

## Sandıklı (Afyonkarahisar) havzasında yeraltısuyu seviye değişimini etkileyen faktörler

### Affecting factors the groundwater level changes in the Sandıklı (Afyonkarahisar) basin

Fatma AKSEVER<sup>1\*</sup>, Ayşen DAVRAZ<sup>1</sup>, Remzi KARAGÜZEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.  
fatmaaksever@sdu.edu.tr, aysendavraz@sdu.edu.tr

<sup>2</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.  
karaguzel@itu.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 11.03.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 05.05.2015  
\* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.22316  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Sandıklı havzası, Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümünde yer alan ve Büyük Menderes havzasına açılan önemli bir havzadır. Kuruçay ve Küçük Sincanlı ovaları olmak üzere iki ovanın birleşmesinden oluşan havza, yaklaşık 1556 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsamakta olup, yarı kapalı havza özelliği taşımaktadır. Havzada bulunan jeolojik birimler su bulundurulabilme özellikleri açısından değerlendirildiğinde en önemli akifer birimlerin alüvyon ve Hamamçay formasyonu olduğu görülmektedir. Ayrıca, yerel olarak alüvyon tabanında kesilmiş kireçtaşlarından da yeraltısuyu alınmaktadır. Yeraltısuyu dinamiği akifer içerisinde bulunan suyun hareketini ve mevsimsel değişimlerini açıklamaktadır. Bölgede yeraltısuyu dinamiğine açıklık getirmek amacıyla 2007-2010 yılları arasında periyodik olarak 7 dönem seviye ölçümleri yapılmış ve mevsimsel değişim incelenmiştir. Genel olarak Kuruçay ovasında yeraltısuyu seviyesi yağışlı dönemlerde 3.29-75.18 m arasında değişirken, kurak dönemlerde 4.38-83.65 m arasında, Küçük Sincanlı ovasında ise yağışlı dönemlerde 0.75-4.48 m ve kurak dönemlerde 1.09-4.85 m arasında ölçülmüştür. Havza genelinde yeraltısuyu akım yönü havzanın güneyinde kuzeydoğuya; batısında kuzeye ve Küçük Sincanlı ovasında ise güneye Karadirek çayına doğrudur. Araştırma alanının batısında Kestel çayına yeraltısuyu boşalımı söz konusudur. Ovada ortalama yeraltısuyu seviye düşümü 10 m civarında iken, özellikle Kusura ve Emirhisar bölgelerinde yeraltısuyu seviyesinde yaklaşık 25 m'ye ulaşan düşümler gözlenmiştir. Bu bölgede kireçtaşı akiferine boşalım da gerçekleşmektedir. Ovada bulunan sondaj kuyularından tahsisin üzerinde aşırı su çekilmesi, son yıllarda yağışların ve özellikle de kar yağışlarının ortalamasının altında kalması yeraltısuyu seviyesindeki aşırı düşümlerin nedenidir.

**Anahtar kelimeler:** Sandıklı havzası, Yeraltısuyu seviyesi, Mevsimsel değişim

#### Abstract

Sandıklı basin located in the Inner West Anatolian part of the Aegean and it the basin open to the Büyük Menderes basin. The basin is formed a combination of Kuruçay and Küçük Sincanlı plains which is covers an area of approximately 1556 km<sup>2</sup> and also, the basin is semi-closed. According to lithological properties of geological units in the basin, the most important aquifers are alluvial and Hamamçay formation. In addition, locally groundwater is abstracted from the limestone levels in the base of the alluvium. Groundwater dynamic is described seasonal changes and movement of groundwater in the aquifer media. In order to clarify the dynamic of the groundwater in the region, groundwater level measurements have been made periodically 7 periods between 2007 to 2010 years and seasonal variations were investigated. In general, the groundwater level in the Kuruçay basin changed from 3.29 to 75.18 m in wet period; from 4.38 to 83.65 m in dry period respectively. The groundwater level in the Küçük Sincanlı plain measured between 0.75 and 4.48 m in wet period, 1.09 and 4.85 m dry period, respectively. Groundwater flow direction is toward to northeast direction in south of the basin and to north in the west of the basin. It is also toward to the Karadirek creek in south within the Küçük Sincanlı plain. In the basin, average groundwater level decrease is 10 m. It also decreases to 25 m in Kusura and Emirhisar regions. In addition, decreasing to the limestone aquifer observed in these regions. The reasons of the excessive decrease in groundwater level are withdrawing of water from wells at over assignment and decreasing of rainfall and snowfall in recent years.

**Keywords:** Sandıklı basin, Groundwater level, Seasonal changes

## 1 Giriş

Günümüzde aşırı su çekimine bağlı yeraltısuyu seviye düşümleri içme suyu havzalarının sürdürülebilirliği açısından ciddi tehditler oluşturmaktadır. Küresel ısınma ve gelişen nüfusa bağlı olarak tarımsal faaliyetlerin artması özellikle kırsal alanlarda yeraltısuyunu olumsuz etkilemektedir. Çeşitli nedenlerle meydana gelen yeraltısuyu seviye düşümlerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır [1]-[7]. Sandıklı havzası da yeraltısuyunu içme ve sulama amaçlı olarak kullanan ve yeraltısuyu seviye değişimi açısından bazı tehdit unsurları ile karşı karşıya gelen bir havza konumundadır. Havza Büyük Menderes Havzası'nın alt havzası olduğundan ayrı bir önem taşımaktadır. Sandıklı havzası İç Anadolu bölgesinde ve Afyonkarahisar yerleşim merkezinin güneyinde

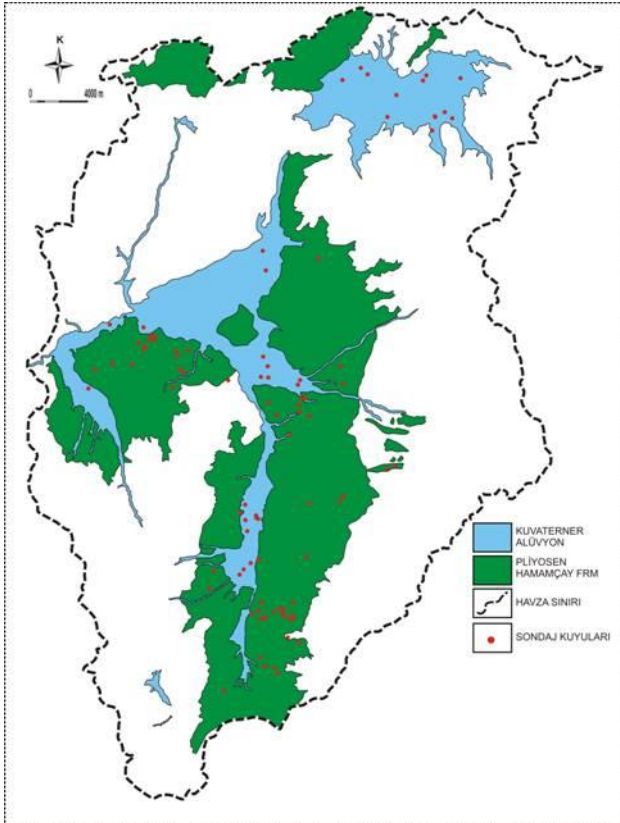
yer almaktadır (Şekil 1). Havzadaki en önemli ekonomik faaliyet tarımdır. Tarımsal alanların sulanması için ovadaki yeraltısuyu yoğun ve kontrolsüz bir şekilde çekilmekte ve bu durum havzanın yeraltısuyu tablasında ani düşümlere sebep olmaktadır. Ovada seviye düşümlerini takip eden herhangi bir kontrol sistemi mevcut değildir. Tarımsal faaliyetlerde aşırı su çekiminin yanısıra, havzadaki yeraltısuyu seviyesi, yağış, sıcaklık, buharlaşma-terleme vb. iklimsel verilere bağlı olarak da farklılık göstermektedir. Bu durum gelecekte havzada yeraltısuyu rezervinin gittikçe azalmasına ve özellikle tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirilmesinde sıkıntı yaşanmasına neden olabilecektir. Bu araştırmanın amacı, havzada sürdürülebilir yeraltısuyu kullanımının sağlanabilmesi için gerekli olan yeraltısuyu seviye değişimlerinin tespiti ve yeraltısuyu seviye değişimine etkileyen faktörlerin detaylı olarak incelenmesidir.



Kireçtaşı, resif kireçtaşı ve kumlu kireçtaşından oluşan Akdağ formasyonu, Derealanı formasyonu üzerinde uyumlu olarak bulunur. Marnlı kireçtaşı, konglomera, kumtaşı, silttaşı, ve şeyllerden oluşan Paleosen yaşlı Bozoğlan formasyonu, Akdağ formasyonu üzerinde yer alır. Bozoğlan formasyonu üzerinde Oligosen Konglomeralar bulunmaktadır. Sandıklı formasyonu Sandıklı Lav üyesi ve Soğucak üyesi olmak üzere iki üyeye ayrılmaktadır. Sandıklı Lav üyesi, andezit, trakiandezit ve bazalttan; Soğucak üyesi, tüf, tüfit ve aglomeralardan oluşmaktadır. Miyosen yaşlı Sandıklı formasyonu Oligosen Konglomeralar üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Pliyosen yaşlı Hamamçay formasyonu Sandıklı formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer almaktadır. Hamamçay formasyonu kumtaşı, kiltası ve çakıltası ardalanmasından oluşmaktadır. Çalışma alanında en genç birimleri Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyon oluşturmaktadır. Tutturulmamış kil, kum, silt ve çakıl malzemelerinden oluşan alüvyon tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir [10]-[13], (Şekil 1).

#### 4 Hidrojeoloji

Havzada geniş alanlarda yüzeyleyen Kuvaterner alüvyon ve Pliyosen Hamamçay formasyonu “verimli akifer” olarak nitelendirilmiştir. Alüvyon 174 km<sup>2</sup>, Hamamçay formasyonu ise 328 km<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir ve birimlerin kalınlıkları 200-300 m civarındadır. Bu birimlerde resmi kurum ve şahıslar tarafından açılmış yaklaşık 1150 adet sığ ve derin sondaj kuyusu bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2: Havzadaki akiferler içinde açılmış sondaj kuyularının dağılımı.

İnceleme alanında açılan bu sondaj kuyuları içme ve sulama amaçlı kullanılmaktadır. Sondaj kuyularının debileri 4.78-51.10 l/s, derinlikleri 98-350 m, statik seviyeleri 1.6-35.56 m, dinamik seviyeleri 5.84-88.64 m arasında

değişmektedir. Havzada küçük alanlarda yayılım gösteren Karatepe formasyonu “yerel verimli akiferi”, kireçtaşlarından oluşan Akdağ formasyonu “karstik akiferi” ve Çaltepe formasyonu “yerel karstik akiferi” oluşturmaktadır. Çalışma alanında su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikler taşıyan Oligosen konglomera, Sandıklı lavları, Bozoğlan formasyonu, Soğucak piroklastikleri ve traverten “akitard” olarak ele alınmıştır. Derealanı, Seydişehir ve Kestel formasyonları ise “akifüj” olarak nitelendirilmiştir. Ayrıca, dar bir alanda yayılım gösteren Hüdayi kuvarsiti ise bölgede sıcak ve mineralli su kaynaklarının hazne kayacı olma özelliği ile “verimli sıcak su akiferi” olarak sınıflandırılmıştır [13].

Bu kuyuların açıldığı tarihlerde yapılmış sabit seviyeli düşüm deney verilerinin değerlendirilmesinde gözenekli akiferde, denge rejim için geçerli olan Cooper-Jacob Time-Drown ve Thies yöntemleri seçilmiştir. Alüvyon ortam içerisinde açılmış olan sondaj kuyularında hesaplanan transmissibilite katsayısı havza genelinde  $4.29 \times 10^0 - 9.83 \times 10^1$  m<sup>2</sup>/gün arasında değişmektedir. Permeabilite katsayısı değerleri ise  $1.03 \times 10^0 - 9.25 \times 10^{-2}$  m/gün'dür. Sadece Hamamçay formasyonunda açılan kuyularda belirlenen transmissibilite ve permeabilite katsayıları ise sırasıyla  $3.89 \times 10^0 - 1.91 \times 10^2$  m<sup>2</sup>/gün,  $1.02 \times 10^0 - 9.60 \times 10^{-2}$  m/gün değerleri arasında elde edilmiştir. Bu değerler incelendiğinde akifer parametrelerinin alüvyon ve Hamamçay formasyonu için benzer sonuçlarda olduğu görülmektedir. Bu birimlerin benzer litolojilere sahip olması da bu durumu desteklemektedir [13].

#### 4.1 Havzada yeraltı suyu seviye değişimini etkileyen faktörler

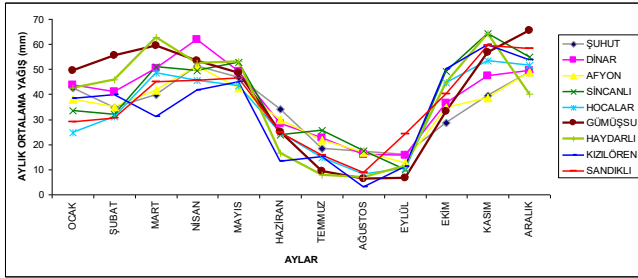
##### 4.1.1 İklim

Sandıklı havzasında karasal iklim tipi hâkimdir. Geçiş bölgesi özelliğine sahip bu alanda yazlar sıcak ve kurak, kışlar ise soğuk ve yağışlıdır. Bölgede Ağustos en kurak ayken, Nisan, Mayıs, Kasım ve Aralık ayları en yağışlı aylardır. En fazla yağış ilkbahar ve kış aylarında, en az yağış ise yaz aylarında gerçekleşmektedir. Yeraltı suyu havzalarının genellikle en önemli beslenme elemanı yağıştır. Sandıklı havzasında ortalama yağış miktarının tespiti için 9 adet (Şuhut, Dinar, Afyon, Kızılören, Sinanlı, Hocalar, Haydarlı, Gümüşsu, Sandıklı) devlet meteoroloji istasyonunda 1975-2011 yılları arasında ölçülen yağış verileri değerlendirilmiştir. Bu istasyonlarda eksik olan veriler en yakın istasyonlardaki yıllık ve aylık yağış miktarları dikkate alınarak tamamlanmıştır. DMİ istasyonlarında ölçülen yağış verileri birbirleri ile karşılaştırıldığında paralel dağılımlar göstermektedir (Şekil 3). Havzaya düşen ortalama yağış miktarı eş yağış eğrileri yöntemi ile belirlenmiştir. 1975 ve 2011 yılları verileri ile belirlenen yağışın alansal dağılım haritası hazırlanmış ve ortalama yıllık yağış miktarı 435.86 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Havzada kışın en düşük sıcaklık -20 °C iken yazın sıcaklık sık sık 30 °C'yi aşmaktadır. Hidrolojik döngünün önemli elemanlarından biri olan buharlaşma yeryüzü-bitki-atmosfer öğeleri arasında karmaşık etkileşimlerden dolayı en zor belirlenebilen su bütçesi elemanıdır. Havzadaki buharlaşma-terleme miktarının belirlenmesi için Afyon, Şuhut ve Dinar DMİ'den alınan ortalama yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Havzadaki buharlaşma-terleme miktarı Thornthwaite yöntemi (Thornthwaite ve Mather 1957) ile 362.34 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Havzada yağışın potansiyel buharlaşmadan fazla olduğu aylarda (Ocak-Nisan, Kasım-Aralık) bile hesaplanan su fazlası miktarı toplam



yağışın %25'i kadardır ve dolayısıyla sıcaklıkla buharlaşmanın doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 5).

Büyük Menderes Havzası içerisinde bulunan ve çalışma alanımızı da kapsayan bir araştırmada, bölgede 1983 yılına kadar ortalama maksimum sıcaklık eğilimlerinin azalma yönünde, 1984 yılından itibaren ise artış yönünde olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, özellikle 1999 yılından itibaren sıcaklıkların uzun yıllık ortalamalardan olan sapma değerlerinin arttığı saptanmıştır [14]. Bu çalışmada, Akdeniz havzasında yıllık yağışın büyük bir kısmını oluşturan kış yağışlarının azalma eğilimi göstermesi, bu rejime göre şekillenen havza ürün deseninin gelecekte değişen sıcaklık ve yağış koşulları nedeniyle önemli bir değişime uğrayabileceği belirtilmektedir [14].

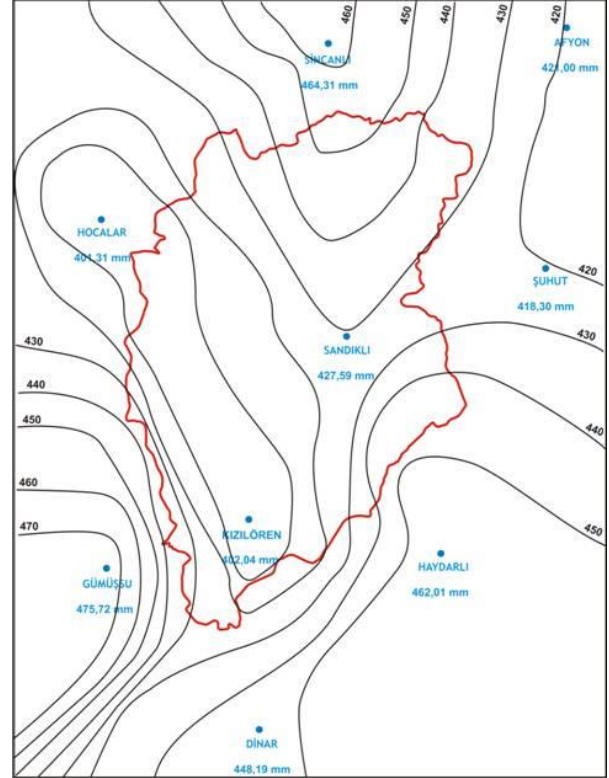


Şekil 3: İnceleme alanındaki DMİ istasyonlarında ölçülen aylık toplam yağışların karşılaştırılması.

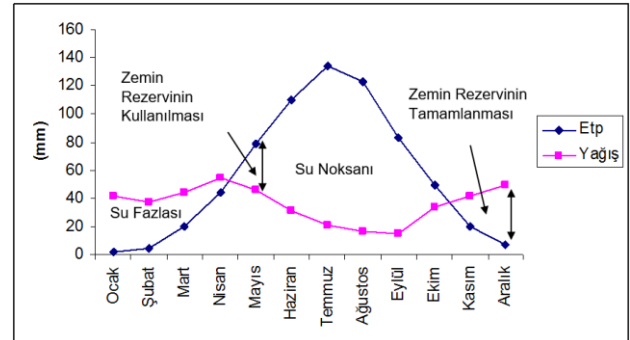
#### 4.1.2 Zirai faaliyetler

Havza içerisinde tarımsal faaliyetler bölge halkının en önemli geçim kaynağıdır. Genel olarak ovada hem kuru hem de sulu tarım yapılmaktadır. Sulu tarım %70'lik bir alanı kaplamaktadır (Şekil 6). Havzada yıllık 1859 hektarlık tarım arazisi sulanmakta ve sulama suyunun yaklaşık olarak %85'lik kısmı yeraltı suyundan temin edilmektedir. Bölgede genel olarak arpa, buğday, haşhaş, pancar ve patates gibi ürünler yetiştirilmektedir. Sandıklı özellikle patates ürünü açısından 2013 yılı üretimine göre 99.850 ton ile Türkiye'de dördüncü sırada yer almıştır [15]. Patates ürünü diğer zirai ürünlere göre yoğun sulama gerektiren bir bitkidir [16]-[18]. Bu nedenle patates yetiştiriciliği ova genelinde sondaj kuyuları ile aşırı yeraltı suyu çekimine neden olmaktadır. Aksever (2011) tarafından yapılan Sandıklı havzası yeraltı suyu bütçesi hesaplamasında, havzada açılan sondaj kuyuları için tahsis edilen yeraltı suyu miktarı ise  $54 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yıl olarak belirlenmiştir. Son yıllarda havzada yüksek sulama randımanına sahip yağmurlama ve damlama sulama yöntemlerinin yaygınlaşmaya başlaması olumlu bir yaklaşım olmuştur. Aşırı seviye düşümlerinin ölçüldüğü bölgelerde

ihtiyaçtan fazla su çekiminin önlenmesi, tahsis dışı kullanımın denetlenmesi ve daha az su isteyen ürün cinsinin yetiştirilmesi önemli faydalar sağlayacaktır. Bu konuda halkın bilinçlendirilmesi, bölgede tarımsal faaliyetlerin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.



Şekil 4: Sandıklı havzası yağış dağılım haritası.



Şekil 5: Thornthwaite yöntemi yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği.

Tablo 1: Havzanın Thornthwaite yöntemi ile denestirilmiş su bütçesi.

|          | AYLAR  |        |        |        |        |        |        |        |       |       |       |       | Top.   |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
|          | O      | Ş      | M      | N      | M      | H      | T      | A      | E     | E     | K     | A     |        |
| T (°C)   | 1.00   | 1.96   | 5.46   | 10.04  | 14.56  | 18.82  | 21.98  | 21.63  | 17.31 | 12.09 | 6.60  | 2.69  | 134.14 |
| i        | 0.09   | 0.24   | 1.14   | 2.88   | 5.04   | 7.44   | 9.41   | 9.18   | 6.55  | 3.80  | 1.52  | 0.39  | 47.70  |
| Etp (mm) | 1.94   | 4.45   | 19.51  | 44.50  | 79.00  | 109.65 | 134.13 | 123.04 | 82.85 | 48.90 | 20.13 | 6.50  | 674.62 |
| Y (mm)   | 41.49  | 36.93  | 44.02  | 54.91  | 46.24  | 30.82  | 20.90  | 16.75  | 14.79 | 33.56 | 41.78 | 48.99 | 428.36 |
| Etr (mm) | 1.94   | 4.45   | 19.51  | 44.50  | 79.00  | 100.30 | 20.90  | 16.75  | 14.79 | 33.56 | 20.13 | 6.50  | 362.34 |
| ZR (mm)  | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 69.48  | 0.00   | 0.00   | 0.00   | 0.00  | 0.00  | 21.65 | 64.13 |        |
| ZRD (mm) |        |        |        |        | -30.52 | -69.48 |        |        |       |       | 21.33 | 42.48 |        |
| SN (mm)  |        |        |        |        |        | 9.36   | 113.23 | 106.29 | 68.06 | 15.34 |       |       | 312.28 |
| SF (mm)  | 39.55  | 32.48  | 24.51  | 10.41  |        |        |        |        |       |       |       |       | 106.95 |
| EDK      | 0.85   | 0.84   | 1.03   | 1.10   | 1.23   | 1.24   | 1.25   | 1.17   | 1.04  | 0.96  | 0.84  | 0.83  | 12.38  |

T: Sıcaklık, i: Aylık indeks, Etp: Potansiyel buharlaşma, Y: Yağış, Etr: Gerçek buharlaşma, ZR: Zemin rezervi, ZRD: Zemin rezerv değişimi, SN: Su noksanı, SF: Su fazlası, EDK: Enlem düzeltme katsayısı.

#### 4.1.3 Yeraltısıyu dinamiği

Yeraltısıyu dinamiği akifer içerisinde bulunan yeraltısıyunun hareketini ve mevsimsel değişimlerini açıklamaktadır. Araştırma alanında bulunan yeraltısıyu kuyuları genel olarak alüvyon ve Hamamçay birimleri içerisinde açılmıştır. Benzer litolojiye sahip bu birimlerin bölgedeki konumları da dikkate alındığında tek akifer karakterinde değerlendirilmesi uygun görülmüş ve yeraltısıyu seviye haritalarında ortak değerlendirilmiştir. Yaygın verimli akifer olarak tanımlanan bu birimlerde yeraltısıyu seviye değişimlerinin ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla Mayıs-2007 ve Nisan-2010 dönemleri arasında kurak ve yağışlı olmak üzere yedi dönem yeraltısıyu seviye ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen verilerle 2009 dönemine ait yeraltısıyu seviye değişim haritası hazırlanmıştır (Şekil 7). Ovada yeraltısıyu seviye değişimleri bölgesel olarak 0-9 m arasında değişmektedir. Tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bölgelerde gözlenen yüksek düşüm değerleri aşırı yeraltısıyu çekiminden kaynaklanmaktadır. Yeraltısıyu akım yönü havzanın güneyinde kuzeydoğuya; batısında kuzeye ve havzanın kuzey doğusunda bulunan Küçük Sincanlı ovasında ise güneye Karadirek çayına doğrudur. Havzanın batısında bulunan Emirhisar doğusunda Akdağ formasyonuna ait kireçtaşına ve Kestel çayına yeraltı boşalımı olduğu görülmektedir. Ova genelinde 7 dönem ölçülen en düşük ve en yüksek yeraltısıyu seviye değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Genel olarak Sandıklı ovasında yeraltısıyu seviyesi yağışlı dönemlerde 3.29-75.18 m arasında değişirken, kurak dönemlerde 4.38-84.53 m arasında değişmektedir. Küçük Sincanlı ovasında ise yağışlı dönemlerde 0.75-4.48 m ve kurak dönemlerde 1.09-4.85 m [19],[20] değişim söz konusudur. Bu bölgede sulanmada Taşoluk ve

Serban göletlerinden faydalanılması nedeniyle yeraltısıyu seviye değişimi düşüktür. Ancak ova genelinde yeraltısıyu seviyesinin yıllık ortalama düşüm miktarına bakıldığında 2007 yılında 4.35 m, 2008 yılında 7.07 m, 2009 yılında 8.02 m, 2010 yılında ise 9.02 m'ye kadar düştüğü gözlenmiştir (Tablo 2).

Bu durum yıllar geçtikçe yörede sulama amaçlı ihtiyacın artması sonucu düşümünde doğru orantılı olarak arttığını göstermektedir. Sandıklı ovasında gerçekleşen 25 m'ye ulaşan düşümler, Kusura ve Emirhisar yerleşim merkezlerinde yer alan çok sayıda sondaj kuyusundan özellikle sulama amacıyla aşırı su çekiminin bir sonucudur. Çalışma alanında yeraltısıyu seviye dağılımlarının da ovanın bu bölgelerinde (güneydoğu ve kuzey batı) yoğunlaştığı net bir şekilde görülmektedir (Şekil 7).

#### 4.1.4 Hüdai jeotermal alanı (HJA)

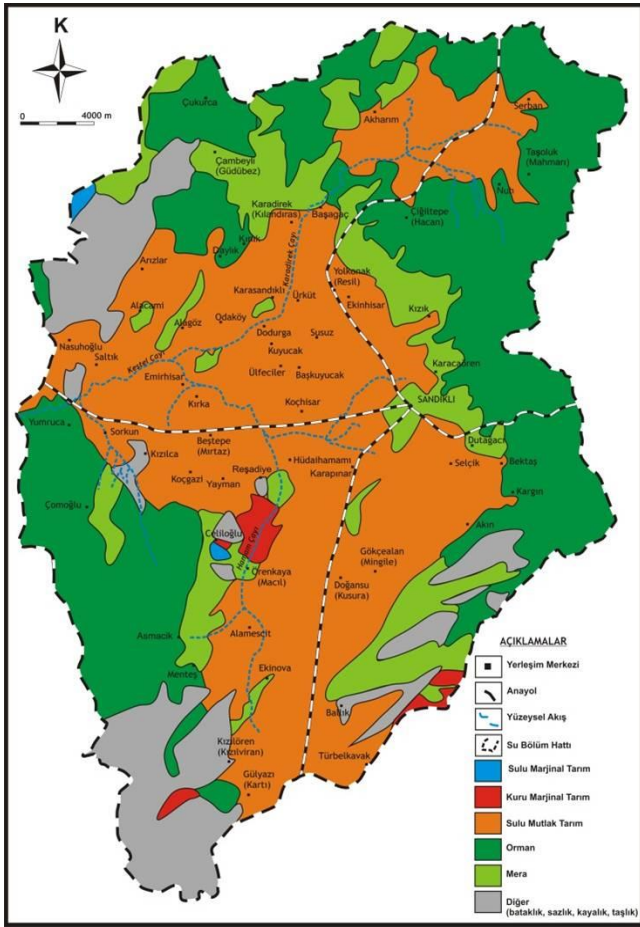
Sandıklı havzası orta kesiminde yeralan Hüdai jeotermal alanında (HJA) 23 adet üretim ve 1 adet reenjeksiyon kuyusu bulunmaktadır (Şekil 8). Bu kuyularının debileri 40-85 l/s, sıcaklıkları ise 50-82 °C arasında değişmektedir.

Sıcak su kuyularından 11 tanesi sürekli ve 6 tanesi dönüşümlü olarak ısıtma, sera ve termal turizm tesislerinde kullanılmaktadır [21]-[22]. Jeotermal su kullanımı bölgede yeraltısıyu seviye değişimini etkilememektedir. Ancak, HJA yakın çevresinde bulunan Koçhisar, Reşadiye ve Kızılburun bölgelerinde sulama amaçlı olarak açılan 200-300 m derinlikteki soğuk su kuyularından alınan 28-40 °C arasında sıcaklığa sahip sular ile sulama yapılmaktadır. Bu durum soğuk su akiferinde öncelikle sıcaklık, Na, SO<sub>4</sub> ve ağır metal içeriklerinde artışa neden olmakta ve su kalitesini olumsuz etkilemektedir [22].

Tablo 2: Mevsimsel değişime göre sondaj kuyularında ölçülen statik seviye verileri.

| No   | Litoloji | Mayıs<br>2007 | Aralık<br>2007 | Mart<br>2008 | Kasım<br>2008 | Nisan<br>2009 | Kasım<br>2009 | Nisan<br>2010 |
|------|----------|---------------|----------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| S-1  | H        | 13.60         | 20.3           | 16.98        | 30.65         | 20.11         | 28.21         | 20.25         |
| S-2  | H        | 3.90          | 7.20           | 5.62         | 15.78         | 7.70          | 13.66         | 8.16          |
| S-3  | H        | 7.56          | 16.41          | 10.12        | 27.48         | 12.38         | 22.15         | 10.15         |
| S-4  | H        | 31.89         | 37.98          | 35.76        | 46.47         | 39.81         | 47.91         | 40.89         |
| S-5  | H        | 40.85         | 42.04          | 39.28        | 40.98         | 28.00         | 37.48         | 30.13         |
| S-6  | A        | 52.24         | 54.21          | 48.09        | 59.96         | 30.12         | 48.28         | 27.50         |
| S-7  | H        | 64.96         | 68.57          | 71.05        | 80.33         | 75.18         | K             | K             |
| S-8  | H        | 73.68         | 75.49          | 77.44        | 83.65         | 82.26         | K             | K             |
| S-9  | A        | 28.56         | 32.88          | 28.68        | 37.01         | 28.00         | 32.34         | 23.82         |
| S-10 | H        | 54.84         | 56.84          | 50.85        | 59.67         | 52.10         | 60.96         | 54.45         |
| S-11 | A        | 15.96         | 18.22          | 11.83        | 18.30         | 9.35          | 12.79         | 8.06          |
| S-12 | A        | 13.52         | 15.94          | 10.6         | 17.88         | 9.80          | 12.88         | 7.88          |
| S-13 | H        | 25.84         | 28.15          | 20.86        | 33.67         | 18.50         | 22.19         | 12.19         |
| S-14 | H        | 15.26         | 18.04          | 11.37        | 26.57         | 9.31          | 10.03         | 11.13         |
| S-15 | H        | 29.49         | 48.3           | 27.61        | 35.62         | 20.92         | 46.32         | 22.22         |
| S-16 | H        | 30.98         | 46.47          | 25.81        | 32.51         | 18.97         | 44.67         | 20.02         |
| S-17 | H        | 23.31         | 25.75          | 21.00        | 28.54         | 19.07         | 26.25         | 17.00         |
| S-18 | H        | 10.94         | 12.59          | 7.47         | 15.32         | 6.86          | 15.84         | 5.32          |
| S-19 | A        | 3.52          | 5.64           | 3.48         | 5.98          | 2.79          | 3.91          | 3.06          |
| S-20 | A        | 3.29          | 5.39           | 3.74         | 4.57          | 3.38          | 4.38          | 3.15          |
| S-21 | A        | 3.18          | 4.65           | 4.48         | 4.85          | 3.26          | 4.47          | 3.44          |

H: Hamamçay formasyonu, A: Alüvyon, K: Kapandı.



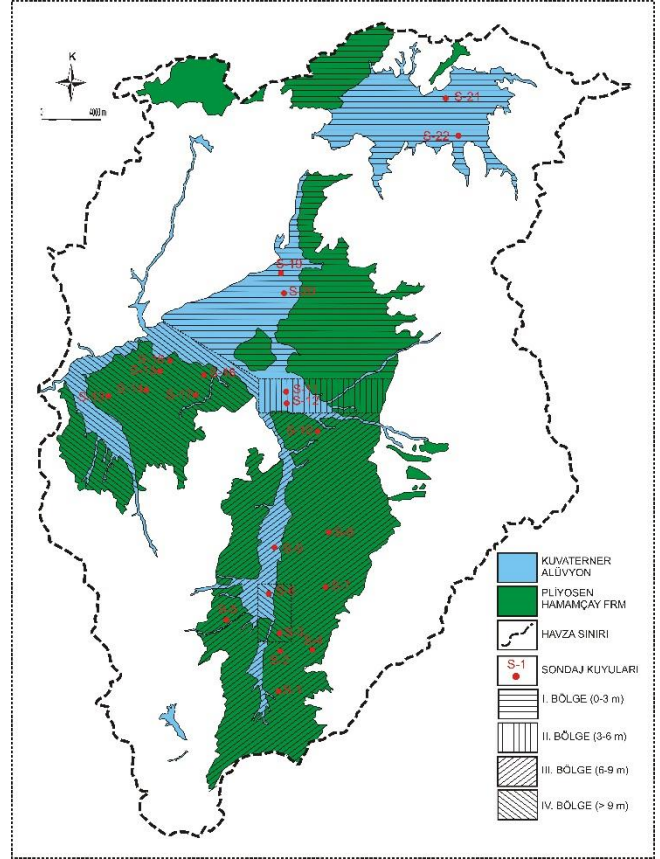
Şekil 6: Sandıklı Havzası arazi kullanım haritası.

## 5 Sonuç ve öneriler

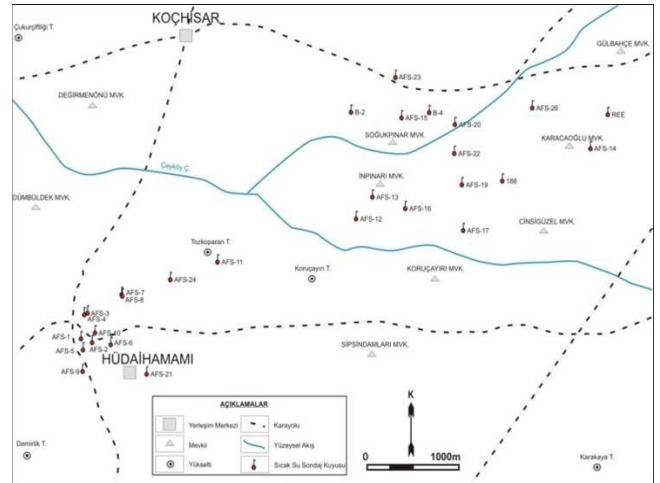
Günümüzde çok sayıda havzada yeraltı suyu potansiyeli açısından sorunlar yaşanmaktadır. Artan su ihtiyacı, iklim değişikliğinin yarattığı olumsuz koşullar ve havzalarda yeraltı suyu yönetimi ile ilişkili planlama eksiklikleri bu sorunları giderek artırmıştır. Bu nedenle havzalarda yapılacak ayrıntılı araştırmalar ile yeraltı suyu seviye ve su potansiyeli değişimlerinin izlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu araştırmalar ile elde edilen sonuçlar havzalarda su yönetiminin planlanması için temel verileri oluşturacaktır.

Sandıklı havzasında Kuvaterner alüvyon ve Pliosen Hamamçay formasyonu verimli akifer birimlerdir. Havzada seviye değişimlerini etkileyen faktörlerin başında tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak sulama suyuna olan talebin artışı gelmektedir. Özellikle su ihtiyacı fazla olan ürünlerin yetiştirildiği bölgelerde yersel olarak 25 m'ye kadar ulaşan yeraltı suyu seviye düşümleri tespit edilmiştir. Bölgede iklim değişikliğine bağlı olarak sıcaklığın artışı ve yıllık yağışın büyük bir kısmını oluşturan kış yağışlarının azalma eğilimi göstermesi yeraltı suyu potansiyelini olumsuz etkilemektedir. Sandıklı havzasında sürdürülebilir yeraltı suyu kullanımının sağlanabilmesi için çekilen su miktarının azaltılabilmesi ve değişen sıcaklık-yağış koşulları dikkate alınarak yetiştirilen ürün deseninin revize edilmesi gereklidir. Ayrıca, sondaj kuyularından çekilen su miktarının tespiti ve tahsisin üzerinde su kullanımının engellenmesi, düzenli yeraltı suyu izleme

sistemlerinin oluşturulması, halkın bilinçlendirilmesi, su israfını asgari düzeye indiren sulama yöntemlerinin seçilmesi ve az su isteyen ürün tercihine yönlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 7: Sandıklı havzası yeraltı suyu seviye haritası (2009).



Şekil 8: HJA açılmış sıcak su sondajlarının dağılımı.

## 6 Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasını destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine (Proje No: 1545-D-07), Sandıklı Belediyesi'ne ve Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü'ne teşekkürlerimizi sunarız.



## 7 Kaynaklar

- [1] Yurdakul M. "Bir havzada yağış, akış ve yeraltısuyu seviye değişimlerinin irdelenmesi". *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 52, 50-56, 1998.
- [2] Göçmez G, İşçioğlu A. "Konya kapalı havzasında yeraltı suyu seviye değişimleri". *1. Yeraltı Suları Ulusal Sempozyumu*, Konya, Türkiye, 23-24 Aralık 2004.
- [3] Yurtcu Ş, İçağa Y. "Akarçay havzası yeraltı suyu periyodik davranışının modellenmesi". *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (1)2, 21-28, 2005.
- [4] Çağa Y, Yurtcu Ş, Ulutürk Y. "Yeraltısuyu seviye değişiminin stokastik modellenmesi: Akarçay Afyon alt havzası örneği". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11(2), 180-186, 2007.
- [5] Yılmaz M. "Karapınar çevresinde yeraltı suyu seviye değişimlerinin yaratmış olduğu çevre sorunları". *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 2(2), 145-163, 2010.
- [6] Aksoy AÖ, Güney MŞ, Scheytt T. "Torbalı bölgesinin zamanla değişen yeraltı suyu akım modeli". *İMO Teknik Dergi*, 355, 5509-5522, 2011.
- [7] Başçiftçi F, Durduran SS, İnal C. "Konya kapalı havzasında yeraltı su seviyelerinin coğrafi bilgi sistemi (CBS) ile haritalanması". *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 5(2), 1-15, 2013.
- [8] Linsley RK, Kohler MA, Paulhus JH. *Hydrology for Engineers*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA, McGraw-Hill, 1975.
- [9] Thornthwaite CW, Mather JR, Carter DB. *Instructions and Tables for Computing Potential Evapotranspiration and the Water Balance*. USA, Drexel Institute of Technology, 1957.
- [10] Öngür T. "Sandıklı (Afyon) Jeotermal Araştırma Bölgesine İlişkin Jeolojik Durum ve Jeotermal Enerji Olanakları". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 5520, 1973.
- [11] Çakmakoğlu A. "Çivril-Banaz-Sandıklı-Dinar Arasındaki Bölgenin Jeolojisi (K23-c1,c2,c3,c4d3; K24-d3,d4; L23-a2,a3,b1,b2,b3,b4; L24-a1,a2,a3,a4)". Maden Tetkik ve Arama Raporu, Ankara, Türkiye, 8062, 1986.
- [12] Afşin M. "Afyon Sandıklı Kuruçay Ovası ve Hüdai Kaplıcasının Hidrojeoloji İncelemesi". Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 1991.
- [13] Aksever F. "Sandıklı (Afyonkarahisar) Havzası Hidrojeoloji İncelemesi". Süleyman Demirel Üniversitesi, Doktora Tezi, Isparta, Türkiye, 2011.
- [14] Sütgibi S. "Büyük Menderes havzasının sıcaklık, yağış ve akım değerlerindeki değişimler ve eğilimler". *Marmara Coğrafya Dergisi*, 31, 398-414, 2015.
- [15] Türkiye İstatistik Kurumu. "Seçilmiş Göstergelerle Afyonkarahisar 2013". <http://www.tuik.gov.tr/ilGostergeleri/iller/AFYONKARAHISAR.pdf> (27.12.2014).
- [16] Kraft GJ, Stites W. "Nitrate Impacts on groundwater from irrigated-vegetable systems in a humid North-Central US Sand Plain". *Agriculture Ecosystems & Environment*, 100(1), 63-74, 2003.
- [17] Pereira AB and Shock CC. "Development of Irrigation Best Management Practices for Potato From a Research Perspective in the United States". *Sakia.org e-publish*, 1(1), 1-20, 2006.
- [18] Shrestha RK, Cooperband LR, MacGuidwin AE. "Strategies to reduce nitrate leaching into groundwater in potato grown in sandy soils: Case study from North Central USA". *American Journal of Potato Research*, 87(3), 229-244, 2010.
- [19] Aksever F, Davraz A, Karagüzel R. "Küçük Sincanlı (Afyonkarahisar) Ovası hidrojeoloji incelemesi". *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 16(3), 269-278, 2012.
- [20] Seyman F, Davraz A. "Hydrogeological investigations of Sandıklı Basin (Afyonkarahisar)-Preliminary studies". *Journal of Engineering Science and Design*, 1(3), 107-111, 2010.
- [21] Tamgaç ÖF, Doğdu, N, İncegil F, Ünal H, Akar M. "Sandıklı (Afyonkarahisar) Jeotermal Alanına ait Revize Jeotermal Kaynak Koruma Alanları Etüt Raporu". MTA Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara, Türkiye, 2012.
- [22] Afşin M, Davraz A, Karakaş Z, Hınıs MA, Aksever F, Demirel V. "Hüdai (Sandıklı-Afyonkarahisar) Jeotermal Alanı ve Çevresinin Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelemesi". TÜBİTAK-ÇAYDAG-110Y034, Ankara, Türkiye, 2010.