir.

Tablo 1. Demre Ovası'nda açılan sondaj kuyularına ait bazı özellikler

Kuyu No	Açıldığı Yıl	Kuyubaşı Kotu (m)	Derinlik (m)	Statik Seviye (m)	Debi (l/s)
42099	1992	54.51	70.00	2.91	55.00
54427	2000	37.31	57.00	3.01	50.00
54428	2000	34.05	56.00	1.95	86.00
54429	2000	31.20	85.00	2.60	85.00
51696	1996	24.24	62.00	2.47	84.00
19001	1974	23.09	79.80	2.19	63.20
26722	1979	21.26	62.00	2.78	71.00
19002	1974	19.10	55.00	2.60	63.20
27076	1980	27.61	62.00	4.56	60.00
27077	1980	37.70	54.00	4.48	34.00
51041	1996	21.98	55.00	2.28	85.00
26723	1979	20.56	56.00	2.40	68.00
51043	1996	24.38	60.00	2.40	85.00
26724	1979	20.97	56.00	2.47	75.00
46287	1993	22.95	75.00	2.05	63.00
26725	1979	19.12	60.00	2.09	66.00
19006	1974	20.55	55.00	3.15	63.20
51042	1996	18.35	55.00	2.71	80.00
19005	1974	18.74	56.00	2.94	63.00
37404	1988	10.52	49.00	3.34	60.20
51695	1996	21.98	56.00	1.96	20.00
19004	1974	20.06	55.20	0.76	63.20
37405	1988	10.85	85.00	1.95	63.20
37403	1988	11.75	60.00	4.59	28.50



Şekil 1. Çalışma alanında su noktalarının konumları.

2. Materyal ve Metot

Yeraltısuyu hidrolik yük gradyanının kıyı ovalarında genellikle oldukça düşük düzeyde olması nedeniyle yeraltısuyu seviye gözlemi yapılan kuyuların su kotlarının yüksek hassasiyetle belirlenmesine çalışılmıştır. Bu nedenle arazi çalışmaları sırasında kuyu başı kotları Spektra Precision marka, Epoch 50 model GNSS (Global Navigation Satellite System) cihazıyla (diferansiyel GPS) 15 GPS uydusu bağlantısından ve statik ölçümde TUSAGA-Aktif [9] sisteminden yararlanılarak yatayda +/-3 mm, düşeyde +/-5 mm, yükseklikte +/-10 mm hata payı ile koordinatlandırma çalışmaları yapılmıştır. Ölçüme uygun olan mevcut işletme kuyularında ve keson kuyularında su seviyeleri Eijelkamp marka elektrikli metre ile ölçülmüştür. Bu değerler, kuyu başı GPS kotları kullanılarak -ortalama deniz seviyesine göre-YAS kotu değerlerine dönüştürülmüştür. Yağış ile YAS kotu, sıcaklığı ve çözünmüş madde içeriği (ÖEİ) arasındaki dinamik ilişkinin belirlenmesi için ovanın farklı bölümlerinden seçilen -19004-19006-63068 ve 63070 No.lu- derin sondaj

kuyularında Schlumberger marka CTD (Conductivity, Temperature, Depth) Diver model veritoplar cihazları kullanılarak 30 dakikalık frekansla sürekli ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu veri toplarlar 10 m su yükünde sıcaklık, elektriksel iletkenlik (Eİ) ve su yükünü +/- %1 hata ile okuma kapasitesine sahiptir. Veritoplarca ölçülen su basıncı (cm H₂O) önce su yüküne ve daha sonra YAS kotuna, Eİ değeri ise özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ) değerine dönüştürülmüştür. Su basıncını su yüküne dönüştürebilmek için okunan değerden hava basıncı değeri çıkarılıp ölçülen değer mutlak su yüküne çevrilmiş, daha sonra bu değerden veritopların indirildiği derinlik çıkarılarak su seviyesi bulunmuş, bu değer GPS ile belirlenen kuyu ağız kotu kullanılarak YAS kotuna (m) dönüştürülmüştür. Eİ-ÖEİ dönüşümü için, T °C cinsinden sıcaklığı ifade etmek üzere aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır [10].

$$\text{ÖEİ} = \frac{Eİ}{1 + (0.0191(T - 25))} \quad (1)$$

3. Bulgular

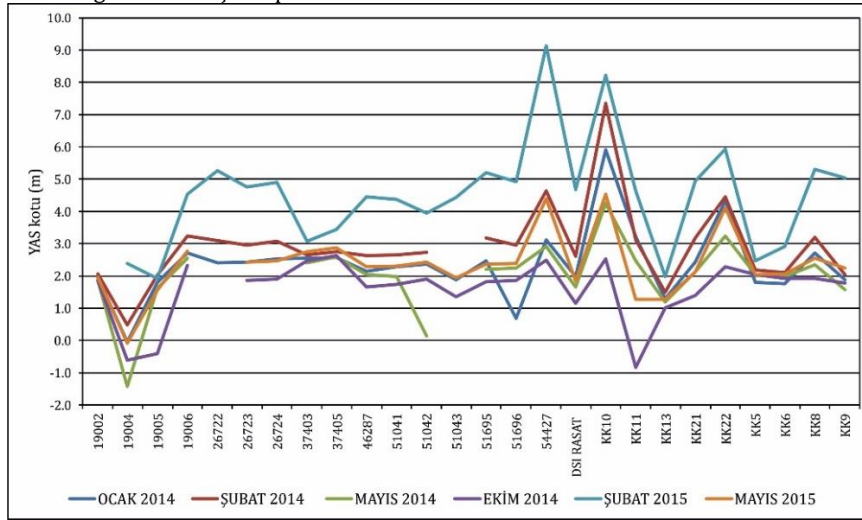
3.1. Süreksiz Yeraltısuyu Kotu Gözlemleri

Bu makalede, Demre kıyı akiferinde yeraltısuyu akım dinamiğinin belirlenmesi amacıyla ayrıntıları Avcı'da [7] verilen çalışmanın sonuçları sunulmuştur.

Çalışma alanını temsil eden kuyularda 2014 yılı Ocak, Şubat, Mayıs, Ekim ayları ile 2015 yılı Şubat ve Mayıs aylarındaki arazi çalışmalarında ölçülen YAS kotu değerlerinin zamansal değişimi Şekil 2'de sunulmuştur.

Buna göre, ova genelinde YAS kotu 2 m ile 7 m arasında değişmekte olup, 8 noktada 2 m'nin altında, 2 noktada ise 7 m'nin üzerinde kot değerleri ölçülmüştür. Ovanın kuzey bölümünde, denizden en uzak konumda bulunan, sulama amaçlı su çekiminin yapıldığı 19004, 19005 ve 51042 No.lu kuyularda YAS kotu deniz seviyesinin 1-1.5 m altına inmiş bulunmaktadır. Bununla birlikte, söz konusu kuyular kıyıda 4 km kadar içeride bulduklarından aşırı yeraltısuyu çekimine bağlı deniz suyu yükselim konisi henüz risk oluşturan boyutlara ulaşmamıştır. YAS kotunun deniz seviyesi altına indiği bir diğer gözlem noktası KK 11 olup, bu kuyu ovanın orta kesimlerinde yer almaktadır. Söz konusu kuyuların hiç birisinde deniz suyu girişi henüz gözlenmemiş olup suların ÖEİ

değerleri $1000 \mu\text{S}/\text{cm}^3$ 'nin altındadır. Ocak 2014 ile Mayıs 2015 arasındaki gözlemlere göre YAS kotunun incelendiği tüm kuyulardaki YAS kotu salınımları 1 m ile 7 m arasında değişmektedir. Diğer yandan, yağış girdisinin bol, sulama amaçlı su kullanımının nispeten sınırlı olduğu Şubat 2014'teki YAS kotları, artan sulama suyu kullanımına bağlı olarak Mayıs 2014'te azalma göstermiştir. Yaz aylarında yağışın gerçekleşmemesi ve Haziran ayı sonuna kadar çekimin devam etmesiyle bir çok kuyuda en düşük YAS kotu 2014 yılı Ekim ayında ölçülmüştür. 2014 yılı seviye ölçümleri ile oluşturulan YAS kotu haritası Şekil 1'de verilmiştir. Ekim 2014 - Şubat 2015 arası dönemde Demre Ovası'na 780.3 mm yağış düşmüştür [11]. Bu durumun sonucu olarak, Şubat 2015'te pek çok kuyuda YAS kotunda geçmişe oranla büyük artış gözlenmiştir. Buna karşın, olasılıkla yakın dolaydaki yoğun yeraltısuyu kullanımı nedeniyle bazı kuyuların Şubat 2015 kotları geçmişe oranla önemli bir değişim göstermemiştir. Ölçüm dönemleri boyunca en yüksek YAS kotuna 2015 yılı Şubat ayında ulaşılmış olup takip eden Mayıs ayında ölçülen YAS kotunun kış aylarında gerçekleşen yoğun yağış sonucu birçok kuyuda önceki yılın aynı ayına göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

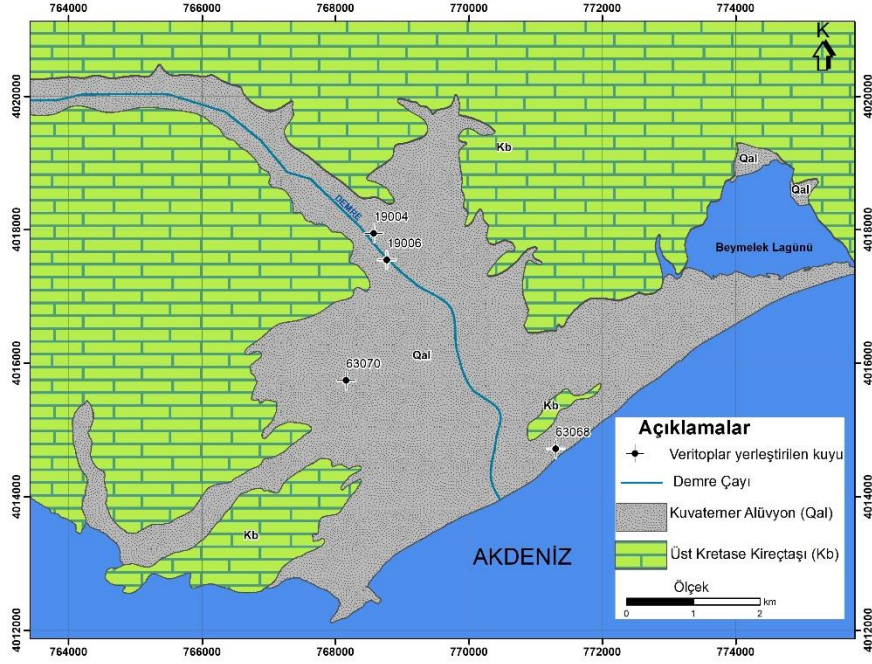


Şekil 2. 2014 yılı Ocak-Şubat-Mayıs-Ekim ve 2015 yılı Şubat ve Mayıs dönemlerine ait YAS kotu gözlemleri.

3.2.Sürekli Yeraltısuyu Kotu, Sıcaklık ve Özgül İletkenlik Gözlemleri

Ocak 2014 tarihinde 19004 (kuyu başı kotu: 20.05 m, veritoplar derinliği 29.3 m) ve 19006 (kuyu başı kotu: 20.55 m, veri toplar derinliği 26.5 m) No.lu kuyulara yerleştirilen veri toplarlar 30 dakika aralıkla ölçüm yapmak üzere programlanmış, 19006 No.lu kuyuda Ekim 2014

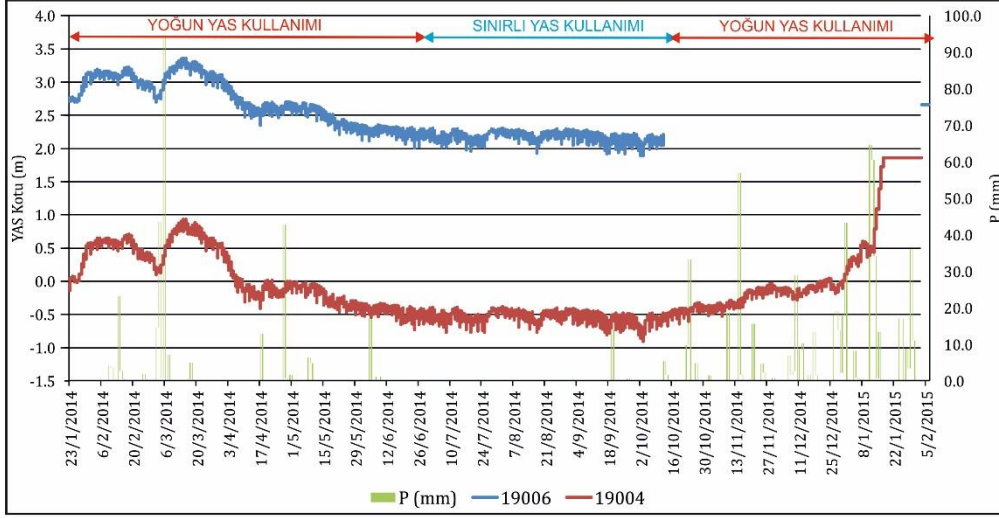
tarihine değin, 19004 kuyusunda ise Şubat 2015 tarihine değin ölçüm almıştır. Daha sonra, 63068 (kuyu başı kotu: 3.28 m, veri toplar derinliği 9.1 m) ve 63070 (kuyu başı kotu: 10.54 m, veri toplar derinliği 18.2 m) No.lu kuyulara yerleştirilen veri toplarlar ile ise Ekim 2014 ile Aralık 2015 tarihleri arasında ölçüm yapmıştır. Veri toplar yerleştirilen kuyuların lokasyon haritası Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Veri toplar yerleştirilen kuyuların çalışma alanındaki konumları.

Birbirine yakın konumda bulunan 19004 ve 19006 No.lu kuyular için çizilen YAS kotu grafikleri (Şekil 4) incelendiğinde her iki kuyudaki YAS kotlarının bir diğerinden 2.5 m kadar farklı olmakla birlikte benzer değişim eğilimine sahip oldukları görülmektedir. Çekim yapılan diğer sondaj kuyularına göre daha merkezi konumda bulunan 19004 No.lu kuyunun YAS kotu 19006 No.lu kuyuya göre daha düşüktür. Grafiklerde aynı gün içinde YAS kotunda görülen azalmalar diğer kuyularda yapılan çekimler sonucu gerçekleşen düşümlerdir. Veri topların 63070 No.lu kuyuya taşınması nedeniyle 19006 No.lu kuyudaki kot ölçümleri Ekim 2014 ayında sona erdirilmiş, 19004 No.lu kuyuda ise ölçümlere Şubat 2015 ayına değin devam edilmiştir. Anılan kuyuda

gözlenen kot değerlerinden Eylül 2014 ayında başlayan yağışlı dönemdeki yağış olaylarının doğrudan YAS kotu üzerinde etkili oldukları izlenmektedir. Bu dönemdeki yağış olayları YAS kotunda 2 m'ye varan artışa neden olmuştur. Ayrıca, 19006 ve 19004 No.lu kuyulardaki YAS kotunda oluşan yükselmelerin uzun süre devam etmesi beslenimin önce alüvyon üzerine düşen yağıştan daha sonra ise Demre Çayı'ndan süzülme ve ilerleyen zaman içinde de kireçtaşından kaynaklanan yanıl beslenimle devam ettiğini göstermektedir. 19004 No.lu kuyudaki YAS kotunun Nisan-Aralık döneminde deniz seviyesinin 0.7 m kadar altına inmesi yağıştan beslenme olmaması durumunda bu bölgedeki sınırlı YAS kullanımının bile yerel YAS kotu üzerinde etkili olabildiğini göstermektedir.



Şekil 4. 19006 ve 19004 No.lu kuyularda YAS kotu- yağış (P) ilişkisi.

Ocak 2014 ile Şubat 2015 arasındaki dönemde 19006 ve 19004 No.lu kuyularda gözlenen YAS sıcaklık ve ÖEİ grafikleri (Şekil 5 ve 6) incelendiğinde her iki kuyuda da yağışlı dönem kapsayan Kasım-Haziran ayları arasında YAS sıcaklığının gözlem döneminde 1.3-2.2 °C kadar değişim gösterdiği izlenmektedir. Her iki kuyuda da YAS sıcaklığı yağışlı dönemde artmakta, yağışların kesildiği dönemde ise azalmaktadır. Demre'de 1982-2014 yılları arasında yıllık veri seti tam olan 26 yıllık aylık ortalama yağışlardan belirlenen yıllık ortalama hava sıcaklığı değeri 18.3 °C (+/- 0.8 °C, 1 standart sapma) düzeyindedir. Ayrıca, gözlem döneminde yıllık ortalama sıcaklığının 0.08 °C /yıl hızında artış gösterdiği de belirlenmiştir. Çalışma alanı gibi ortamlarda yeraltı suyu sıcaklığının ortalama hava sıcaklığı dolayında salınması beklenen bir durumdur. Her iki kuyuda da yağışlı dönem YAS sıcaklıkları kurak dönem YAS sıcaklıklarından 1-2 °C daha yüksektir. Bu durum, YAS besleniminde hem yerel yağışlar hem de akarsudan ve karst akiferinden beslenmenin etkili olduğuna işaret etmektedir. Bağlı yüksek YAS sıcaklıkları yerel yağıştan beslenimin, bağlı düşük sıcaklık değerleri ise akarsudan ve karst akiferinden beslenimin egemen oldukları dönemlere işaret etmektedir. Demre Çayı sadece yağışlı dönemde akış göstermekte olup, yüzeysel akış ve karst akiferi boşalımının bir bölümünü taşımaktadır. Bu nedenle su sıcaklığı ovadaki beslenme sıcaklığından daha düşüktür. Haziran ayından yağışların başladığı Ekim-Kasım aylarına değin YAS sıcaklığının sürekli azalması

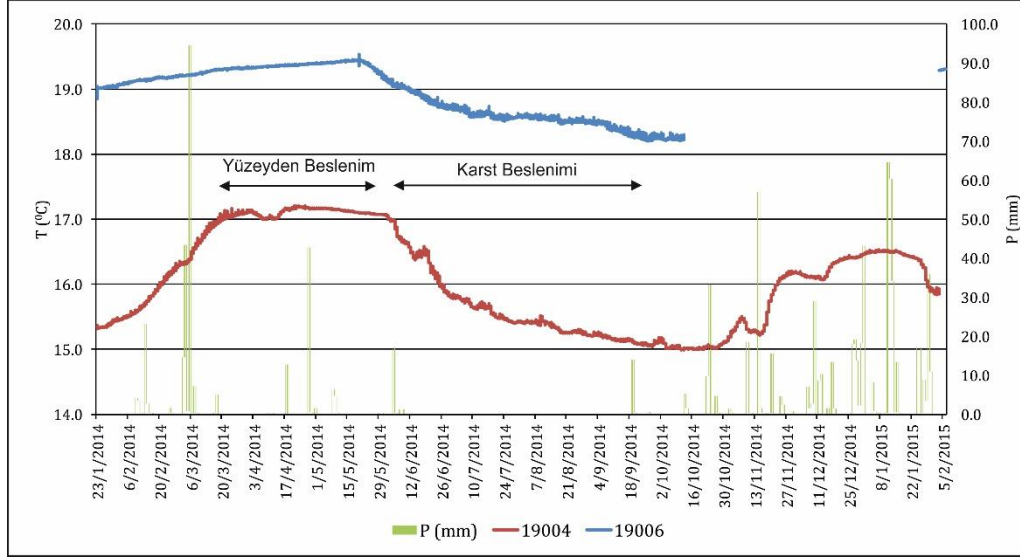
yeraltı suyu yerel yağıştan beslenme oranının azalmasından kaynaklanmaktadır.

Öte yandan, aralarında 500 m kadar uzaklık bulunan 19004 ve 19006 No.lu kuyularında gözlenen YAS sıcaklıkları benzer bir zamansal değişim eğilimi içermelerine karşın büyüklükleri farklıdır. 19004 No.lu kuyuda gözlenen sıcaklıklar 15.0-17.2 °C aralığında iken, 19006 No.lu kuyuda bu değerler 18.2-19.5 °C aralığındadır. Bu durum, oldukça kısa mesafelerde bile yeraltı suyu beslenme ve akış dinamiğinin dikkate değer farklılık gösterdiğine işaret etmektedir.

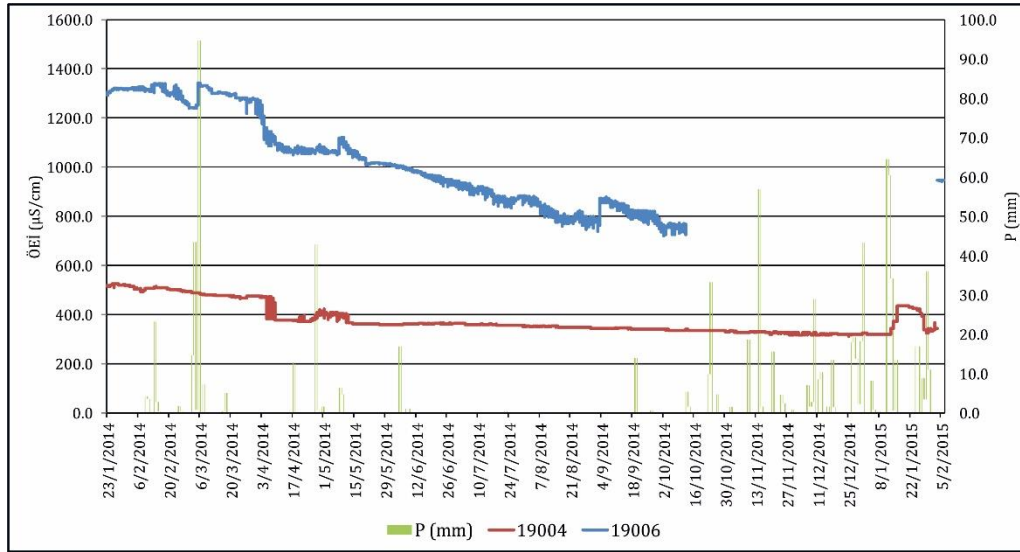
Bu kuyularda gözlenen ÖEİ değerlerinin zamansal değişimi eş zamanlı sıcaklık gözlemine göre daha farklıdır. ÖEİ 19006 No.lu kuyuda gözlem dönemi içinde 1300 µS/cm'ten 800 µS/cm'e doğru azalma eğilimi gösterirken, 19004 No.lu kuyuda 350-500 µS/cm aralığında değişim göstermiştir. Bu durum olasılıkla 19006 No.lu kuyu dolayındaki yağıştan beslenimin daha fazla buharlaşmış olmasından ya da bu kuyu dolayındaki tarımsal kimyasal kullanımının yeraltı suyundaki çözünmüş madde içeriğini yükseltmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Kuyuda gözlenen ÖEİ değerinin sürekli azalması güncel yağışların yeraltı suyu kimyasında bir seyrelmeye neden olduğuna işaret etmektedir. Bazı yağışlardan sonra ÖEİ değerinde de sıçramalar gözlenmesi yüzeyden kaynaklanan yüksek ÖEİ içerikli suyun kuyuya doğru itildiğini göstermektedir. Benzer bir durum 19004 No.lu kuyuda da gözlenmekle birlikte ÖEİ sinyalindeki zamansal değişim çok

daha sönüktür. Ekim-Şubat dönemindeki güncel beslenime karşın 19004 No.lu kuyuda gözlenen ÖEİ değerinin azalma eğilimine devam etmesi yüzeyden kuyuya ulaşan yeraltısuyunun iyon içeriğinin sürekli olarak azaldığını göstermektedir. Buna karşın, Ocak ayı ortasında

kuyuya ulaşan yeraltısuyunun iyon içeriğinde ise kısa süreli bir artış izlenmektedir. Tüm bu değişimler akiferin birbirine oldukça yakın kesimleri arasında bile beslenme ve akış dinamikleri arasında önemli farklılıklar olabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 5. 19006 ve 19004 No.lu kuyularda YAS sıcaklığı (T) - yağış (P) ilişkisi.



Şekil 6. 19006 ve 19004 No.lu kuyularda ÖEİ - yağış (P) ilişkisi.

Ekim 2014 ayında yapılan arazi çalışmasında 19006 No.lu kuyudan alınan veri toplar kuyu başı kotu 10.546 m olan, 63070 No.lu gözlem kuyusuna taşınıp, 18 m derinliğe yerleştirilmiştir. Ovanın orta-batı kesiminde yer alan 63070 No.lu kuyuda gözlenen YAS kotu-

yağış ilişkisi Şekil 7'de gösterilmiş olup, bu kuyudaki YAS kotunun Ekim 2014-Şubat 2015 arasındaki ardışık yağışlar ile düzenli biçimde yükseldiği izlenmektedir. Noktasal (anlık) yağış olaylarına karşılık YAS kotunun düzenli bir artış sergilemesi anlık yağışlardan kaynaklanan

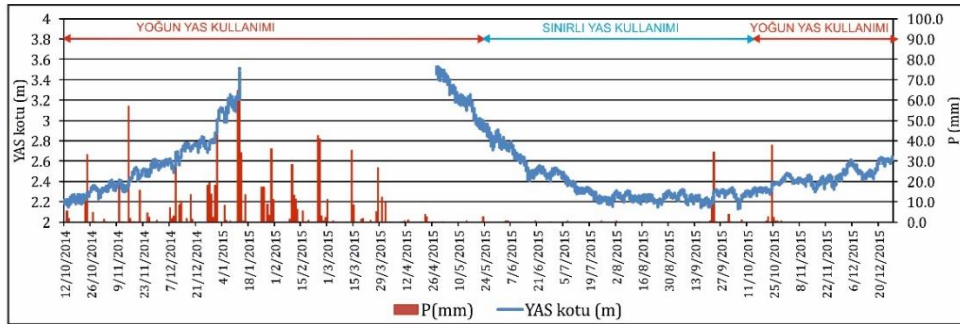
beslenme darbelerinin (pulse) alüvyondaki YAS kotuna doğrudan yansımadağını, bu beslenme darbelerinin akifer içinde sönümlendiğini göstermektedir. Kuyudaki YAS kotunun veri toplar ölçüm kapasitesini aşması nedeniyle Ocak-Mayıs 2015 dönemindeki ölçümlerde YAS kotu değişimleri izlenememiştir. Bu kuyuda, Ekim 2014-Aralık 2015 ayları arasında YAS kotu 1.2 m'den fazla yükselmiştir.

Bu kuyuda ölçülen ÖEİ Ekim 2014 – Ocak 2015 arasında hafif artış ve azalışlar içeren, 1950 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dolayında yatay bir seyir izlemektedir (Şekil 8). Ocak 2015'e kadar yoğun yağış girdisiyle ÖEİ 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerine kadar azalan yeraltısuyu akifere ulaşmış olup, bu dönemden itibaren ÖEİ değeri; yağışın azalması, buharlaşma ve bitkilerce tüketilmemiş kimyasallarla zenginleşen gözenek suyunun kuyuya ulaşması ile artan bir seyir izlemiştir. 63070 No.lu kuyuda izlenen ÖEİ değerleri buharlaşma-terleme ile zenginleşmiş bir yağış suyunun sahip olabileceği değerin oldukça üzerindedir. Ovada brüt yağışın yaklaşık 1/3'i akiferi beslemektedir. Bu durumda, 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ÖEİ değerine sahip olabilecek bir yağış suyunun beslenme sırasında 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ düzeyinde bir ÖEİ değerine sahip olabileceği anlaşılmaktadır.

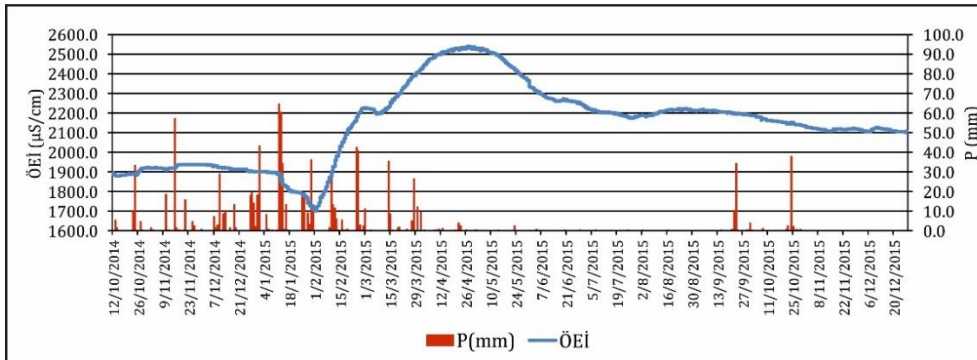
Dolayısıyla 63070 No.lu kuyuda gözlenen 1700-2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ düzeyinde ÖEİ değerleri ovanın bu kesiminde kuyuya ulaşan beslenimin büyük oranda tarımsal kimyasal ve diğer kaynaklardan kaynaklanan iyon yükü içerdiğini göstermektedir.

Yukarıda sunulan 19004 No.lu kuyu ile 63070 No.lu kuyunun aynı döneme ait ÖEİ değişimleri kıyaslandığında, ovanın fark kesimlerinde farklı beslenme-akış dinamiğinin etkili olduğu bir kez daha izlenmektedir.

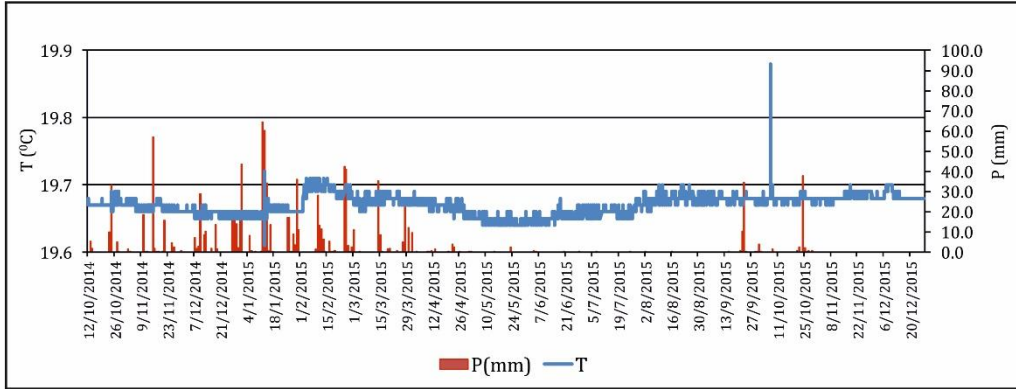
63070 No.lu kuyuda ölçülen YAS sıcaklığı ise yatay bir seyir izlemekte olup, gözlem döneminde izlenen salınımlar ölçüm hassaslığı içindeki elektronik parazitleri yansıtmaktadır (Şekil 9). Bu dönemde gözlenen YAS sıcaklığı yaklaşık 19.7 °C dolayında olup, bu durum YAS sıcaklığının yüzeyden sızan beslenimin ortalama hava sıcaklığı ile dengeye geldiğini göstermektedir. Diğer bir deyişle, ovanın bu kesimindeki yeraltısuyu beslenimi büyük oranda yağıştan süzülme ile sağlanmakta olup, karst akiferinden yanal beslenme dikkate değer düzeyde değildir.



Şekil 7. 63070 No.lu kuyuda YAS kotu - yağış (P) ilişkisi.



Şekil 8. 63070 No.lu kuyuda ÖEİ- yağış (P) ilişkisi.



Şekil 9. 63070 No.lu kuyuda YAS sıcaklığı (T)- yağış (P) ilişkisi

Demre Ovası'nın deniz kıyısına yakın bölümünde olası bir deniz suyu girişiminin etkilerinin gözlenmesi amacıyla ortalama kıyı çizgisinden 50 m kadar içeride bulunan 63068 No.lu kuyuya (kuyu başı kotu 3.295 m) kuyu başından 9.2 m derinliğe veri toplar yerleştirilmiştir. Bu kuyuda gözlenen YAS kotu-yağış ilişkisi Şekil 10'da gösterilmiş olup, ilk bakışta bu bölgedeki YAS akım dinamiğinin önceki kuyuların bulunduğu bölgelerden oldukça farklı olduğu izlenmektedir. YAS kotunun ardışık yağışlardan kaynaklanan beslenme ile Ekim 2014'te 0.1 m kotundan, Ocak 2015'te 1.6 m kotuna değin yükseldiği, daha sonra Şubat 2015'e değin 1.2 m kotuna kadar alçaldığı izlenmektedir. Bu kuyudaki YAS kotu kabaca 20 mm üzerindeki yağışlarda hızla yükselmekte, sonraki yağışların aynı güçte olmaması durumunda hızla alçalmaktadır. Bu durum olasılıkla kıyı kesimdeki jeolojik malzemenin ağırlıklı olarak plaj kumu ve kumul gibi yüksek hidrolik iletkenlik ve etkin gözeneklilik değerine sahip kırıntılı malzemeden oluşmasının bir sonucudur. Yağış girdisinin olmadığı Nisan-Eylül 2015 döneminde kuyuda YAS kotu azalırken, ölçüm dönemi boyunca (Ekim 2014- Aralık 2015) YAS kotu 0.4 m artmıştır.

Şekil 11'de sunulan 63068 No.lu kuyuya ait yağış-ÖEİ ilişkisinden gözlemlerin başladığı Ekim 2014 tarihinden itibaren ÖEİ'nin yaklaşık 8700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ düzeyinden düzenli biçimde Ocak 2015 başında 5500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ düzeyine değin azaldığı, 10 Ocak 2015 dolayında ardışık ve yüksek miktarda yağışlar sonrasında ÖEİ'nin 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ düzeyine değin indiği, Nisan 2015 sonrası yeniden 7500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ düzeyine yükseldiği izlenmektedir. Bu kuyu dolayında YAS kullanımını söz konusu değildir. Bununla birlikte kuyuda gözlenen ilk YAS kotu değeri 0.1 m olup

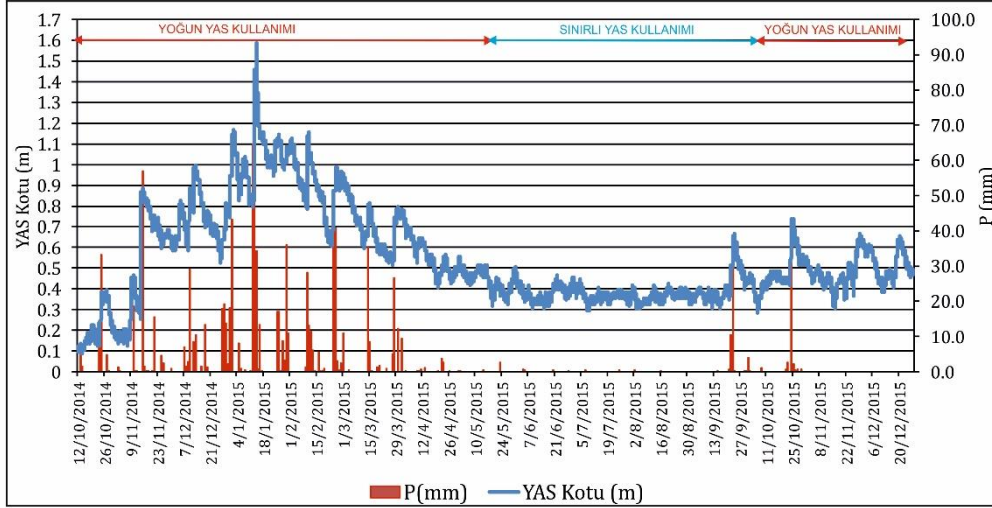
bu değer kuyu dolayındaki yeraltısuyunun hava basıncındaki azalma ve med-cezir etkisi ile deniz suyu girişimine açık olduğunu göstermektedir. Kuyuda gözlenen yüksek ÖEİ değerlerinin olası bir diğer nedeninin de kıyı kuşağı boyunca yüzeye oldukça yaklaşan su tablasından buharlaşma sonucu iyonik bileşimin zenginleşmesi olduğu düşünülmektedir.

Aralık 2014 ve Ocak 2015 arası dönemde YAS sıcaklığında gözlenen yükselme ile eş zamanlı olarak ÖEİ değerlerinde gözlenen azalma ilgi çekicidir. Aynı dönemde YAS sıcaklığının yükselmesi ovanın kıyı kuşağında yüzeye daha yakın ve daha çok ısınmış alüvyon içindeki yeraltısuyunun beslenme darbeleri ile denize doğru itilmesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Buna karşın, su tablasından buharlaşma sonucu daha yüksek ÖEİ değerine sahip olması beklenen alüvyal yeraltısuyunun kuyudaki ÖEİ değerinde azalmaya neden olması olası görülmemektedir. ÖEİ değerindeki azalmanın bir diğer nedeni de bölgesel ölçekteki ardışık yağış olaylarından kaynaklanan beslenme dalgalarının deniz kıyısında tatlısu-tuzlusu arayüzeyi boyunca denize ulaşan derin dolaşımdaki karstik yeraltısuyu miktarını arttırması olabilir. Diğer bir deyişle, beslenme dalgalarının bağlı sıcak ve yüksek ÖEİ değerine sahip sığ dolaşım alüvyal yeraltısuyu ile bağlı soğuk ve düşük ÖEİ değerine sahip derin dolaşım karstik kökenli yeraltısuyunun kıyı zonunda karışarak denize boşalmasına neden olması da güçlü bir olasılık olarak değerlendirilmektedir.

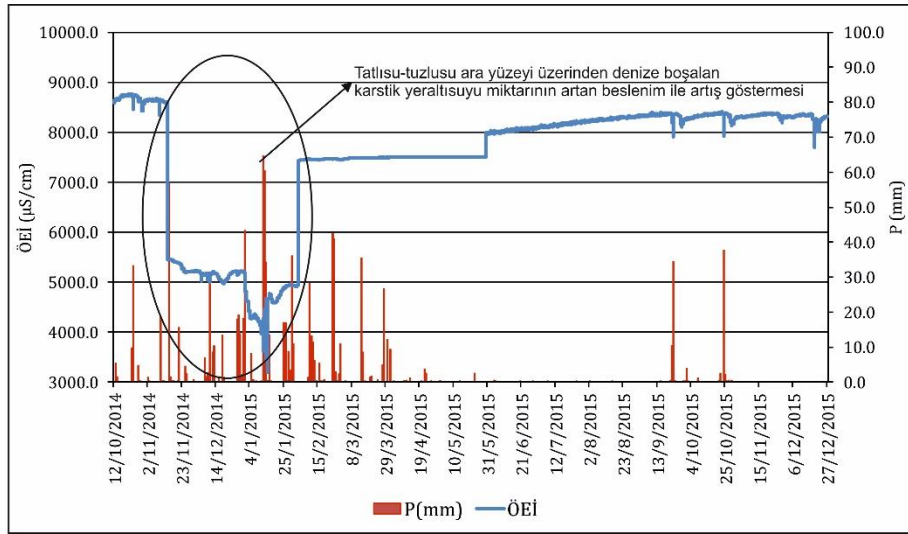
63068 No.lu kuyuda gözlenen YAS sıcaklık değerleri ilginç bir zamansal değişim sergilemektedir (Şekil 12). Gözlem dönemi başlangıcında Ekim 2014 tarihinde 18.5 °C dolayında olan sıcaklık Ekim ve Kasım

aylarındaki ilk yağışlar sonrası hafif bir artış göstermiş, Aralık ve Ocak ayındaki ardışık ve yüksek miktarda yağışlar sonrasında ise uzun süreli ve 20.0 °C'ye ulaşan sıcaklık artışları gözlenmiştir. Söz konusu sıcaklık artışlarının geçmiş yaz dönemi boyunca yüzeye yakın su tablasına ulaşan güneş enerjisi ile ısınmış

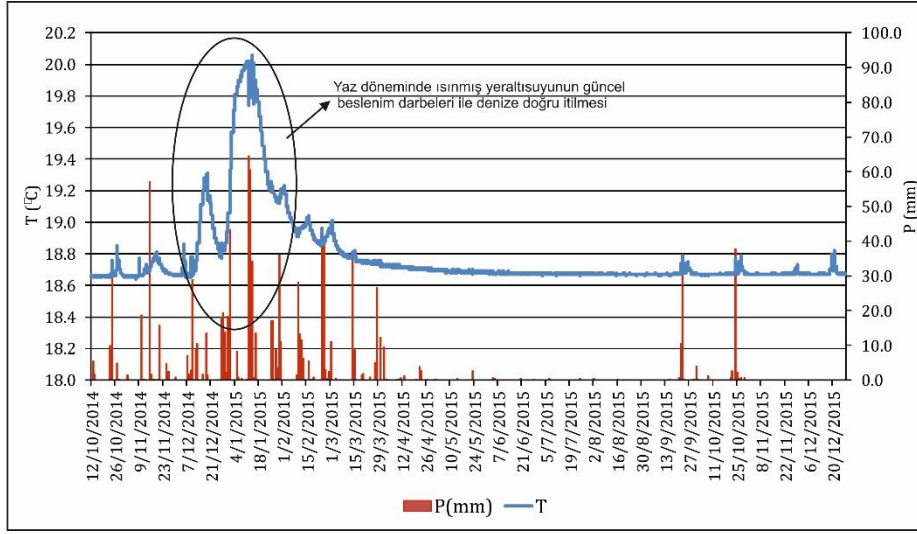
yeraltısuyunun güncel beslenme darbeleri ile denize doğru itilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Anlık beslenme darbesinin sonlanmasıyla yeraltısuyu akışı olağan koşullara geri dönmekte, alüvyon akifer ile altında yer alan karst akiferinden kaynaklanan yeraltısuyu akımı kıyı boyunca karışarak denize boşalmaktadır.



Şekil 10. 63068 No.lu kuyuda YAS kotu- yağış (P) ilişkisi.



Şekil 11. 63068 No.lu kuyuda ÖEİ- yağış (P) ilişkisi.

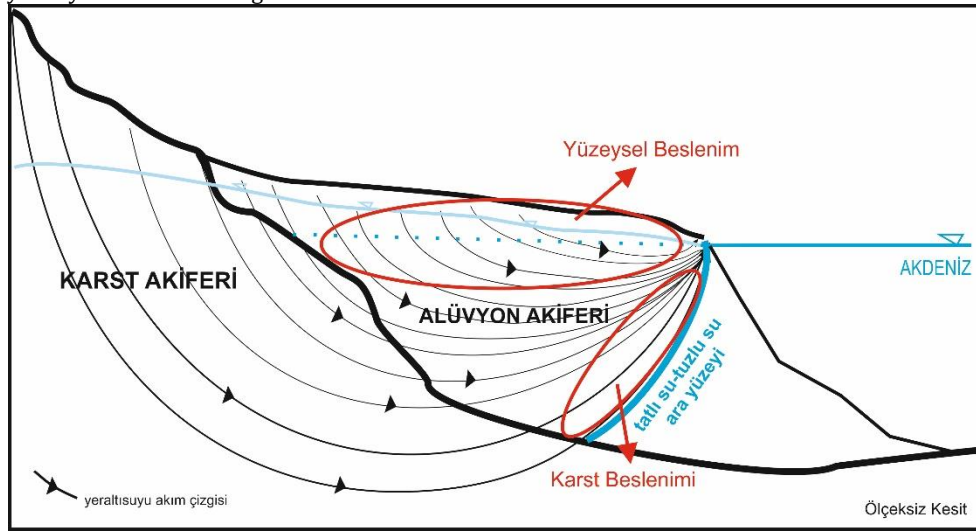


Şekil 12. 63068 No.lu kuyuda YAS sıcaklığı (T) - yağış (P) ilişkisi.

4. Tartışma ve Sonuç

Zamanda sürekli ve süreksiz YAS kotu, sıcaklık ve ÖEİ verileri ışığında Demre kıyı akiferi için oluşturulan kavramsal hidrojeolojik model Şekil 13'de verilmiştir. Modelde yeraltısuyu akım çizgilerinin tatlısu-tuzlu su ara yüzeyinin denize yaklaştığı kısımda birbirine yakınsadığı gözlenmektedir. Ovadaki yoğun yeraltısuyu kullanımına karşın kıyı kesimi dışında deniz suyu kaynaklı tuzlanma gözlenmemesi denize

doğru sürekli ve güçlü bir yeraltısuyu boşalımı olduğuna işaret etmektedir. Bu boşalımda karst akiferinin önemli bir katkısı olduğu düşünülmektedir. Karst akiferi aynı zamanda alüvyon akiferini de güçlü biçimde beslemektedir. Bu beslenme yıl içinde salınım göstermekle birlikte alüvyon akiferindeki yük dağılımının uzun dönemde sabit olmasını, diğer bir deyişle akifer depolamasının değişmemesini sağlamaktadır.



Şekil 13. Demre alüvyon akiferi kavramsal hidrojeolojik modeli.

Demre Ovası'nda yapılan süreksiz yeraltısuyu gözlemlerinde saptanan, yıl içinde bir kaç metreye ulaşan YAS kotu salınımları akiferin oldukça dinamik olduğunu ve dış etkilere kısa

sürede tepki verdiğini göstermektedir. Öte yandan, YAS kotunun yıl içinde beslenme ve çekimdeki değişmeye bağlı olarak salınmasına karşılık ova genelinde ortalama YAS kotunun

uzun dönemde değişmeyişi karst akiferinden güçlü bir yanal beslenme sağlandığını göstermektedir. Karst akiferinin bu beslenimi sağlaması; a) Karst akiferinin hidrolik iletkenliğinin alüvyon akiferinden daha büyük ya da eşit olmasından, b) karst akiferindeki hidrolik yükün yıllar arasında hemen hemen sabit ve alüvyon akiferin hidrolik yükünden çok çok büyük olmasından kaynaklanmaktadır.

Veri toplar cihazlarından elde edilen sürekli YAS kotu, sıcaklık ve ÖEİ ölçümleri de ova genelinde yeraltı suyu besleniminin ve akış dinamiğinin oldukça değişken olabildiğini göstermiştir. Örneğin, 63070 No.lu kuyuda yağışla gelen beslenme darbelerinin YAS kotunda ani yükselime sebep olmadan, akifer içinde sönmülenererek doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir. Buna karşın, sahilden 50 m içerde bulunan 63068 No.lu kuyuda gözlenen seviye, sıcaklık ve ÖEİ değerleri beslenme darbelerine oldukça hızlı tepki vermektedir. Bu durumun kıyı kesimde su tablasının yüzeye oldukça yakın olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Gelecekte; Demre kıyı akiferinde YAS kotu değişiminin belirlenebilmesi için yıl içinde sürekli seviye gözlemi yapılması ve olası deniz suyu girişimini tespit edebilmek için de ovanın farklı yerlerinde seçilmiş gözlem kuyularında sürekli seviye-sıcaklık-ÖEİ ölçümleri yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya TÜBİTAK tarafından 113Y072 No.lu proje ile Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 013D01602-001 No.lu

proje kapsamında finansal destek sağlanmıştır. Yazarlar arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Dr. Gizem ERKAN ve Bülent TOPUZ'a teşekkür ederler.

Kaynakça

- [1] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü MTA, 1997. 1/250000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No:2 Fethiye Paftası. Ankara,Türkiye, 26s.
- [2] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü MTA, 1997. 1/250000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi No:3 Antalya Paftası. Ankara,Türkiye, 25s.
- [3] Colin, H.J., 1962. Fethiye-Antalya-Kaş-Finike (Güneybatı Anadolu) bölgesinde yapılan jeolojik etütler, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Cilt. 59, s. 19 – 59.
- [4] Pisoni, C., 1967. Kaş (Antalya İli) Bölgesinin Jeolojik Etüdü, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Cilt. 69, s. 42-49.
- [5] Özgül, N., 1976. Toroslar'ın bazı temel jeoloji özellikleri, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Cilt. 19 (1), s. 65-78.
- [6] Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, R., Ünverdi, M., Gözler, M.Z., 1981. Teke Torosları Güneydoğusunun jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Dergisi, Cilt. 95/96, s. 13-43.
- [7] Avcı, P. 2015. Demre Kıyı Akiferinde (Antalya) Sürdürülebilir Yeraltı suyu Kullanımının Sayısal Akım Modellemesi İle İncelenmesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 206 s, Ankara.
- [8] Devlet Su İşleri DSİ, 2010.Yeraltı suları, Ankara, Türkiye, s. 61-73.
- [9] TUSAGA-AKTİF. 2015. TUSAGA <http://www.tkgm.gov.tr/tr/icerik/tusaga-aktif-0> (Erişim Tarihi: 1 Temmuz 2015)
- [10] Carlson, G., 2010. Specific Conductance as an output unit for conductivity readings, In Situ Inc Technical Report 009, USA.
- [11] Meteoroloji Genel Müdürlüğü MGM, 2015, Demre Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu 2014-2015 yılları günlük yağış verisi, Ankara.