



## **Kısa Dönem Kuyu İzlem Verilerine Göre Yeraltısuyu Besleniminin Belirlenmesi, Alaşehir (Manisa) Örneği**

### **Groundwater Recharge Estimation Using Short Period Monitoring Level Data, A Case Study Alasehir (Manisa)**

**Celalettin Şimşek<sup>1\*</sup>**, **Ali Can Demirkesen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Torbalı Meslek Yüksekokulu, Torbalı, İzmir, TÜRKİYE

<sup>2</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, Urla, İzmir, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author \*: celalettin@deu.edu.tr/Geliş

Tarihi / Received: 28.02.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Kabul Tarihi / Accepted: 03.06.2021

DOI: 10.21205/deufmd.2022247010

*Atıf şekli/How to cite: ŞİMŞEK, C., DEMİRKESEN, A.C. (2022). Kısa Dönem Kuyu İzlem Verilerine Göre Yeraltısuyu Besleniminin Belirlenmesi, Alaşehir (Manisa) Örneği. DEUFMD, 24(70), 91-104*

#### **Öz**

Manisa Alaşehir graben sistemi içerisinde yer alan Kuvaterner Alüvyon akiferin yıllık beslenme miktarı yeraltısuyu seviye verilerine göre belirlenmiştir. Bunun için alana 10 adet pompaj kuyusu, 30 adet araştırma kuyusu açılmıştır. Akiferin karakterizasyonu yapılmış ve sahada akifer temsil edecek şekilde kuyulara otomatik seviye kaydedici ve 3 noktada meteoroloji istasyonu kurularak veriler elde edilmiştir. Bir hidrolojik dönemde elde edilen seviye verileri kullanılarak en düşük seviye ve en yüksek seviyeler belirlenmiş ve bu verilerden akiferin beslenme miktarı belirlenmiştir. Seviye izleme verisi sonuçlarına göre akiferin yıllık beslenme değerinin 39,6 mm ile 588,99 mm arasında değişmekte ve ortalaması 290 mm'dir. En yüksek beslenme miktarı jeolojik yapıya uyumlu olarak akiferin batı kesimlerindeki geçirimli alüvyonel yelpazelerin dağılımı sunduğu alanlarda belirlenmiştir. Seviye değişim yöntemi zaman alıcı ve uzun dönem izleme gerektiren bir yöntem olmasına karşın akiferdeki beslenimin daha doğruya yakın hesaplanmasına yardımcı olan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Seviye değişim yöntemi, yeraltısuyu izleme, yeraltısuyu beslenimi

#### **Abstract**

The annual recharge of the Quaternary Alluvium aquifer in the Manisa Alaşehir graben system was determined according to groundwater level data. For this purpose, 10 pumping wells and 30 research wells were drilled in the area. The characterization of the aquifer was made and the data were obtained by installing an automatic level recorder in wells and meteorology stations to represent the aquifer in the field. Using the level data obtained in a hydrological period, the lowest level and the highest levels were determined and from these data the recharge of the aquifer was calculated. According to the results of monitoring wells, it has been calculated that the annual recharge value of the aquifer varies between 39,6 mm and 588,99 mm with 290 mm on average. The highest recharge value was determined permeable alluvial fans materials in the western parts of the aquifer in accordance with the geological structure. Although the level change method requires long-term monitoring and time, this method helps us to calculate the inflow in the aquifer more accurately.

**Keywords:** Level fluctuation method, groundwater monitoring, groundwater recharge

## 1. Giriş

Son dönemlerde dünya genelinde kuraklık sorunu yaşanmaktadır. Kuraklık dönemlerinde yüzeysel su kaynaklarındaki azalma, tarımsal faaliyetleri, içme-kullanma suyu kullanımına dönük su miktarında azalma ve dolayısı ile insanların sosyo-ekonomik dengesini etkilemektedir [1]. Diğer önemli bir su kaynağımız ise akiferlerde depolanan yeraltısularıdır. Dünya üzerindeki temiz kullanılabilir su kaynaklarımızın %1'ini yeraltısu kaynağı oluşturur [2]. Yeraltısuları yüzeysel su kaynaklarından süzülerek geçirimli ve geometrisi bulunan jeolojik ortamlarda depolanan sulardır. Kullanılan yeraltısuyunun % 60'ı tarımsal sulamada, sanayi ve içme suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, birçok kurak ve yarı kurak bölgede ise canlıların içme suyu gereksinimi büyük çoğunluğu yeraltısuyuna bağımlıdır [3]. Ülkemiz bu açıdan bakıldığında, iklim ve coğrafik özellikleri dikkate alındığında yarı kurak ve kurak iklim tipine sahip bir kuşakta olup, su azlığı problemi yaşayan bir bölgede yer almaktadır [4]. Bu bağlamda son yıllarda Nehir Havza Yönetim Planları kapsamında yapılan çalışmalar da ülkemizdeki su kaynaklarının hem kalite hem de miktar açısından kullanıma ve iklimsel özelliklere bağlı olarak azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir [5]. Yapılan havza bazlı çalışma sonuçlarına bakıldığında yeraltısu kaynaklarına miktar açısından önemli azalmalar tespit edilmiştir. Akiferlerdeki aşırı yeraltısu tüketimi, yeraltısu seviyelerinde önemli düşümlere neden olmakta ve kurak dönemlerde sulama ve içme-kullanma açısından önemli su problemleri yaşanmaktadır [6, 7].

Son yıllarda, stratejik bir öneme sahip olan yeraltısuyunun sürdürülebilir verimliliğinin artırılması için kalite ve miktarının belirlenmesine yönelik olarak ülkemizdeki tüm havzalarda detaylı hidrojeolojik çalışmalar yapılmaktadır [8]. Bu çalışmalarda yeraltısu potansiyelinin belirlenmesi, kalite ve miktar açısından koruma tedbirlerine yönelik stratejiler araştırılmaktadır. Ancak, yapılan çalışmalarda yaşanan en önemli sorunlardan biri akiferde depolanan yeraltısuyunun yıllık beslenme ve boşaltım miktarının belirlenmesinde yönelik somut hesaplama yöntemlerinin olmamasıdır. Yeraltısu kaynağının sürdürülebilirliğinin planlanmasında en önemli faktör su miktarının

belirlenmesidir. Bu kapsamda akiferdeki yeraltısu rezervinin tam olarak belirlenmesi, yıllık beslenme ve çekim miktarının belirlenmesi ve ayrıca en önemli parametreyi oluşturmaktadır. Yeraltısuyunun beslenme miktarının belirlenmesine yönelik somut yöntemlerin geliştirilmemesi ve bir standarda oturtulamaması nedeniyle yeraltısu beslenme miktarının belirlenmesi hidrojeolojik çalışmalarda ölçülmesi ve hesaplanması en güç parametrelerden birisini oluşturur [9]. Literatürde bütçe modeli, fiziksel ölçüm yöntemleri, zemin nemi, izleyici ve kimyasal izleme teknikleri (duraylı izotoplar ve çevresel izleyiciler), nümerik modelleme çalışmaları ve yeraltısu seviye değişim gibi çok farklı yöntemlerle beslenme değerinin belirlenmesine yönelik çalışma mevcuttur [10 -14]. Bu yöntemler arasında zaman alıcı fakat en sağlıklı ölçüm yöntemlerinden birini seviye değişim yöntemi oluşturur. Bu yöntemin en önemli özelliği akifere toplam giren (yağış, yüzeysel su ve yanal beslenme) ve çıkan suyu izleme olanağı tanımaktadır. Ancak bu yöntem için akiferi temsil edecek sayıda izleme ağının kurulması önem taşımaktadır. DSİ tarafından uzun yıllardır özellikle alüvyon akiferlerin beslenme miktarının belirlenmesinde seviye değişim yöntemini kullanılmıştır. Ancak bu beslenme belirlenmesinde kullanılan kuyular geniş yayımlı akiferlerde sayısal olarak oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada ise akiferi temsil edecek sayıda izleme kuyuları açılarak bir hidrojeolojik dönemde izleme yapılarak yeraltısu seviye değişimi izlenmiş ve bu veriler ışığında akiferdeki yeraltısu beslenimi belirlenmiştir. Çalışma Ege Bölgesindeki akiferleri temsil edecek özelliklere sahip Gediz Havzasının bir alt havzası olan Alaşehir alüvyon akiferinde uygulanmıştır (Şekil 1). Bu çalışmada Tubitak 1003 projesi kapsamında yapılan bir çok beslenme metodolojisi uygulanmış ve burada sadece seviye değişim yöntemi ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Method

### 2.1. Bölgedeki Akiferlerin Özellikleri

Projenin uygulandığı akiferi, bölgede Kuvaterner ve Pleyistosen yaşlı alüvyon, alüvyonel yelpazeler, ve yamaç molozlarının kapsayan taneli birimler oluşturmaktadır (Şekil 1). Jeolojik yapı itibarı ile bu tür çöküntü alanlarında depolanan gevşek yapılı taneli

birimler yeraltısuyu bulundurma ve sağlama açısından oldukça elverişlidir. Proje sahasındaki taneli birimler 581,6 km<sup>2</sup>lik bir alanı kapsamakta ve alt havzanın % 21,45'ini oluşturmaktadır. Yekpare olarak yer alan ovadaki bölgede yapılan su ve jeotermal sondaj verilerine göre birim kalınlığı 24 ile 225 m arasında değişmektedir. Kuyuların özgül debisi 0,01 ile 22,56 L/s/m arasındadır [6]. Ovada yapılan sondajlarda 200 m'ye kadar kil ve çakıl ardalanmalı olarak devam etmiştir. Alüvyon, doğu kesimlerde ağır kil, batı kesimlerde ise ağırlıklı kum ve çakıl olarak karşımıza çıkmaktadır. Proje sahasında yeraltısuyu kullanımı tamamıyla alüvyon akiferden sağlanmaktadır. Alüvyon akiferin altında ise kalınlığı 1000 m'nin üzerinde olan düşük verimli Neojen Kırıntılı birimler yer almaktadır. Bu birim kilaşı, silttaşı, kumtaşı ve çakıltası ardalanmasından oluşmakta ve genel olarak kumtaşı ve çakıltası düzeyleri su taşıyan tabakalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Havzayı çevreleyen temel kayaları ise ağırlıklı olarak Menderes masifine ait şistlerden oluşmakta ve geçirimsiz özelliktedir. Bu birimlerden yeraltısuyu sağlama olanakları oldukça sınırlıdır. Ancak Menderes masifi içerisindeki mermer tabakalarından graben alanı içerisinde jeotermal su rezervuarı bulunmakta ve bu rezervuardan sıcak su kuyuları ile üretim yapılmaktadır. Bu projenin asıl konusu yeraltısuyu taşıyan akifer olan alüvyonel birimlerdir. Havzanın yapısal özellikleri Ege Bölgesindeki diğer havzalara benzemesi nedeni ile buradan elde edilecek bulgular yeraltısuyu sisteminin araştırılmasında buna benzer akifer sistemlerine ışık tutacaktır.

## 2.2. Yeraltısuyu İzleme Sisteminin Kurulması

Proje sahasına üç adet meteoroloji istasyonu konumlandırılmıştır. Bu istasyonlardan yağış miktarı, rüzgâr yönü ve hızı, nem, hava sıcaklık değerleri ölçülmüştür. Ölçümler her saat başı alınacak şekilde ayarlanmış ve veri bankasında depolanmıştır. İstasyonların lokasyon seçimlerinde havzada yer alan DSİ ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü istasyonları dikkate alınmıştır. Belirlenen istasyon noktalarının alüvyon akiferi temsil edecek şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 2).

Proje kapsamında toplam 10 noktada ve derinlikleri 75-125 m arasında değişen ve toplam derinliği 1000 m olan 10 adet pompaj sondaj

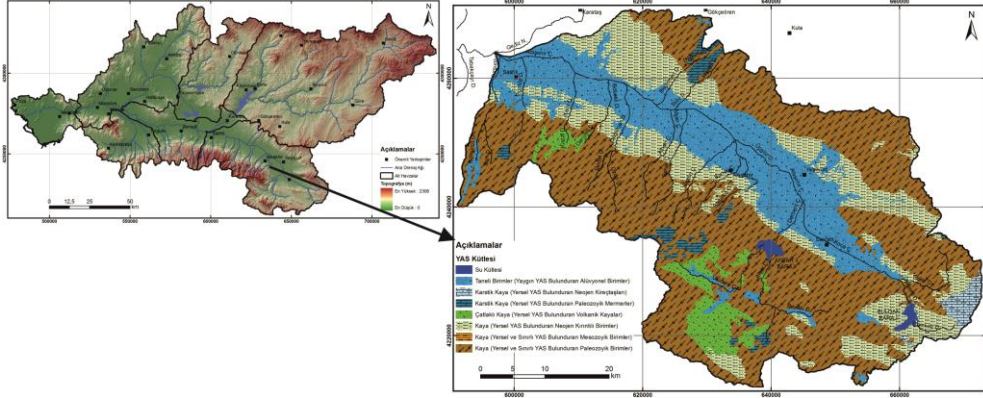
kuyusu açılmıştır. Bu kuyuların açılış amaçları, akiferin hidrolik parametrelerinin belirlenmesi için pompa testlerinin yapılması ve bazı kuyulara ise seviye kaydedici yerleştirilerek yeraltısuyu seviye değişiminin izlenmesidir. Ayrıca proje kapsamında açılan kuyulardan su örneklerinin alınması da hedeflenmiştir. Pompaj kuyuları en az 8,5" (21,59 cm) çapla açılmıştır. Proje sahasında akifer litolojisinin tanımlanması, vadoz bölgenin geçirgenlik değerlerinin belirlenmesi, pompaj testleri için açılan pompaj kuyularının 5-25 m arasında değişen uzaklıklara gözlem kuyusu olarak kullanılması, zemin nem ölçüm sistemlerinin yerleştirilmesi ve akiferden karot alınması için toplamda 30 noktada araştırma kuyusu açılmıştır. Bu açılan kuyuların 10 tanesi pompaj kuyularının yakınlarına açılmış ve pompaj testlerinde seviye ölçümü amaçlı kullanılmıştır. Açılan pompaj kuyularının iki tanesi pompaj testi sırasında gaz gelişini birlikte fişkırtma yapmış ve su gelişini durdurulmadığından çimentolanmak zorunda kalmıştır.

Diğer araştırma kuyularında ise alüvyon akiferin karakterizasyonu için öncelikle karot örneği almak ve daha sonra gözlem kuyusuna dönüştürülmesi hedeflenmiştir. Sondaj tekniği açısından, alüvyon gibi pekleşmemiş birimler için uygun olan NQ wire-line tipi 3 m'lik karotiyerlerle karotlu ilerleme yapılmış ve karot örnekleri alınmıştır. Daha sonra kuyu 4,5" (11,43 cm) çaplı matkap ile taranarak genişletilmiş ve içerisine 88 mm'lik PVC boru indirilmiş, çakıllanmış ve kuyu kompresör ile geliştirilmiştir. Gözlem kuyusuna dönüştürülen bu kuyulara seviye kaydediciler yerleştirilerek yeraltısuyu izlemesinde kullanılmıştır. Açılan pompaj kuyularına ve 11 adet gözlem kuyusuna seviye kaydedici cihazlar konumlandırılmıştır. Seviye kaydediciler her saat seviye ölçümü alacak meteoroloji istasyonları ile eş zamanlı olarak veri alacak şekilde ayarlanmıştır. Seviye kaydedici yerleştirilen kuyuların dağılımı Şekil 4'de gösterilmiştir. Proje kapsamında alınan 20 adet seviye kaydedici, bir adet elektriksel iletkenlik ve su seviyesini aynı anda ölçen CTD kaydedici ve iki adet barometrik hava basıncı kaydedici açılan pompaj ve gözlem kuyularına konumlandırılmıştır. Seviye kaydedicilerin kuyulara konumlandırma aşamaları Şekil 4'de sunulmuştur. Proje sahasında yapılan pompaj kuyularında pompaj testlerine başlanılmıştır. Pompaj testinde 5 L/s üretim yapan dalgıç pompa, enerji sağlayıcı jeneratör, pompa

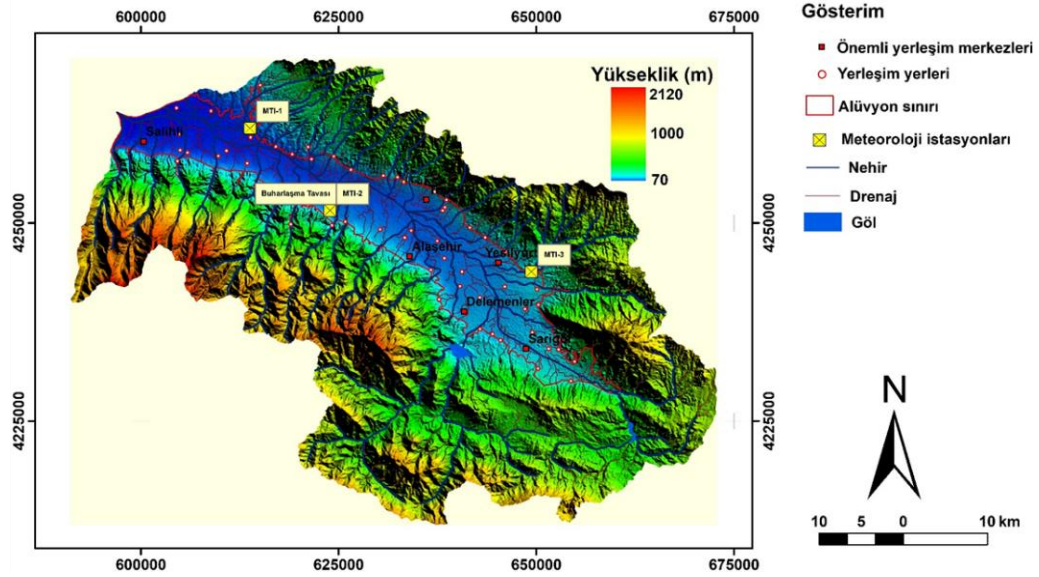
debinin ölçülmesi için hacmi belli kap, gözlem ve pompaj kuyusuna indirilen iki adet seviye kaydedici ile pompa testi gerçekleştirilmiştir. Pompaj kuyusuna indirilen seviye kaydedici her saniye ölçüm alacak şekilde ayarlanmıştır.

parametreler hesaplanmıştır. Bunlara ek olarak DSİ tarafından yapılan ve akiferleri temsil eden kuyu verileri de elde edilerek akiferin hidrolik parametreleri haritalanmış ve akifer karakterizasyonu değerlendirilmiştir.

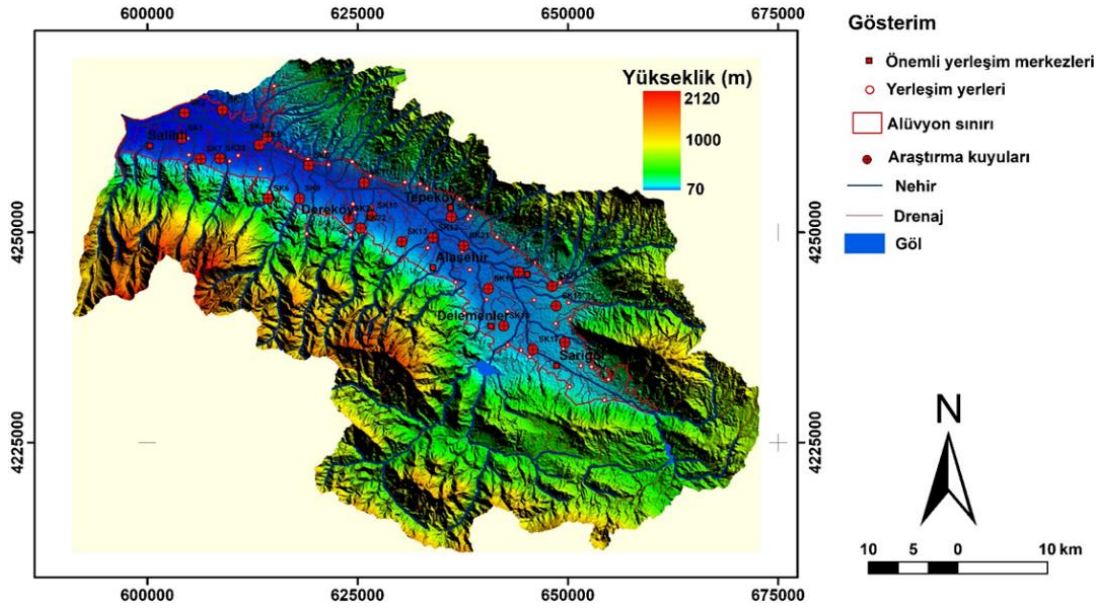
Elde edilen veriler Aquifer Test Programı kullanılarak değerlendirilmiş ve hidrolik



Şekil 1. Çalışma alanının yeri ve hidrojeoloji haritası ([6]'dan alınmıştır)



Şekil 2. Proje sahasına konumlandırılan meteoroloji istasyonlarının yerleri



Şekil 3. Alüvyon akiferi temsil edecek noktalara açılmış sondaj kuyu lokasyonları



Şekil 4. Seviye kaydedicilerin kuyulara yerleştirilmesi

### 2.3. Yeraltısuyu Seviye Değişim Yöntemi

Seviye değişim yöntemi ile akiferi temsil edecek noktalarda açılmış ve uzun dönem seviye izlemesi yapılmış olan kuyulardaki seviye değişimleri incelenerek beslenme miktarı hesaplanabilmektedir. Özellikle yağışlı dönemde akiferde depolanan su hacmin artışı yeraltısuyu seviyesinde yükselime neden olur. Bu yükselim dönemi baz alınarak akiferde yağışlı dönemde depolanan su miktarı ortaya konulabilmektedir. Bu yöntemin kullanılması için proje sahasına açılmış olan gözlem ve pompaj kuyularına seviye ölçerler monte edilerek her saat seviye ölçümü alınmıştır. Zamana bağlı olarak seviyelerin değişim grafiği oluşturulduğunda kurak dönem sonu ile yağışlı dönem sonu kolaylıkla ayırt edilebilmektedir. Bu cihazlardan alınan verilerin hidrolik yük cinsine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için gerekli olan veriler ise yalnızca hava basıncını ölçen otomatik hava basıncı ölçer ile sağlanmaktadır. Kuyu dışında bulunan bu sensörler yalnızca hava basıncını ölçmektedir. Sahamızda alana yayılmış şekilde 2 adet otomatik hava basıncı ölçer konumlandırılmıştır. Kuyuda su içerisinde bulunan sensördeki su basıncı + hava basıncı verisinden, kuyu dışında bulunan otomatik hava basıncı ölçer ile alınmış hava basıncı verisi çıkartılarak yalnızca su yükü bulunmaktadır. Elde ettiğimiz bu veri

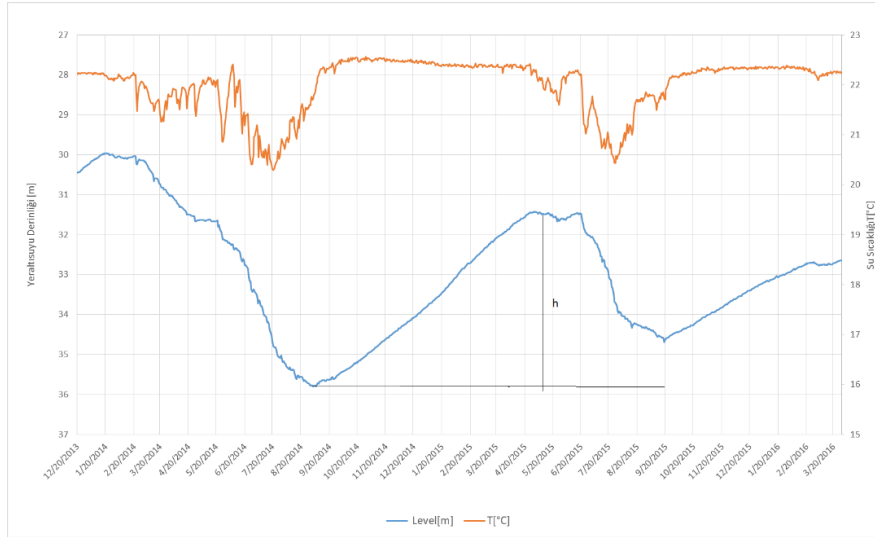
sensörün bulunduğu derinlikten daha sonra da kuyu kotundan çıkartılarak hidrolik yük elde edilmektedir.

Bu veriler zamana bağlı olarak grafiklendirilmiştir. Daha sonra ise yağış verileri eklenerek yağışlı dönemler ve seviyelerin minimum ve maksimum olduğu zamanlar ortaya konularak Eşitlik 1 ile beslenme (R) hesaplanabilmektedir (Şekil 5). Seviye değişim yöntemi yağış, yüzey suyu ve yanal beslenme değerlerini yansıtan en önemli beslenme yöntemlerinden biri olarak bilinmektedir [9, 15 ve 16].

Burada,  $S_y$ ; akiferin özgül verimi veya depolama katsayısı,  $\Delta h$  ise bir  $\Delta t$  zaman periyodunda su seviyesindeki değişimidir. Yükselim periyoduna göre beslenme miktarı Şekil 5'de sunulmuştur.

$$R = S_y \times \Delta h / \Delta t \quad (1)$$

Depolama katsayısı ise pompaj test verilerinden ve DSİ [6] verileri kullanılarak depolama katsayısı dağılım haritası üretilmiştir. Burada bazı gözlem kuyularının hesaplanmış depolama katsayısı olmaması nedeni ile raster harita verisi kullanılmıştır.



Şekil 5. Yağışlı dönemde yeraltısuyu yükselim miktarının belirlenmesi

### 3. Bulgular

#### 3.1. Akiferin Özellikleri

Araştırmaya konu olan alüvyon akiferi temsil edecek sayıda araştırma kuyuları açılmış ve akiferin hidrolik parametrelerini de elde etmek için pompaj test kuyuları açılmıştır. Araştırma kuyularından alınan karotlar incelenmiş ve laboratuvarında yapılan Zemin sınıflama deneylerinde zemin sınıfları da elde edilmiştir. Bu verilere göre, akiferin batı kesimlerinde iri daneli çakıl ve kum ağırlıklı zeminler hakim iken, doğu ve güney doğu kesimlerinin ise kil ve silt ağırlıklı malzemeden oluştuğu alınan karot örneklerinden anlaşılmıştır. Akiferin hidrolik parametrelerinin belirlenmesi için proje sonucunda elde edilen veriler ile DSİ tarafından yapılmış çalışmadan çıkan sonuçlarla bir istatistik bilgisi oluşturulmuştur (Tablo 1). Burada özellikle seviye değişim yöntemi için gerekli olan depolama katsayısı değeri her kuyuda hesaplanmadığından elde edilen verilerden bir dağılım haritası oluşturulmuş ve diğer kuyular için depolama katsayısı haritadan elde edilmiştir (Şekil 7).

Depolama katsayısının hesaplanması için pompaj kuyusunun yakınına bir seviye izleme kuyusu açılması gerekmektedir. Proje kapsamında açılan 10 adet pompaj kuyusu ve DSİ tarafından yapılan bir kaç kuyu verisi kullanılmıştır. Bu değerler ışığında, akiferin geçirgenlik değeri 0,02 ile 68,27 m/g arasında değişmektedir. Depolama katsayısı 0,0004 ile 0,34 arasında değişmektedir. Akiferin iletkenliğinin ise 7,31 ile 5694 m<sup>2</sup>/g arasında değiştiği saptanmış ve en yüksek iletkenlik değerinin doğu alüvyonel yelpazelerde olduğu tespit edilmiştir. Alüvyon akifer için özgül debi değeri 0,09 ile 26,43 L/s/m arasında değişmekte olup ortalaması 4,3 L/s/m olarak elde edilmiştir. Alüvyon akiferin malzeme özelliğine göre çok geniş bir aralıkta özgül debi değeri sunmaktadır.

Proje sahasından elde edilen Hidrolik iletkenlik ve Özgül debi değerleri arasında bir korelasyon olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan korelasyon hesaplamalarında korelasyon katsayısı (r) değeri 0,85 bulunmuş olup, doğrusal ve yüksek bir ilişki ortaya çıkmıştır [17]. Elde edilen hidrolik parametrelere göre alüvyon akifer serbest akiferin niteliği taşıdığı ve yeraltısuyunun yağışlardan sonra hızlı tepki vereceği bir yapıya sahip olduğu ortaya konmuştur.

#### 3.2. Seviye Değişim Yöntemine Göre Yeraltısuyu Besleniminin Belirlenmesi

Sahada açılan kuyulara yerleştirilen otomatik seviye ölçerler her saat başı veri olarak kaydetmiştir. Kuyulardan elde edilen seviye eğrilerinden bazıları Şekil 6'da sunulmuştur. Ayrıca sahaya konumlandırılan 3 adet meteoroloji istasyonlarında seviye kaydediciler ile aynı zaman sürelerinde yağış miktarını kaydetmiştir. Aynı grafikte seviye değişimi ve yağış değerleri zamana bağlı olarak sunulmuştur. Seviye eğrilerine bakıldığında en düşük seviyenin kurak dönem olan Ekim ayında hidrolik yükün en düşük olduğu zaman olarak elde edilmiştir. Ekim ayından itibaren yağışların başlaması ve sulama suyu çekimlerinin azalmasına bağlı olarak Mayıs ayına kadar su seviye yükselimi sunmuştur. Bazı kuyularda Mart ayında, bazı kuyularda ise Mayıs ayına kadar yükselimi gözlenmiştir. Bu yükselimin kuyuların bulunduğu lokasyona bağlı olarak ve malzeme geçirgenliği ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Seviye değişim yönteminin en önemli özelliği seviyenin yağış, yüzey sularından süzülme ve yanıl su girişlerini seviyeye etki yapmasıdır. Bu nedenle kuyulardaki seviye yükselimi piklerinde farklılıklar olabilmektedir. Kuyu seviye değişimlerinden elde edilen en düşük ve en yüksek hidrolik yük değerleri ve aralarındaki zaman grafiklerden elde edilmiş ve Tablo 2'de sunulmuştur. Bu verilere göre alüvyon akiferin yıllık beslenme miktarı 39,6 mm ile 588,99 mm arasında değişmekte ve ortalama olarak 290,04 mm olarak hesaplanmıştır. Alüvyon akiferde açılan PM-2 ve PM-4 nolu kuyuların fışkırmaması nedeni ile kapatılmış bu nedenle beslenme hesabında kullanılamamıştır.

Seviye değişim modelinde yeraltısuyu seviyesinin yağıştan sonra veya yağışlı dönemde yağışa tepki vermesi gerekmektedir. Bu bağlamda yağışların yeraltısuyu seviyesine ulaşmasına olanak sağlayacak geçirimsiz zeminlerin olmaması beslenme miktarını etkilemektedir. Açılan kuyuların büyük çaplı çekim kuyularından uzağa açılması nedeni ile kuyu çekimlerinden etkilenmemesi sağlanmaya çalışılmıştır. Bazı kuyularda belirlenen yeraltısuyu seviyesindeki küçük dalgalanmaların farklı zeminlerin ardalanmalı kesilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Buna karşılık diğer gözlem noktalarından elde edilen seviye verilerinin hem yağışlı dönemde beslenmeye hem de kurak dönemde çekimlere tepki verdiği görülmektedir. Bu bağlamda diğer izleme noktalarının alüvyon akiferde seviye değişim yöntemine göre elverişli veri oldukları anlaşılmaktadır. Bu kuyulardan PM-10 ise yüzeysuyuna yakın olan bir kuyudur. Kuyunun yağışlara çok hızlı tepki verdiği görülmektedir. Yağışlardan sonra diğer kuyulara nazaran daha fazla seviyelerde değişimler izlenmiştir. Bu değişimler yüzey sularının yağışlı dönemde akiferi beslediğini ifade etmektedir. Seviye değişim yönteminin en önemli özelliklerinden biri akiferdeki su hacmini değiştiren yağışdan süzülme, yüzeysel sularından süzülme, yanal beslenme ve sulama sularının katkıları içeren toplam içe akışı ifade etmesidir. Bu iki kuyuda elde edilen beslenme miktarlarının diğer kuyulardan elde edilenlere göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu bağlamda yüzey sularının da alüvyon akiferin besleniminde önemli bir rol oynadıkları anlaşılmaktadır.

Şekil 8'de yeraltısuyu seviye değişim yönteminden elde edilen noktasal beslenme değerleri kullanılarak dağılım haritası elde edilmiştir. Alüvyon akiferde beslenme miktarının alanın batı kesimlerinde alüvyon yelpazelerinin olduğu alanlarda yüksek olduğu görülmektedir. Alanın batı kesimleri yüksek topoğrafyaya sahip olması nedeni ile alüvyonel malzeme dağılımı iri daneli ve geçirimli

malzemedir oluşmaktadır. Bunlara ek olarak batı kesimlerde yoğun yüzeysel drenaj alanı gelişmekte ve bu drenaj ağından gelen yüzey suları alüvyonu besleyen bir mekanizma sunmaktadır. Bu bağlamda yanal beslenme miktarı da dikkate alındığında batı kıyı kesimlerinde beslenme değeri yüksek elde edilmiştir. Alanda batı kesimler önemli yeraltısuyu içeren beslenme ve boşalım mekanizması yüksek bir akifer zonuna işaret etmektedir.

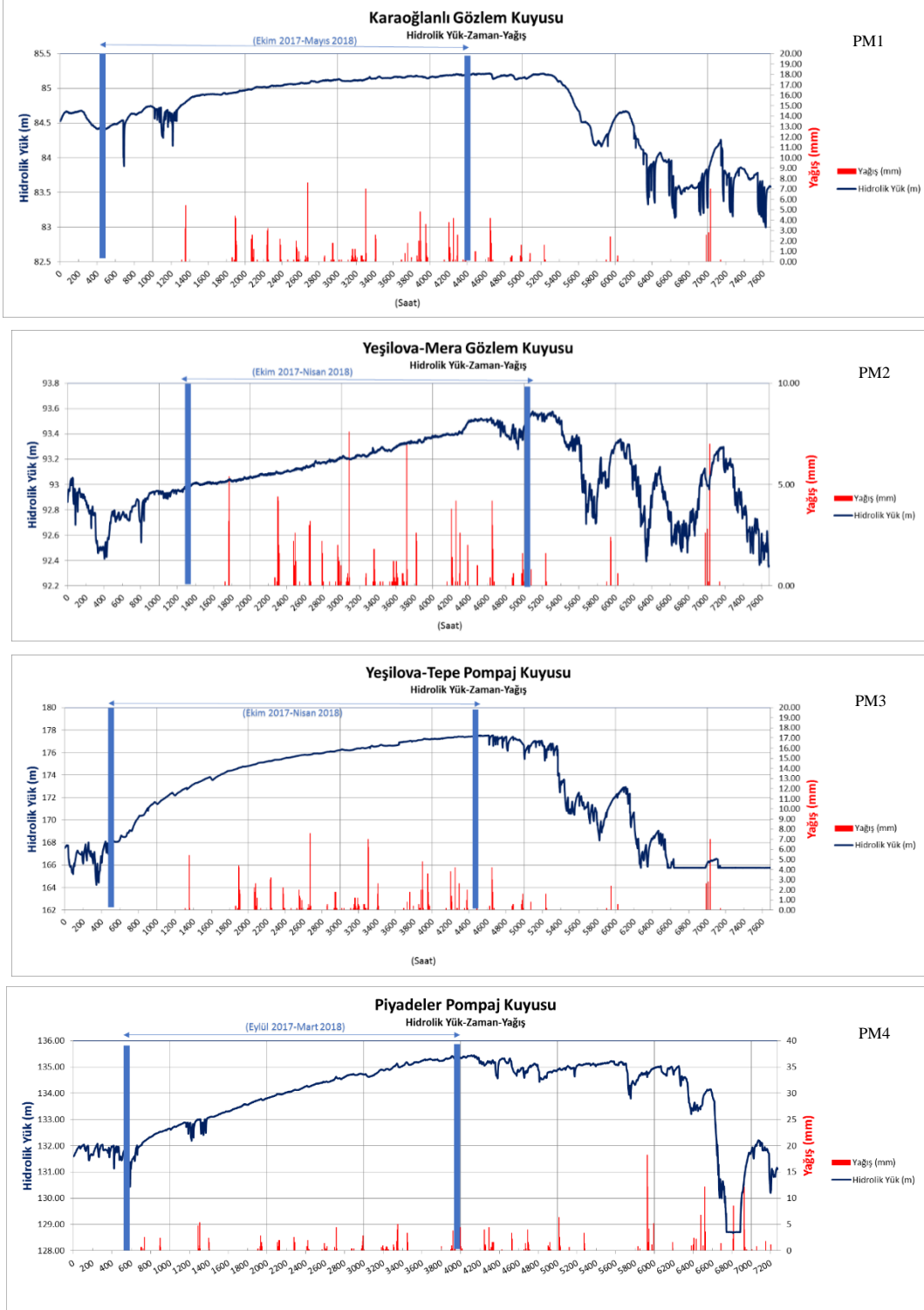
Elde edilen ortalama beslenme değerinin DSİ 2014 yılında yapılan yağış ve seviye yükselme korelasyonuna göre elde edilen 265 mm beslenme değerine yakındır. İki beslenme değeri arasındaki fark, bu çalışmada akiferi temsil edecek sayıda kuyu ile beslenme değeri hesaplanmış, DSİ [6] çalışmasında ise bir kuyu verisine göre belirlenmiş olmasıdır. Bu nedenle alüvyon akiferde beslenme değeri 39,6 mm ile 588,99 mm arasında değişmektedir. Bu değerler akiferin heterojen olması nedeni ile oldukça olgandır. Tek kuyu verisi tüm akiferi temsil etmemekte ve yeraltısuyu potansiyelinin belirlenmesinde yeterli veri sağlamamaktadır.

Tablo 1. Alüvyon akiferin hidrolik parametre ortalamaları (n=65)

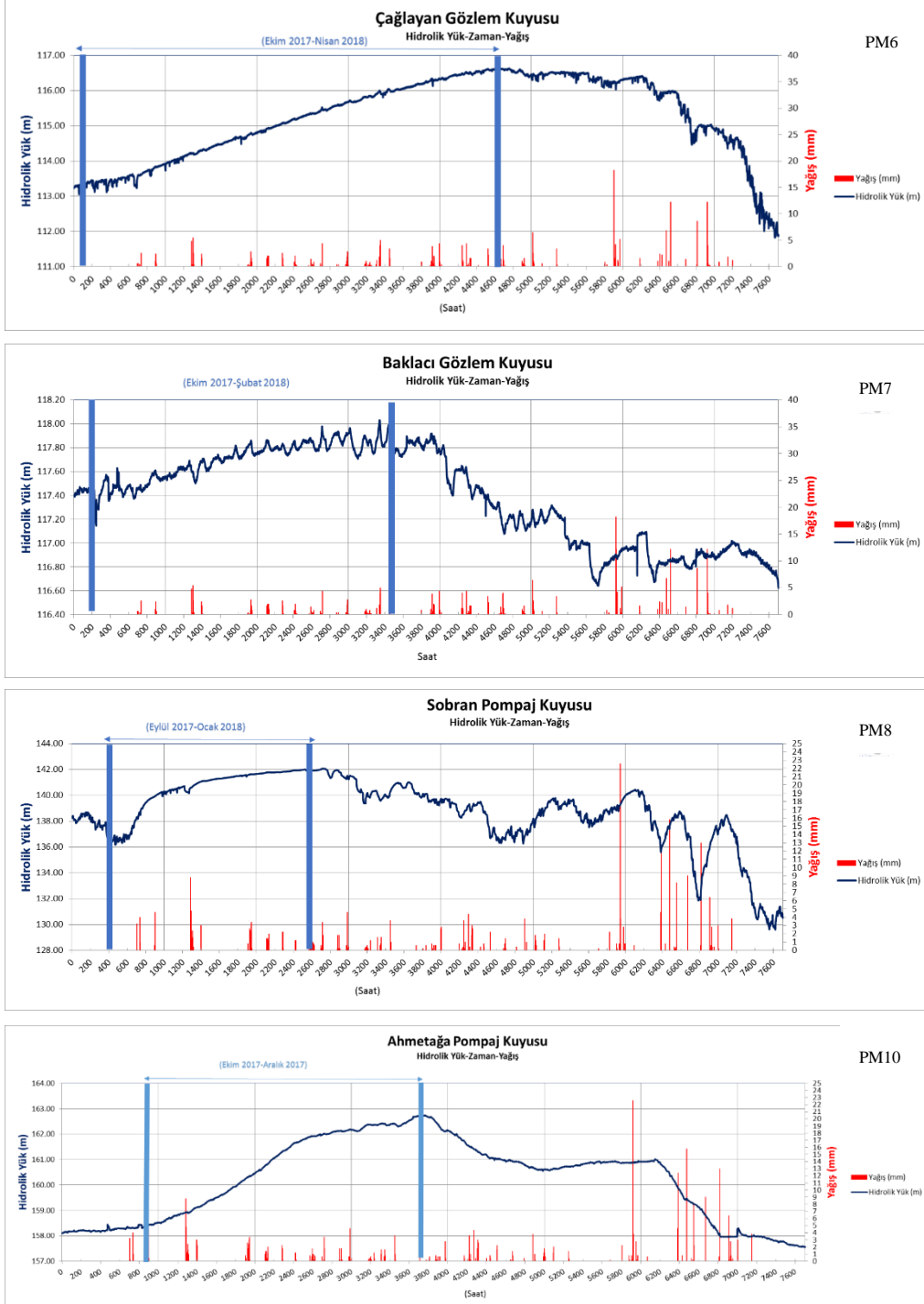
T (m <sup>2</sup> /d)	K (m/d)	Ozgül Debi (L/s/m)	Depolama Katsayısı
7,31	0,02	0,0859	0,0004
5694,00	68,27	26,4317	0,3420
782,03	9,05	4,2948	0,0702



DEÜ FMD 24(70), 91-104, 2022

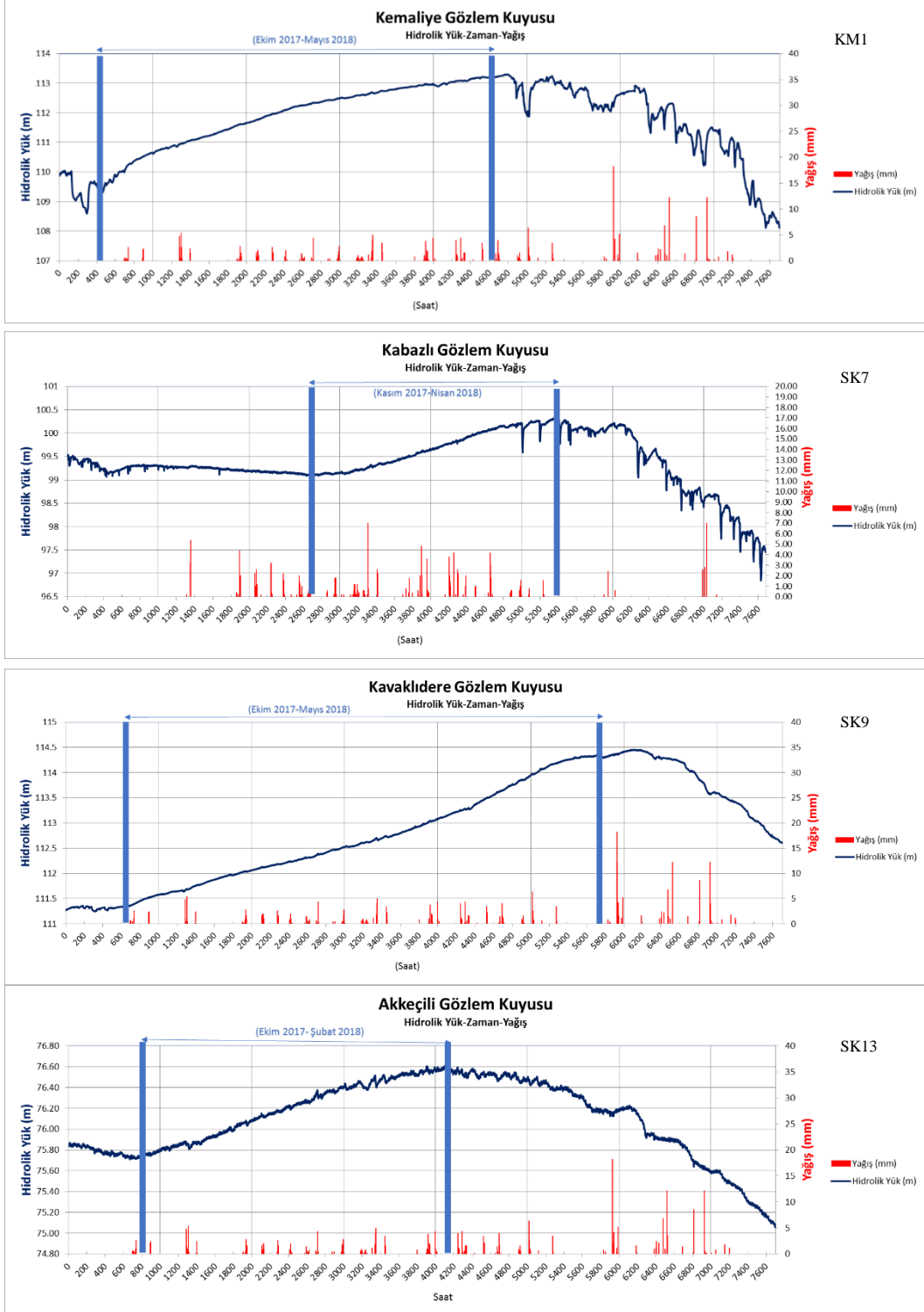


Şekil 6. Yeraltısuyu Seviye Kaydedicilerden alınan seviye yükselme verileri



Şekil 6 (devam)

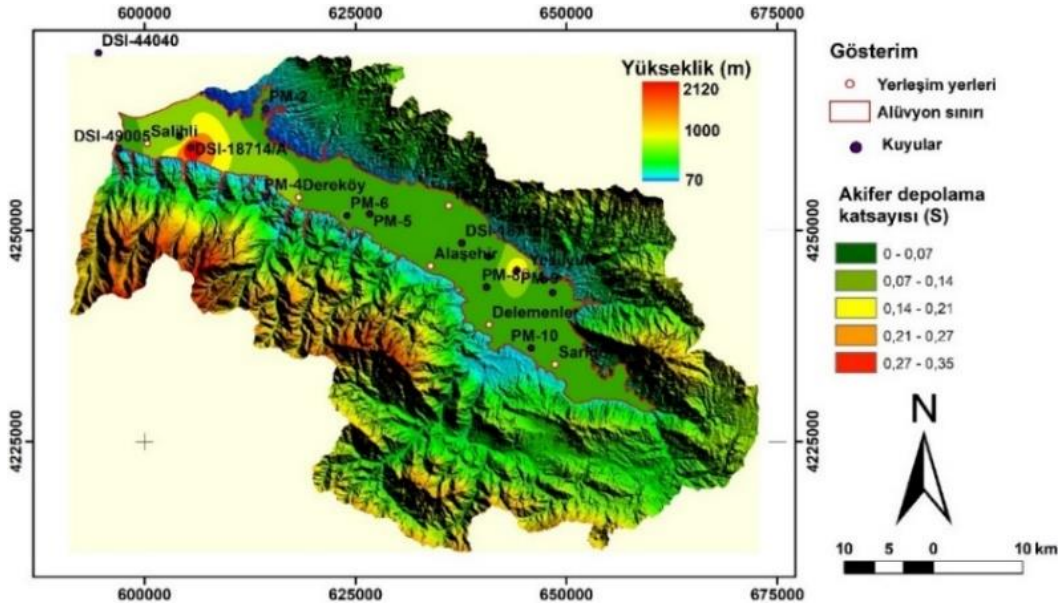
DEÜ FMD 24(70), 91-104, 2022



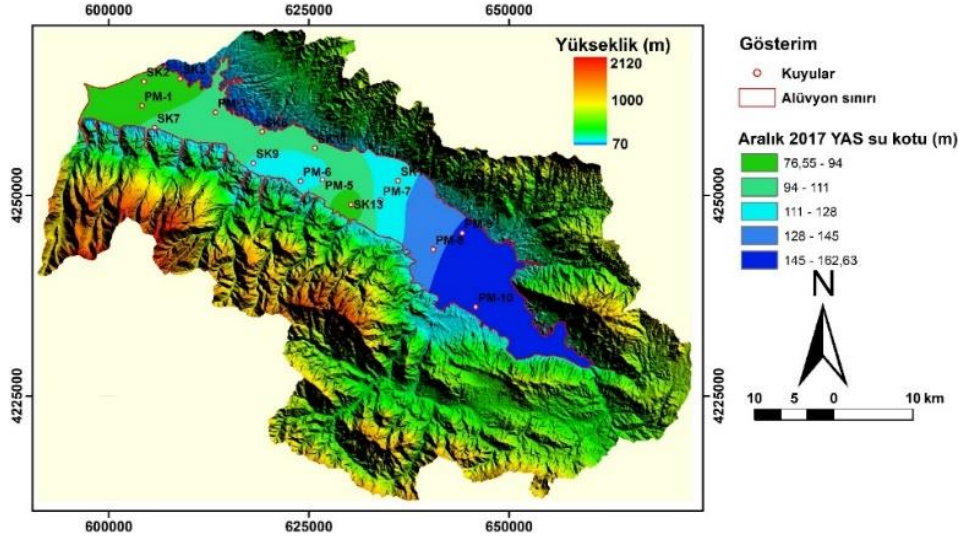
Şekil 6 (Devam)

Tablo 2. Seviye yükselim değerlerinden elde edilen zaman ve beslenme miktarları

Kuyu No	x	y	Z	Derinlik (m)	Kuyu Tipi	Maks.Hidrolik Yük (m)	Min.Hidrolik Yük (m)	Zaman (gün)	Depolama Katsayısı	Beslenme (mm)
SK2	604422	4264194	101	30	Gözlem	83,72	83,53	162	0,09	39,61
SK7	606070	4252503	131	50	Gözlem	100,3	99,09	112	0,1	407,00
SK8	619179	4257930	115	41	Gözlem	106,03	105,4	161	0,07	102,28
SK9	618086	4254018	143	46.5	Gözlem	114,33	111,37	206	0,07	374,50
SK11	625770	4255886	125	50	Gözlem	109,56	107,61	132	0,06	319,40
SK13	630254	4248858	101	50	Gözlem	76,6	75,71	140	0,06	132,50
SK14	636158	4251807	148	50	Gözlem	123,96	123	153	0,05	240,90
SK14	636158	4251807	148	50	Gözlem	123,38	122,02	154	0,05	159,52
SK22	625345	4250473	171	50	Gözlem	135,41	131,87	144	0,06	529,12
PM-1	604153	4261163	95	70	Pompaj	85,21	84,41	174	0,1	164,70
PM-3	613351	4260371	164	100	Pompaj	93,57	93,02	150	0,08	106,50
PM-6	623982	4251766	188	100	Pompaj	116,62	113,22	194	0,065	411,13
PM-7	633948	4249355	148	100	Pompaj	118	117,4	139	0,05	83,70
PM-8	640552	4243264	170	100	Pompaj	142,05	136,09	97	0,01	220,57
PM-10	645856	4236078	188	100	Pompaj	162,74	159,17	96	0,04	532,20
KM-1	621611	4263910	122	60	Üretim	113,2	109,04	192	0,07	523,12
GR-1	624796	4252731	150	80	Üretim	121,33	114,83	168	0,04	583,99
					Min	76,60	75,71	96,00	0,01	39,61
					Max	162,74	159,17	206,00	0,10	583,99
					Ortalama	113,29	110,99	151,41	0,06	290,04



Şekil 7. Akifer depolama katsayısı dağılım haritası



Şekil 8. Akiferde yeraltı suyu seviye dağılım haritası

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada Alaşehir alüvyon akiferinde yeraltı suyu besleniminin belirlenmesi için seviye değişim yöntemi ile elde edilen yıllık yeraltı suyu beslenme değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda yapılan sondaj çalışmalarında alüvyon akiferin geçirimli ve yağışlara hızlı tepki veren bir sisteme sahip olduğu belirlenmiştir. Proje alanı olarak seçilen akifer uygulanan yöntem için uygun bir akifer niteliğindedir. Proje sahasında oluşturulan meteoroloji ve yeraltı suyu izleme ağı verileri kullanılarak seviye değişim yöntemi ile alanda en düşük su seviyesinin Ekim 2017, en yüksek su seviyesinin ise Mayıs 2018 aylarında olduğu görülmektedir. Sahada açılan pompaj ve gözlem kuyularına konumlandırılan 17 adet seviye izleme verisi sonuçlarına göre akiferin yıllık beslenme değerinin 39,6 mm ile 588,99 mm arasında değişmekte olduğu ve ortalama olarak 290 mm'lik bir yıllık beslenme miktarına sahip olduğu hesaplanmıştır. En yüksek beslenme miktarı jeolojik yapıya uyumlu olarak alanın batı kesimlerindeki geçirimli malzemelerin, alüvyonel yelpazelerin dağılım sunduğu alanlarda belirlenmiştir.

Uygulanan yöntem uzun dönem yeraltı suyu seviyesinin kullanımı ile yağışlı dönemde akifer depolamasındaki su hacminin artmasına bağlı olarak seviyedeki yükselimlerin beslenme olarak ele alındığı bir yöntemdir. Ülkemizde de

bu yöntem DSI tarafından akiferlerin beslenme miktarının belirlenmesi için açılan rasat kuyuları verileri ile uygulanmaktadır. Ancak açılan rasat kuyuları akiferi temsil edemeyecek şekilde oldukça sınırlıdır. Bu noktasal bulgular tüm akiferdeki beslenme miktarını yansıtamamaktadır. Bu nedenle, söz konusu yöntemin uygulanması için akiferi temsil edecek çok sayıda kuyu verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yöntemin uygulanması için göz önünde bulundurulması gereken sınırlamalar şunlardır; yeraltı suyu seviyesi yüze yakın olmalı (<30 m), yağışa tepki verecek derinliklerde olmalı, gözlem kuyularından seviye izlenmeli, açılan kuyu çevresinde pompaj ve çekim kuyuları olmamalı, barometrik etki göz önüne alınmalı ve akifer depolama katsayısı mutlaka belirlenmelidir.

Yukarıdaki sınırlamalar ele alındığında bu yöntem yaygın akifer özelliği sunan alüvyon akiferlerde kullanılabilir bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak, noktasal beslenmeli veya basınçlı akifer sistemlerinde uygulanabilir olup olmadığı araştırılması gerekmektedir. Proje sahasındaki alüvyon akiferde izlenen seviye değişimlerinin yağışlı ve kurak dönemleri yansıttığı belirlenmiştir. Bu tür değişim eğrileri ile seviye değişim yönteminden yeraltı suyu beslenme miktarı kolaylıkla belirlenebilmektedir. İnceleme alanında yapılan farklı yöntemlerle tespit edilen yağıştan süzülme miktarı karşılaştırılmıştır. Sahada 25 adet

karotlu sondaj verisi kullanılarak düşey yönlü sızmanın hydrus modeli ile yapılan çalışmada elde edilen yağıştan süzülme miktarı 21,78 ile 68,52 mm ve ortalaması 43 mm olarak hesaplanmıştır [13]. Yine aynı sahada başka bir yöntemle beş noktada konumlandırılan zemin nem ölçümleri ile elde edilen yağıştan süzülme miktarı belirlenmiş ve ortalama olarak 56,83 mm hesaplanmıştır [14].

Aynı sahada farklı yöntemlerle elde edilen yüzeysel yağıştan süzülme miktarlarının birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Seviye değişim yönteminde ise

yeraltsuyu beslenimi ortalama 290 mm olarak hesaplanmıştır. Yüzeysel süzülme yöntemleri sadece yağıştan süzülme miktarını verirken, seviye değişim yöntemi yüzeysel yağış süzülmesi, yüzeysel su süzülmesi ve yanal olarak akifer beslenmesini de içermektedir. Bu bağlamda seviye değişim yöntemi zaman alıcı ve uzun dönem izleme gerektiren bir yöntem olmasına karşın akiferdeki içe akışı daha doğruya yakın hesaplamamıza yardımcı olan bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Burada yanal ve yüzeysel su kaynaklarından da önemli oranda akifere içe akış olduğu anlaşılmaktadır.

### Teşekkür

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından, 115Y065 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

### Kaynakça

- [1] Kapluhan E. 2013. Türkiye’de Kuraklık Ve Kuraklığın Tarıma Etkisi. Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 27, Ocak - 2013, S. 487-510 İstanbul – Issn:1303-2429
- [2] Margat, J. Vander Gun, J. 2013. Groundwater around the World: A Geographic Synopsis. CRC Press/Balkema. Leiden.
- [3] Salameh E. 2008. Over-exploitation of groundwater resources and their environmental and socio-economic implications: the case of Jordan. Water International. 33:1.
- [4] Günay, G. 2010. Chapter 10.6 - Case Study: Geological and hydrogeological properties of Turkish karst and major karstic springs. Groundwater Hydrology of Springs Engineering, Theory, Management, and Sustainability Pages 479-497
- [5] SYGM, 2020. Kuzey Ege Havzası Master Plan Raporu, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara
- [6] DSİ 2014. DSİ 02 Bölge Gediz Havzası Yeraltsuyu Planlaması Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ Ankara
- [7] Şimşek C, Demirkesen A.C., Baba A., Kumanlıoğlu A., Durukan S., Aksoy N, Demirkıran Z, Hasözbeğ A, Murathan A., Tayfur G., 2020. Estimation groundwater total recharge and discharge using GIS-integrated water level fluctuation method: a case study from the Alaşehir alluvial aquifer Western Anatolia, Turkey, Arabian Journal of Geosciences, 2020: 13/143
- [8] DSİ, 2020. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <http://www.dsi.gov.tr/>
- [9] Healy, R.W., Cook, P.G. 2002. "Using groundwater levels to estimate recharge". Hydrogeology Journal 10(1), 91-109.
- [10] Scanlon BR, Healy RW, Cook PG. 2002. "Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge". Hydrogeol J 10:18-39
- [11] White, W. B. 2002. "Karst hydrology: recent developments and open questions", Eng. Geol., 65, 85-105
- [12] Leaney, F., Crosbie, R., O’Grady, A., Jolly, L., Gow, L., Davies, P., Wilford J., Kilgour. P. 2011. "Recharge and Discharge Estimation in Data Poor Areas Scientific Reference Guide, Australian Government. National Water Commission. CSIRO": Water for a Healthy Country National Research Flagship. 61 pp.
- [13] Tonkul S, Baba A, Şimşek C, Durukan S, Demirkesen AC, Tayfur G. 2018. Groundwater recharge estimation using HYDRUS 1D model in Alaşehir sub-basin of Gediz Basin in Turkey
- [14] Durukan S, Şimşek C, Tonkul S, Baba A, Tayfur G., 2021 Alaşehir Alt Havzasının (Gediz Havzası, Batı Anadolu) Nem Değişimi Yöntemine Göre Yeraltsuyu Besleniminin Değerlendirilmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi.23/11-23
- [15] Acar R., Sayiner İ. 2008. "Kuyu rasatlarından ve yağışlardan faydalanarak Erzurum Ovasının Yeraltsuyu Bilançosunun hesaplanması". Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Derg. 39 (1), 93-100.
- [16] Korkmaz, N. 1988. "Kütahya Çavdarhisar Ovasında Kuyu ve Yağış Rasatlarından Faydalanılarak Süzülme Miktarının Hesaplanması". DSİ Bülteni Sayı 65, say 47-54
- [17] Şimşek, C., Baba, A., Aksoy, N., Demirkıran, Z., Hasözbeğ, A., Tayfur, G., Kumanlıoğlu, A., Durukan, S., Demirkesen, A.C., Murathan, A., Çağırın, Ö., Akdeğirmen, Ö., Tonkul, S. 2017. Investigation of Groundwater Recharge Mechanism in Alaşehir Plain: From Physical Characterization to Modelling. 2nd Regional IWA Symposium on Water, Wastewater and environment, Çeşme, İzmir