

Araştırma / Research

İNSUYU MAĞARASI'NIN KURU GÖLLERİ İLE ÇİNE OVASI AKİFERİ ARASINDAKİ HİDRODİNAMİK İLİŞKİ (BURDUR-TÜRKİYE)

Suat TAŞDELEN¹ (ORCID: 0000-0001-8961-8453)*

¹Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kınıklı-20070-Denizli/TÜRKİYE

Geliş / Received: 26.04.2018
Kabul / Accepted: 04.05.2018

ÖZ

İnsuyu mağarası, Türkiye'nin en önemli karst bölgesi olan Toros Dağları'nın batı kesiminde ve Burdur ilinde yer alır. Yüzeysel drenaj alanı yaklaşık 70 km² olup, yıllık yağış miktarı 731 mm'dir. Mağara, birbirine bağlı farklı boyutlarda birçok yeraltı gölü içerir. Drenaj alanı, topoğrafik olarak bölgedeki en yüksek konumda olduğu için, bu göller, drenaj havzasındaki su dengesi denkleminin ana bileşenlerinden sadece yağmur suyunun infiltrasyonu ile beslenir. Mağaranın doğal giriş ağzında, deniz seviyesinden 1191.53 metre yükseklikte İnsuyu mağara kaynağı bulunur. Bu kaynak, doğal bir dolusavak gibi bu kot üzerinden yeraltı göllerinin drenajını sağlar. Mağaranın batı tarafında 22 km²'lik bir alana sahip Çine ovası akiferi, Burdur şehri için bölgedeki en büyük tatlı su rezervidir. Buradan pompalanan su, kentsel kullanım ve tarımsal sulama için önemli miktarda su sağlar. Bu akifer ile mağaranın yeraltı gölleri arasında sıkı bir hidrodinamik etkileşim vardır. Bölgede 1984 yılında başlayan yarı kurak dönem, zamanla suya olan talebin artmasına yol açmıştır. Aşırı pompalama devam ettiği için, öncelikle yeraltı suyu seviyeleri hızla düşmüş ve daha sonra, İnsuyu mağara kaynağı tamamen kurumuştur. Sonuç olarak, aynı sebepten mağaradaki yeraltı göller kısa sürede neredeyse tamamen kurumuştur. 1986 yılından itibaren, akiferler ve yeraltı suları bir daha ortalama şartlara geri dönememiştir.

Anahtar kelimeler: İnsuyu mağarası, Çine ovası, Yeraltı Gölü, Burdur

HYDRODYNAMIC RELATIONSHIP BETWEEN DRY LAKES OF İNSUYU CAVE AND ÇİNE OVASI AQUIFER (BURDUR-TURKEY)

ABSTRACT

İnsuyu Cave is located in the west of Taurus Mountains, which is Turkey's most important karst region, and in the Burdur Province. The surface drainage area is about 70 km² and it receives 731 mm of annual precipitation. The Cave contains many underground lakes different sizes connected to each other. Drainage area, because it is located at the highest position in the region, these lakes can be recharge by only infiltration of rainwater from main components of water balance equation in the drainage basin. At the natural entrance of the cavern, there is a water source with an altitude of 1191.53 meters above sea level. It provides drainage of underground lakes from this elevation, like a natural spillway. On the west side of the cave is Cine Plain, which has an area of 22 km². The Cine Plain aquifer is the largest reserve of freshwater in the region for the Burdur city. The water pumped from this aquifer supplies significant water for urban use and agricultural irrigation. There is a hydrodynamic interaction between this aquifer and the underground lakes of the cave. The semi-arid period, which began in 1984, has led to a steadily increase in demand for urban use and irrigation water over time. The aquifer's safe yield limit was exceeded in a short time because of the excessive pumping of groundwater irrespective of water balance. Because of excessive pumping continuing in spite of all environmental hazards, firstly the groundwater levels have decreased rapidly and then the İnsuyu Cave Source which has a discharge of

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel: +90 285 296 3375; e-posta: suattasdelen@gmail.com

S. TAŞDELEN

50 l/s completely dried up. As a result, underground lakes have lost their natural seasonal fluctuations, and they are almost completely dry in a short time. Since 1986, aquifers and groundwater levels have never returned to normal or average conditions.

Keywords: İnsuyu cave, Cine plain, Underground Lake, Burdur

1. GİRİŞ

Çalışma alanının yüzey drenaj havzası, Burdur il sınırları içerisinde, Batı Toros Dağlarının iç kısmında yer alır. Coğrafi koordinat sistemine göre, 300.19'.50" - 300.26'.25" doğu boylamı ile 37.35'.30" - 37.41'.50" kuzey enlemleri arasında yaklaşık 70 km²'lik bir alanı kaplar (Şekil 1) [1].

Kurak dönemlerin iklimsel çevre parametrelerine insan kaynaklı olumsuz etkilerin de eklenmesi sürecinin ilk kurbanı doğal su kaynakları olur [2]. Yeraltı suları, kendini yenileyebilen en önemli yeraltı kaynaklarından biridir. İşletme esnasında, kurallara uyulması halinde sonsuza kadar bu kaynaklardan yararlanılabilir. Emniyetli çekim; yeraltı suyu çekim miktarının mevcut yeraltı suyu kütlesinin uzun dönem yıllık ortalama beslenme miktarını aşmayacak düzeyde olması demektir. Çekim miktarı emniyetli verime eşit veya daha az ise yeraltı suyu seviyesinde düşüm olmaz, doğadaki dengeler korunur ve istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaz. Sığ akiferlerde yeraltı suları, hidrolojik döngünün bir parçasıdır ve birçok yerde iklim değişikliği süreçleri ve insan müdahalelerinden etkilenir [3]. Eğer yeraltı suları, geniş alanlarda ve uzun sürelerde beslenme miktarını aşacak şekilde aşırı işletilmeye maruz kalırsa, yeraltı suyu da tükenmeye başlayabilir. Yeraltı su seviyesinin düşürülmesi, yüzey ve yeraltı suları ile beslenen sulak alanlar ve ilgili ekosistemler üzerinde yıkıcı etkilere sahip olabilir [4].

Bu çalışmanın amacı, bünyesinde İnsuyu mağarası ve yeraltı göllerini barındıran karstik kireçtaşları içindeki yeraltı suları ile alüvyonal Çine ovası akiferi arasındaki hidrodinamik ilişkinin araştırılmasıdır. Bu arada, yöredeki meteorolojik faktörlerin ve yıllardır yapılan aşırı yeraltı suyu işletiminin, yeraltı sularının beslenme-boşalım dengesi üzerindeki etkileri hakkında jeolojik, hidrojeolojik ve jeofizik arazi çalışmalarına dayanan öngörülerde bulunmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

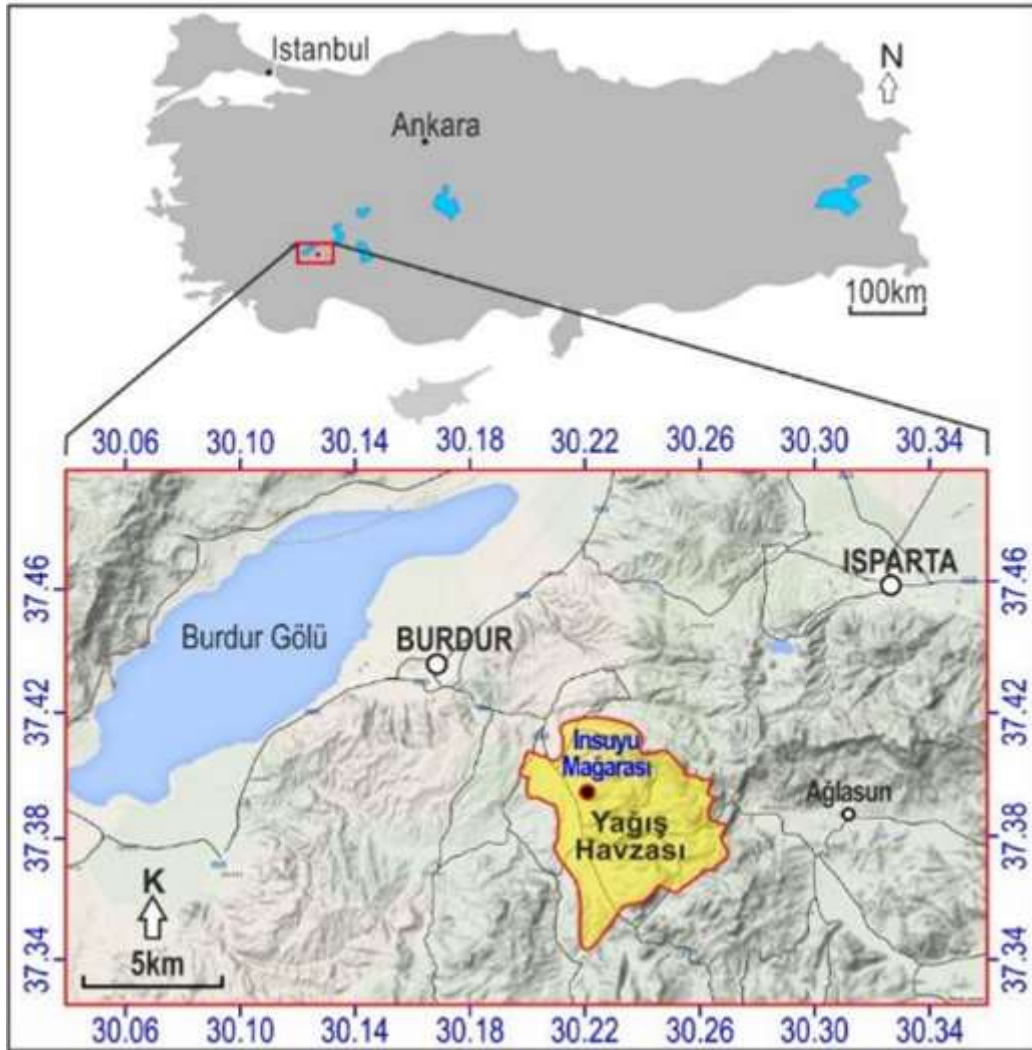
İnsuyu mağarası ve hemen önündeki Çine Ovası'nın yüzey drenaj alanı içinde kalan birimlerin jeolojik özellikleri farklı ekiplerce daha önce yapılan büyük ölçekli çalışmalardan da alıntılar yapılarak incelenmiş, 1/25000 ölçekli jeolojik harita hazırlanmıştır. Hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmaların amacı doğrultusunda DSİ ve DMİ istatistik değerlerinden yararlanılmıştır. Ovanın Ekim 1990 su tablası haritası su sondajları ve sığ kuyular kullanılarak çizilmiştir. Aralık 2014 yılının su tablası haritasını hazırlamak için hidrojeolojik yorumlara temel teşkil edecek şekilde yaklaşık otuz yıldır var olan su sondajları ve sığ kuyuların yanı sıra 70-125 metre derinlikte 38 DES (Düşey Elektrik Sondajı) yapılarak, bu noktalardan geçen öz direnç profilleri boyunca enine kesitler çıkarılmıştır. Havza alanındaki yıllık ortalama yağış izohiyet yöntemi kullanılarak çizilmiştir. İnsuyu kaynağının ortalama taban akışı Mailet denklemi kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda eş zamanlı meteorolojik, hidrolojik ve hidrojeolojik veriler kullanılmıştır. Yaklaşık 22 km²'lik bir alana sahip olan ovada yeraltı suyunun konumu belirlenmeye çalışılmış, eşyükselti (su tablası) haritaları ile yanal ve düşey dağılımı ortaya konulmuştur.

3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK VE TEKTONİK ÖZELLİKLERİ

Jeolojik çalışmalardan elde edilen bilgilerin bir kısmı, önceki araştırmacıların hazırladığı jeolojik haritalara dayanmaktadır. Jeofizik çalışmalar 2 boyutlu bir elektrik direnç ölçme ve yer-delici radar (GPR) içermektedir. 1/25000 ölçekli jeolojik harita Şekil 2'de verilmiştir. Çalışma alanındaki kaya birimleri, çoğunlukla otokton ve allokton olarak iki gruba ayrılmıştır. Bölgede otokton üniteleri Kretase kireçtaşı, Eosen fliş ve kireçtaşı, Orta-Üst Miyosen yaşlı konglomera, Pliyosen yaşlı gölsel çökeller ve Plio-Kuvaterner travertenden oluşmaktadır. Allokton birimler ofiyolit kompleksi ve Orta-Üst Triyas kireçtaşıdır. Allokton kayaların bölgeye ilksel tektonik yerleşimleri Geç Kretase-Erken Paleosen'dir. Kretase yaşlı karbonat istifi bölgenin en yaşlı otokton kaya birimidir. Karbonat istifi iki birim içerir. Bunlar alttan üste doğru; Kretase yaşlı kireçtaşı ve Triyas kireçtaşıdır. Kretase yaşlı kaya birimleri Tersiyer yaşlı kırıntılı sedimentlerle uyumsuz olarak örtülür. Bölgedeki Gölcük

İNSUYU MAĞARASI'NIN KURU GÖLLERİ İLE ÇİNE OVASI AKİFERİ ARASINDAKİ HİDRODİNAMİK İLİŞKİ (BURDUR-TÜRKİYE)

volkanizması Geç Miyosen-Erken Pliyosen boyunca aktif olmuştur. Gölcük Formasyonu Gölcük volkanik materyallerinden meydana gelmiştir. Kuvaterner yaşlı alüvyon ve birikinti koni çökelleri çalışma sahasının en genç birimleridir [5-17]. İncelenen alan, üst bindirme yapıları ile şekillenmiş Alp orojenezinin etkisi altında karmaşık bir tektonik yapıya sahiptir. Önemli tektonik yapılarından olan ters veya bindirme fayları ile kıvrım eksenleri KB-GD doğrultusunda; egemen normal faylar ve kırık sistemleri ise KD-GB doğrultusunda uzanmaktadır. Bölgedeki tüm bu yapısal özellikler muhtemelen KD-GB sıkıştırma; KB-GD çekme kuvvetleri etkisi sonucu gelişmişlerdir.



Şekil 1. Çalışma alanını yer bulduru haritası

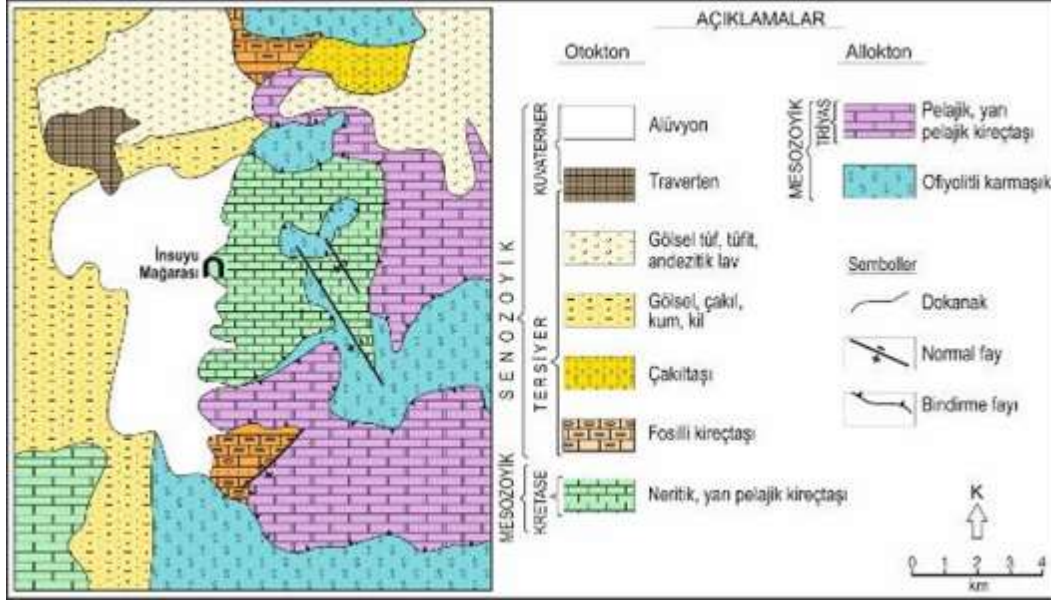
4. ÇİNE OVASI VE İNSUYU MAĞARASININ HİDROLOJİSİ VE HİDROJEOLJİSİ

İnsuyu mağarasının havza bölgesinde meteoroloji istasyonu bulunmamakta, ancak havza yakın çevresinde 10 adet bulunmaktadır. Mağaranın yaklaşık 70 km²'lik havza alanındaki ortalama yağış miktarı, İzohiyet (eşyağış) yöntemi kullanılarak 731 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 3) [18-21]. Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonları Burdur ve Ağlasun'dadır. Regresyon analizinde, iki istasyonun istatistiksel yağış verileri arasındaki korelasyon katsayısı 0.84 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Bu yüksek korelasyon nedeniyle, yapılan hesaplamalarda her iki istasyonun kayıtları kullanılarak, ortalama yıllık yağış ve ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafikleri ile bölgenin yağışlı ve kurak dönemleri belirlenmiştir (Şekil 5).

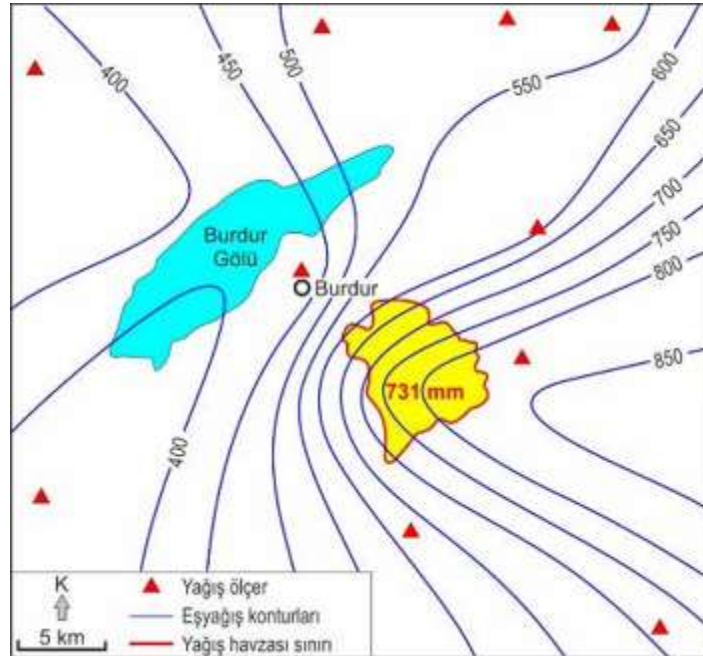
Yeraltı suyuna ait hidrodinamik özelliklerin tespiti, uzun süreli gözlem ve analizler gerektirdiğinden, yapılan hesaplamalar ve elde edilen sonuçlar, büyük ölçüde DSİ ve DMİ kurumlarından sağlanan hidrojeolojik ve

S. TAŞDELEN

meteorolojik istatistiksel veriler üzerine inşa edilmiştir [22]. İnsuyu mağarası, eklemeler, faylar ve tabakalar gibi yapısal süreksizlikler boyunca Mesozoyik kireçtaşında hafif asidik yağmur suyunun çözündürme etkileriyle oluşan karstik bir mağaradır. İlgili süreçler, zamana bağlı olarak hem kimyasal korozyon hem de fiziksel erozyon olarak gerçekleşmiştir. Denizden ortalama yükseklik 1175 metredir. Genellikle yatay konumda bulunan ve birçok eşsiz karst yapısından oluşan mağaranın toplam uzunluğunun 1500 metre kadar olduğu tahmin edilmektedir. Ancak, mağaranın büyük bir bölümünün keşfi tamamlanmadığından ve amatörler için tehlikeli olabileceğinden, bunun sadece 600 metrelik kesimi turizme açıktır (Şekil 6).

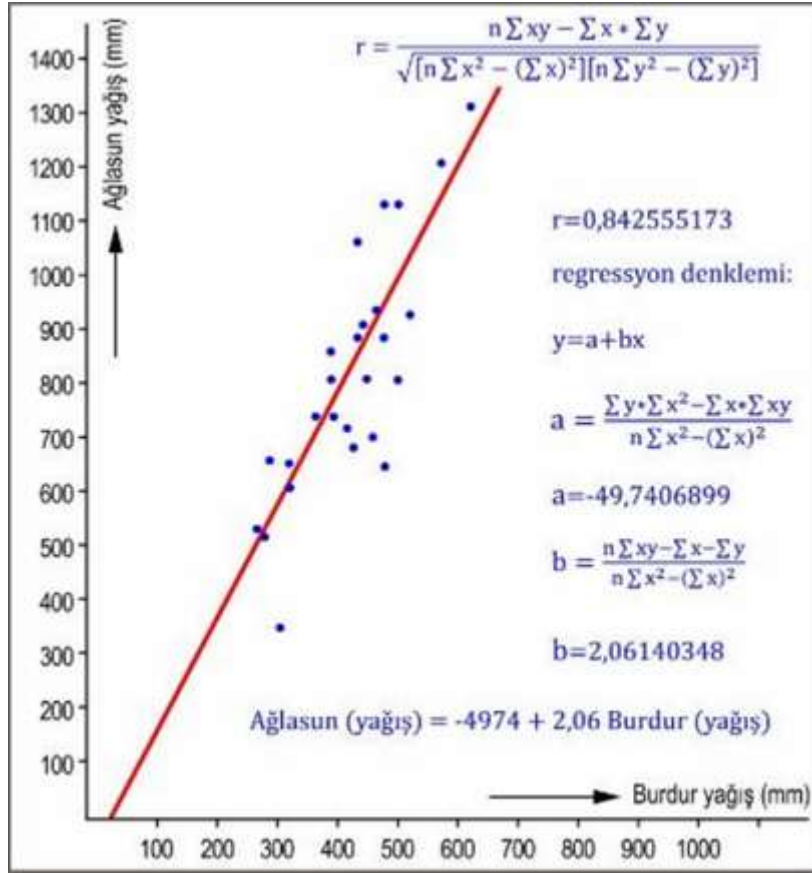


Şekil 2. Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası

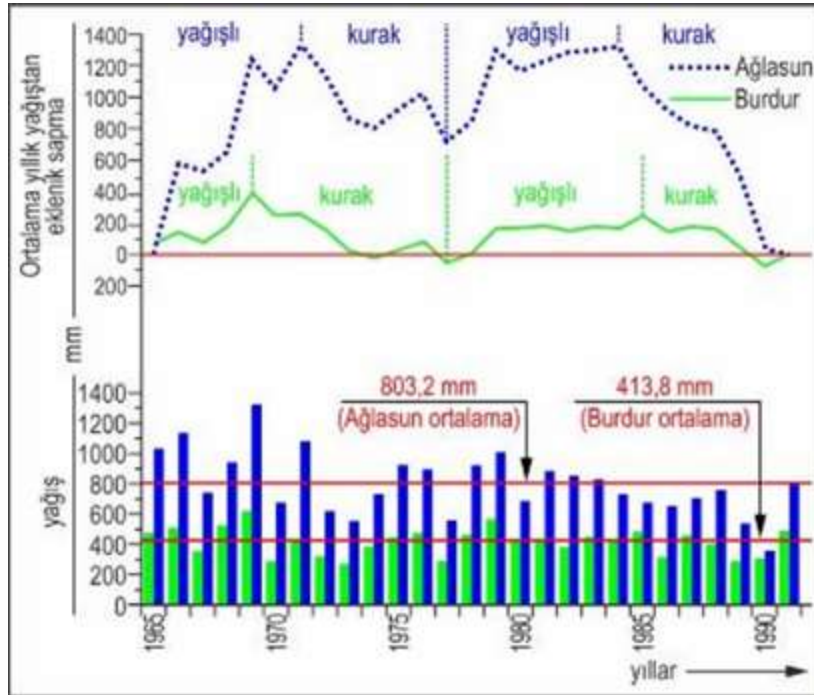


Şekil 3. İnsuyu mağarası yağış havzasının izohiyet haritası

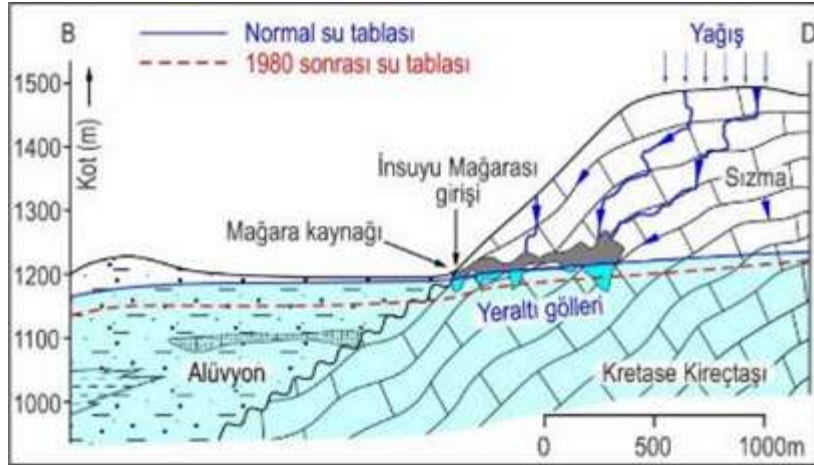
İNSUYU MAĞARASI'NIN KURU GÖLLERİ İLE CİNE OVASI AKİFERİ ARASINDAKİ HİDRODİNAMİK İLİŞKİ (BURDUR-TÜRKİYE)



Şekil 4. Ağlasun ve Burdur için ortalama yıllık yağışların regresyon analizi

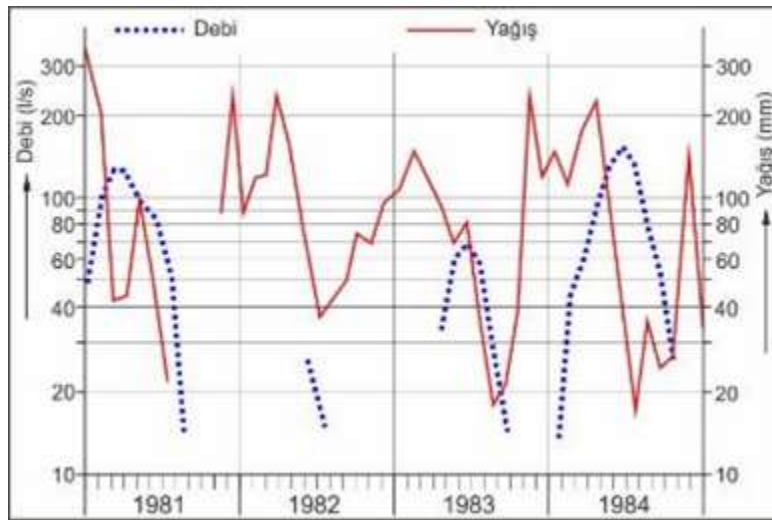


Şekil 5. Ağlasun ve Burdur için ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma grafiği



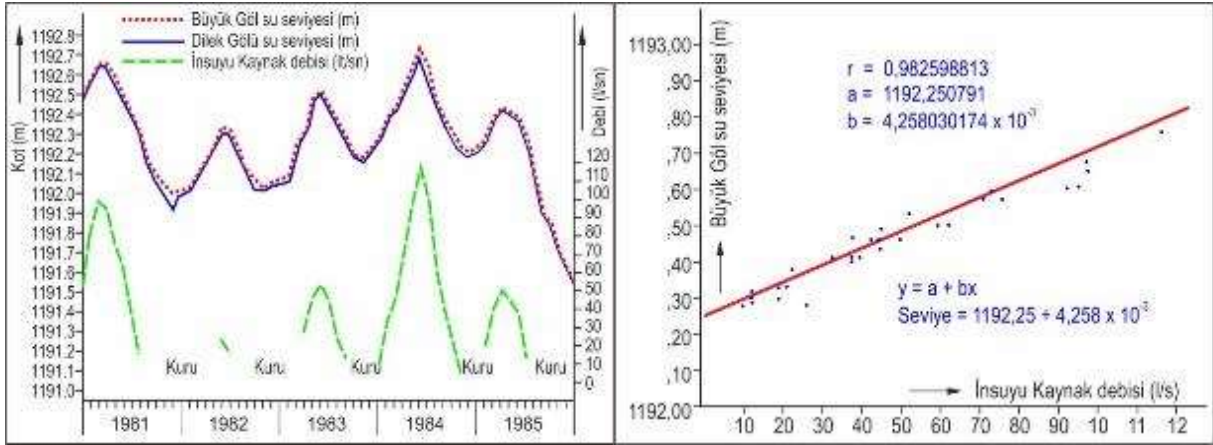
Şekil 6. İnsuyu mağarası ve yeraltı göllerinin şematik kesiti (turizme açık olan 600 metrelik kesim)

Çoğunlukla ince bir toprak tabakasıyla kaplanan kireçtaşı, bölgedeki yaygın kaya oluşumudur. Suyun serbestçe hareket etmesini sağlayan büyük yapısal süreksizlikler ve erime boşlukları içerir. Böylece yağmur suyu, herhangi bir filtrasyon ve gecikme olmaksızın mağaradaki yer altı göllerine hızlıca ulaşır. Kırıklar, eklemler, kanallar ve mağara geçişleri, bu kireçtaşı içinde topluca bir karst akiferi oluşturur. Bu açıklıklar kısmen veya tamamen suyla dolabilir. Tüm gözeneklerin su ile dolduğu yükseklik, yeraltı göllerinin üst seviyesi ve aynı zamanda mağara akiferinin su tablasıdır. Mağaranın 600 metre boyunca turizme açık olan kısmında Dilek Gölü ve Büyük Göl adlı iki göl bulunur. Haziran 1984'te Büyük Göl'ün deniz seviyesinden yüksekliği 1193,33 m, Dilek Gölü'nün ise 1193,30 metredir. Seviyeler arasındaki fark, yeraltı suyunun Cine Ovası'na doğru aktığını ve yeraltından yanıl olarak Cine Ovası akiferini beslediğinin bir göstergesidir. Bu hidrodinamik ilişki nedeniyle, yeraltı gölleri seviyesindeki doğal mevsimsel dalgalanmalar, mağara kaynağının akışını ve akiferdeki yeraltı suyu seviyesini doğrudan etkiler. Su tablası 1191.53 m yüksekliğe ulaştığında, mağaranın yeraltı suyu, kireçtaşı içindeki bir çözünme kanalından doğal bir kaynak olarak ovanın toprak yüzeyine akar. Mağara yeraltı suyunun doğal boşalım noktası olan bu kaynak (İnsuyu mağarası kaynağı), yeraltı göllerinin seviyesini belirleyen bir dolusavak gibi çalışır. Akış miktarı tamamen bu göllerde biriken yeraltı suyuna bağlıdır. Genişletilmiş boşluklardan gelen suyun akış hızı yüksek olduğundan, kaynağın yağış değişikliklerine verdiği cevap hızlıdır (Şekil 7). İnsuyu kaynağının değişimi, yeraltı göllerinin su seviyelerinin azalması ve yükselmesi ile paralel olarak değişmektedir. Regresyon analizi, bu iki değişken arasındaki yakın ilişkinin kanıtıdır. Regresyon katsayısı 0.98'dir (Şekil 8).



Şekil 7. İnsuyu mağarası kaynak debisinin ve Ağlasun yağışlarının zamana göre değişim grafiği

İNSUYU MAĞARASI'NIN KURU GÖLLERİ İLE CİNE OVASI AKİFERİ ARASINDAKİ HİDRODİNAMİK İLİŞKİ (BURDUR-TÜRKİYE)



Şekil 8. Büyük göl su seviyeleri ile İnsuyu kaynak debisi arasındaki ilişkiyi gösteren grafik ve regresyon analizi

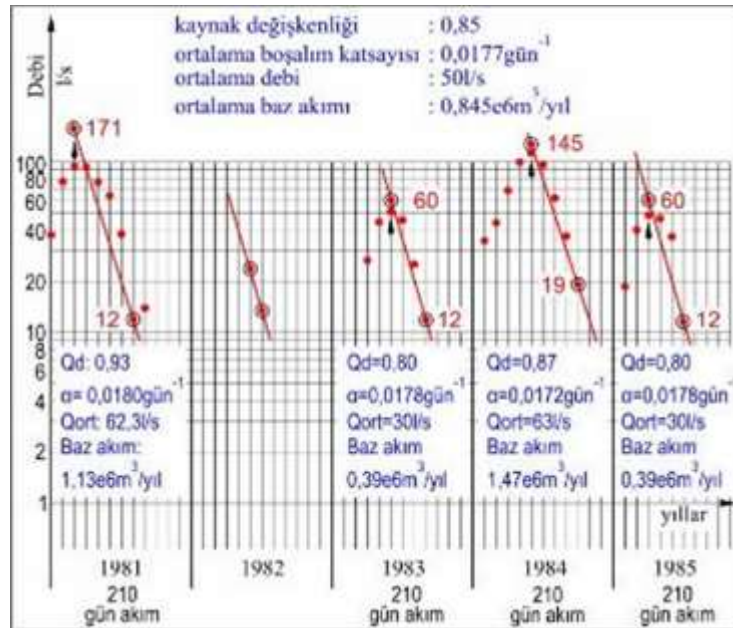
DSİ tarafından yapılan 1981 ile 1985 ölçüm sonuçları kullanılarak kaynağın Maillet bağıntısı ile hesaplanan ortalama baz akımı $0,845 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak bulunmuştur (Şekil 9).

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \text{ (Maillet bağıntısı)} \tag{1}$$

- Q_0 = kaynağın başlangıç debisi
- Q_t = kaynağın herhangi bir t anındaki debisi
- α = kaynağın boşalım katsayısı
- e = 2.7182818

Boşalım katsayısı ve kaynak değişkenliği şöyledir:

| yıllar | boşalım katsayısı | kaynak değişkenliği |
|--------|------------------------------------|---------------------|
| 1981 | $\alpha = 0,0180 \text{ gün}^{-1}$ | $Q_d = 0,93$ |
| 1983 | $\alpha = 0,0178 \text{ gün}^{-1}$ | $Q_d = 0,80$ |
| 1984 | $\alpha = 0,0172 \text{ gün}^{-1}$ | $Q_d = 0,87$ |
| 1985 | $\alpha = 0,0178 \text{ gün}^{-1}$ | $Q_d = 0,80$ |



Şekil 9. Maillet yöntemine göre İnsuyu mağara kaynağı'nın baz akımları (1981-1985)

S. TAŞDELEN

Ortalama boşalım katsayısı $0,0177 \text{ gün}^{-1}$, ortalama kaynak değişkenliği ise $0,85$ 'tir. Bu değerlere göre İnsuyu mağarası kaynağı'nın tipi "çok fazla değişken kaynak" tır [23,24]. Bu tip kaynakların debileri ve yıllık boşalttıkları su miktarları, aylık yağış miktarının etkisindedir. Karstlaşmanın çok fazla gelişmiş olduğu akiferleri boşaltan kaynaklar bu sınıfa girer. Yılın son aylarında kuruyan kaynağın aktığı günlerdeki (yılıda ortalama 195 gün) ortalama debisi 50 l/s 'dir. Kaynak 1986 yılından itibaren tamamen kurumuştur.

Akiferlerdeki su seviyeleri genellikle sabit değildir. Yeraltı suları ilk olarak yağışlardan yeraltına olan süzölmeye bağlıdır, bu yüzden bir kuraklık dönemi su seviyesini olumsuz olarak etkileyebilir. Aynı şekilde, pek çok akifer özellikle de yeterli beslenimi olmayanlar, bölgedeki kuyulardan pompalanan su miktarından etkilenir. Yeraltı sularının azalması, ülkelerin ve dünyanın birçok yerinde gerçek ve ciddi bir sorundur. Yağışlar birkaç hafta, ay veya yıl boyunca normalden daha az olduğunda, akarsular ve nehirlerin akışı azalır, göllerdeki su seviyeleri ve rezervuarlar düşer ve kuyulardaki su derinliği artar. Kuru hava devam ederse ve su arzı problemleri gelişirse, kuru dönem kuraklığa dönüşebilir [25].

Yeraltı suyu işletimi yapılan akiferdeki su seviyesi her zaman aynı kalmaz. Kuraklıklar, yağıştaki mevsimsel değişimler ve pompalama, yeraltı su seviyelerinin yüksekliğini etkiler. Bir kuyu, yağış ya da diğer yeraltı akışı ile beslenen bir akifer beslenimden daha fazla bir miktarda pompalanırsa, kuyudaki su seviyeleri düşebilir. Bu durum kurak dönemlerdeki aşırı yağış açığından kaynaklanabilir. Bir kuyudaki su seviyesi, yakınındaki diğer kuyular çok fazla su çekiyorsa da düşebilir [26].

1959-1991 yılları arasında Çine ovasında kamu kurumları tarafından tarım, evsel, endüstriyel kullanım ve araştırma amaçlı 20 adet su kuyusu açılmıştır. 1984 yılında başlayan kurak dönemde, su talebinin artması nedeniyle sondaj sayısı hızla artmış ve 2014 yılına kadar 680'e ulaşmıştır. Sondajların derinliği 30 ila 150 metre arasında değişmektedir. Bu su sondajlarında, akifer beslenme-boşalım dengesine bakılmaksızın yıllarca yöre halkı ve kamu kurumları tarafından aşırı pompalama gerçekleştirilmiştir. Yağışların yıllar boyunca ortalamadan daha az olması nedeniyle Çine ovası akiferinde ve dolaylı olarak mağara göllerinde aşırı stres meydana gelmiştir. Yağış miktarı ortalama değere ulaştıktan sonra bile, yapay boşalım miktarı, akiferdeki beslenme miktarını aşmaya devam etmiş ve daha sonra yer altı su rezervleri kısa sürede önemli ölçüde azalmaya başlamıştır. Bu nedenle öncelikle mağara gölleri ve rezervuarlarının derinlikleri ve dolayısıyla ovadaki akiferlerin su seviyesi azalmıştır. Sonuç olarak, su kaynakları yönetiminin yokluğunda, yeraltı gölleri doğal mevsimsel dalgalanmalarını yitirmiş ve kısa sürede neredeyse tamamen kurumuştur. Benzer şekilde, yaklaşık 50 l/s (yılıda 195 gün) ortalama akışa sahip olan İnsuyu mağara Kaynağının akışı yavaş yavaş azalmış ve sonunda iki yıl içinde tamamen kurumuştur. Kurak sezonun ardından gelen yağmurlu mevsimlerde bile, göller ve yeraltı suları tekrar doğal seviyelerine ulaşamamıştır.

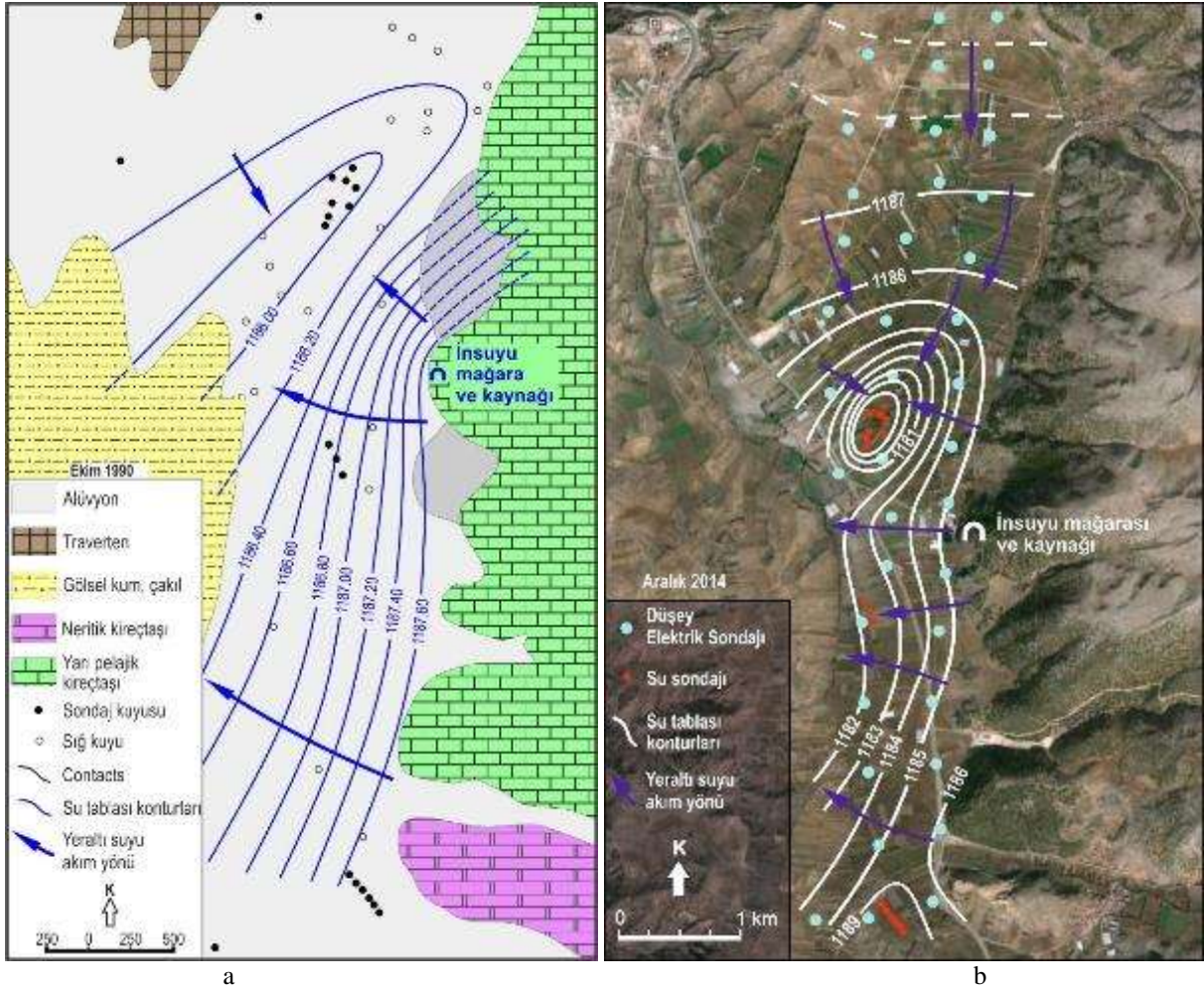
Su tablası haritaları için Ekim 1990 ve Ekim 2014 tarihleri seçilmiştir. Her iki dönem haritasının çiziminde sondaj kuyularında yapılan seviye ölçümlerinden yararlanılmıştır. Ekim 2014 haritasında seviye ölçümlerine ilaveten jeofizik düşey elektrik sondajlarının değerleri de kullanılmıştır. Jeofizik ölçümler sırasında ovadaki mevcut kuyuların bir kısmı çalışır durumda olduğu için, yeraltı suyu seviyesi ile ilgili rakamlar bazı kesimlerde dinamik seviyeleri (pompaajlardan dolayı meydana gelen yapay seviyeler) temsil ediyor olabilir. Bu değerlerin, mağara içindeki yeraltı göllerinin kurumaya başladığı yıllardaki değerlerle korelasyonu sağlıklı sonuçlar vermez. Ancak güncel yeraltı suyu konumu hakkında bir fikir verebilir (Şekil 10).

4.1. Ekim 1990 ve Ekim 1991 Döneminde Cine Ovasının Yeraltı Suyu Bilançosu

Yeraltı suyu bilançosu belirli bir zaman aralığı boyunca sisteme giren ve çıkan su miktarının eşit olması ilkesine dayanır [14]. Jeolojik ve hidrojeolojik sınırları belirlenmiş bir akiferin belirli bir periyot için dinamik su dengesinin miktar yönünden belirtilmesi yeraltı suyu bilançosu olarak belirtilir [27]. Bir hidrolojik dönem için yapılan bilanço hesabı, sadece yapıldığı dönemi temsil eder.

Çine ovasında yeraltı suyu bilançosu için Ekim 1990 ve Ekim 1991 dönemi seçilmiştir (Tablo 1). Bu dönem, hem eş zamanlı istatistiksel verilerin en fazla olduğu, hem de Çine ovasında yeraltı suyu düşümlerinin hızlandığı yıllara tekabül eder. Böylece, uzun yıllara dayalı hesaplamalarda elde edilen sonuçları sorgulama fırsatı vermesi bakımından önemlidir. Bu dönem Ağlasun ve Burdur Devlet Meteoroloji İstasyonlarının ortalama yıllık yağıştan eklenik sapma değerlerine göre 1985 yılında başlayan kurak devre içinde yer alır (Şekil 5). Çine ovası, topoğrafik ve hidrometeorolojik özellikler bakımından Burdur'a nazaran Ağlasun'a daha yakın olduğu için bilanço dönemine ait buharlaşma-terleme ve yağış değerleri hesaplanırken Ağlasun Devlet Meteoroloji İstasyonunun verileri kullanılmıştır.

İNSUYU MAĞARASI'NIN KURU GÖLLERİ İLE ÇİNE OVASI AKİFERİ ARASINDAKİ HİDRODİNAMİK İLİŞKİ (BURDUR-TÜRKİYE)



Şekil 10. Çine ovası su tablası haritası. a: (Ekim 1990), b: (Ekim 2014 Google Earth)

4.1.1. Yeraltı Suyu Beslenimi

Drenaj alanı, topoğrafik olarak bölgedeki en yüksek konumda olduğu için, rezervuarın beslenimi sadece yağmur suyunun doğal yollarla yeraltına sızması ile gerçekleşir.

Kretase kireçtaşı:

$$0,610 \text{ m (ortalama yıllık yağış)} \times 30 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ (alan)} \times 0,35 \text{ m (yağıştan sızma oranı)} = \underline{\underline{6,41 \times 10^6 \text{ m}^3}}$$

Kuvaterner Alüvyon:

$$0,610 \text{ m (ortalama yıllık yağış)} \times 23,5 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ (alan)} \times 0,20 \text{ m (yağıştan sızma oranı)} = \underline{\underline{2,87 \times 10^6 \text{ m}^3}}$$

Akıştan sızma:

Dikkate alınması gereken diğer bir faktör de yüzey akışıdır. Havza alanındaki dağların eğimi, yağmur suyunu dağlardan ovaya getirir. Bu akış su bütçesini artırabilir. Thornthwaite yöntemine göre, bütçe dönemindeki yağıştan kaynaklanan yüzey akışı miktarı 274,45 mm olarak hesaplanmıştır. Bunun yaklaşık % 10'unun yeraltında süzölmüş olduğu varsayılabilir. Bu durumda, yüzey akış filtrasyonu ile oluşan yeraltı suyu şarjı;

$$0,27445 \text{ m (yüzey akışı)} \times 70 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ (yüzey drenaj alanı)} \times \text{(sızma oranı)} 0,10 = \underline{\underline{1,92 \times 10^6 \text{ m}^3}}$$

Havzadaki diğer tüm jeolojik birimler ya geçirimsizdir ya da yeraltından rezervuarın boşaltılmasına neden olurlar.

S. TAŞDELEN

4.1.2. Yeraltı suyu boşalımı

Sondaj kuyuları:

Bilanço döneminde kesintisiz olarak, Burdur Belediyesi tarafından içme suyu amaçlı 250 l/s; DSİ tarafından sulama amaçlı 150 l/s su pompalanmıştır.

$$\begin{aligned} \text{İçme:} & \quad 0,25 \text{ m}^3/\text{sec} \times 86400 \times 365 = \underline{7,88 \times 10^6 \text{ m}^3} \\ \text{Sulama:} & \quad 0,15 \text{ m}^3/\text{sec} \times 86400 \times 365 = \underline{4,73 \times 10^6 \text{ m}^3} \end{aligned}$$

Halk kuyuları:

Bilanço döneminde 200 adet halk kuyusundan sulama mevsimi olan 4 ay boyunca günde 12 saat ve ortalama 5 l/s su çekilmiştir.

$$200 \text{ (wells)} \times 0,005 \text{ (m}^3/\text{s)} \times 3600 \text{ (saniye)} \times (12 \text{ saat}) \times (30 \text{ gün}) \times 4 \text{ (ay)} = \underline{5,18 \times 10^6 \text{ m}^3}$$

Tüm doğal kaynaklar önceden kurumuş olduğundan, bütçe döneminde rezervuardan doğal bir deşarj bulunmamaktadır.

Tablo 1. Ekim 1990-Ekim 1991 dönemine ait beslenme ve boşalımın karşılaştırması

| Beslenme (m ³) | | Boşalım (m ³) | |
|----------------------------|--|--|---|
| kireçtaşı: | $0,610 \times 30 \times 10^6 \times 0,35 = \underline{6,41 \times 10^6 \text{ m}^3}$ | içme: | $250 \times 86400 \times 365 = \underline{7,88 \times 10^6 \text{ m}^3}$ |
| alüvyon: | $0,610 \times 22 \times 10^6 \times 0,20 = \underline{2,87 \times 10^6 \text{ m}^3}$ | sulama: | $150 \times 86400 \times 365 = \underline{4,73 \times 10^6 \text{ m}^3}$ |
| Akıştan sızma: | $0,27445 \times 70 \times 10^6 \times 0,10 = \underline{1,92 \times 10^6 \text{ m}^3}$ | Halk kuyuları: | $200 \times 5 \times 10^{-3} \times 4 \times 30 \times 12 \times 3600 = \underline{5,18 \times 10^6 \text{ m}^3}$ |
| Toplam: | $11,20 \times 10^6 \text{ m}^3$ | Toplam: | $17,79 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| Rezerv değişimi: | | $11,20 \times 10^6 - 17,79 \times 10^6 = \underline{6,59 \times 10^6 \text{ m}^3}$ | |

Bu hesaba göre, Ekim 1990-Ekim 1991 bütçe döneminde beslenimden $6,59 \times 10^6 \text{ m}^3$ daha fazla yeraltı suyu işletilmiştir.

Yeraltı suyu rezervindeki bu hacimsel azalma, 22 km^2 'lik alanda su tablasında 0.86 m düşüme sebep olmuştur.

$$6,59 \times 10^6 \text{ m}^3 / (22 \times 10^6 \text{ m}^2 \text{ (area)} \times 0,35 \text{ (porosity)}) = 0,86 \text{ m}$$

Bilanço dönemi boyunca, kuyularda yapılan ölçümlerde elde edilen seviye farkları, hesap yoluyla elde edilen bu sonuçların doğruluğunu kanıtlamaktadır. Bu hacimsel miktar, debi cinsinden ifade edilirse:

$$6,59 \times 10^6 / (365 \times 86400) = 0,209 \text{ m}^3/\text{sn}$$

Saniyede $0,209 \text{ m}^3$ fazla pompaj anlamına gelmektedir.

1980 yılından 1991 yılına kadar ovada 5 m'lik bir seviye düşümü olduğu gözlenmiştir. Bu düşüm miktarı üzerinden hareketle, bu 11 yıllık süre içinde $38,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ fazla çekim yapıldığı ortaya çıkar. Bu miktar yılda ortalama $3,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 'tür. Bu da, yılda ortalama 0,45 metrelik düşüme tekabül eder. Ovada yapılan aşırı pompajın 1980 yılından itibaren yeraltı sularındaki seviye düşümlerinin her geçen yıl giderek arttığının göstergesidir.

4.2. Emniyetli Çekim

Güvenli verim, genellikle yıllık olarak çekilen yeraltı suyu miktarı ile yıllık beslenme miktarı arasında uzun vadeli sürdürülebilir bir dengenin elde edilmesi olarak tanımlanmaktadır [28]. Emniyetli çekim, yeraltı suyu çekim miktarının mevcut yeraltı suyu kütesinin uzun dönem yıllık ortalama beslenme miktarını aşmayacak düzeyde olması demektir. Çekim miktarı emniyetli verime eşit veya daha az ise yeraltı suyu seviyesinde düşüm olmaz, doğadaki dengeler korunur ve istenmeyen sonuçlar ortaya çıkmaz.

İnsuyu ovasının yeraltı suyu besleniminin tümünün yağıştan gerçekleştiği dikkate alınır, inceleme alanına düşen ortalama yıllık yağış 731 mm (Şekil 3) olduğuna göre, yeraltı suyu bilançosunda beslenme hanesindeki

İNSUYU MAĞARASI'NIN KURU GÖLLERİ İLE ÇİNE OVASI AKİFERİ ARASINDAKİ HİDRODİNAMİK İLİŞKİ (BURDUR-TÜRKİYE)

hesaplamaların rezerv değişimi dışındaki toplamı, uzun yıllar için yaklaşık beslenme miktarını verir. Yıllık ortalama şarj miktarı, diğer yerel hidrojeolojik ve jeolojik faktörler göz önüne alınarak ortalama $13,91 \times 10^6 \text{ m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

| | |
|--------------------------------|--|
| Quaternary alluvium | : $0,731 \times 23,5 \times 10^6 \times 0,20 = 3,44 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| Cretaceous limestone | : $0,731 \times 30 \times 10^6 \times 0,35 = 7,68 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| infiltration from surface flow | : $0,399 \times 70 \times 10^6 \times 0,10 = 2,79 \times 10^6 \text{ m}^3$ |
| Total | : $13,91 \times 10^6 \text{ m}^3$ |

Tüm bütçe unsurlarının doğru ölçümleri her zaman mümkün olmadığından, pratik uygulamalarda yeraltı suyunun güvenli verimi genellikle doğal şarjın yüzdesi olarak hesaplanır. Bu çalışmada güvenli verim, yıllık yeniden yapılanmaların % 70-80'i olarak kabul edilmiştir.

$$(13,91 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 70) / 100 = 9,77 \times 10^6 \text{ m}^3$$

$$(13,91 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 80) / 100 = 11,13 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Bu durumda, ovada her yıl emniyetli olarak çekilebilecek en fazla su miktarı $9,77 \times 10^6 \text{ m}^3$ ile $11,13 \times 10^6 \text{ m}^3$ arasında olmalıdır. Hidrolojik ve hidrojeolojik arazi ve laboratuvar çalışmaları ile meteorolojik rasat, analiz ve hesaplamalardaki muhtemel eksiklik, ihmal ve hatalar dikkate alınarak, bu rakamlar, meteorolojik negatif ekstrem değerlerin yeraltı suyu rezervlerini tehdit edecek şekilde arka arkaya geldiği yıllarda daha aşağılara çekilmelidir.

5. SONUÇLAR

Jeolojik, jeofizik, hidrolojik ve hidrojeolojik çalışmalar sonucu elde edilen bulgular, İnsuyu mağarası içindeki yeraltı gölleri ile Çine ovasındaki yeraltı sularının, litolojik ve hidrodinamik özellikleri farklı iki akifer içinde konumlanan tek bir rezerv olduğunu gösterir.

Yeraltı suyu genel akım yönü kabaca doğudan batıya doğrudur. İnsuyu mağarası'nın da içinde yer aldığı Kretase yaşlı kireçtaşları, üzerlerine düşen yağışları, yeraltından Çine ovasına doğru kanalizasyon yaparak, ova tabanındaki akiferleri yeraltı suyu bakımından yanal olarak besler. Bu hidrodinamik ilişki nedeniyle kurak mevsimlerde mağara içindeki yeraltı göllerinin seviye düşümleri mağara kaynağının debisini ve ovadaki yeraltı su seviyesini doğrudan etkiler.

Mağaranın ve ovanın yeraltı suyu rezervlerinin doğal yollarla beslenimi sadece yağmur suyunun yeraltına sızmasından, boşalımı ise İnsuyu mağarası ve Gökpınar kaynakları tarafından gerçekleşir.

Bölgede 1985 yılında girilen kurak devreden itibaren, Çine ovası yeraltı suyu üzerindeki yoğun su talebine paralel olarak, sayıları giderek çoğalan ve 2014 itibarıyla 680'e ulaşan su sondajı açılmıştır. Bu sondajlardan yıllarca akifer bütçesinin beslenme ve boşalım dengesi gözetilmeksizin yapılan kontrolsüz su çekimleri, akifer ve dolaylı olarak İnsuyu mağarası içindeki yeraltı gölleri üzerinde aşırı bir stresin oluşmasına ve yeraltı suyu rezervinin zaman içerisinde ciddi olarak azalmasına neden olmuştur. Bu nedenle önce yeraltı su seviyesi, peşinden de İnsuyu mağarası kaynağının debisi hızla düşmeye başlamıştır. Ovadaki yeraltı suyunun maruz kaldığı aşırı pompaj her geçen gün artarak devam ettiğinden dolayı meteorolojik bakımdan kurak dönemden çıkılıp, yağışların ortalama değerlere ulaşmasından sonra bile akiferin beslenme miktarı, boşalım miktarını karşılayamaz hale gelmiş, buna bağlı olarak yeraltı gölleri de doğal seviyelerindeki mevsimsel salınımlarını yitirerek zamanla kurumuşlardır.

Ovadaki yeraltı su seviyesinin sürekli düşümü; 1980 ile 1984 yılları arasında yeraltı suyunun aşırı çekimine, 1984 ile 1991 yılları arasında ise yeraltı suyunun aşırı çekimi ile birlikte, yıllık yağışların üst üste ortalama yıllık yağıştan az olmasına bağlı olarak gelişmiştir. Yani, hidrolik bilanço elemanlarının hem beslenme hem de boşalım hanesi, yıllarca yeraltı suyu rezervinin azalmasına neden olacak doğal ve yapay değişimlere maruz kalmıştır. Sürdürülebilir yeraltı suyu yönetimi disiplinle uygulanmadığı sürece mağara göllerinin eski seviyelerine ulaşması mümkün değildir.

Akifer üzerinde oluşan aşırı stresin azaltılabilmesi, beslenme-boşalım dengesinin yeniden tesis edilerek rehabilite edilebilmesi ve İnsuyu mağarası yeraltı göllerinin tekrar doğal seviyelerine ulaşabilmesi için; yeraltı suyunun emniyetli çekim miktarları aşılmadan işletilmesi ve bu konuda sürdürülebilirliğin sağlanması gereklidir. Bu amaçla bölgesel meteorolojik, jeolojik ve çevresel kriterlere göre ovada en uygun tarım yöntemleri ile tasarrufla odaklı sulama konsepti oluşturulmalıdır.

S. TAŞDELEN

Günümüz modern teknolojilerinden coğrafi bilgi sistemleri ve sayısal modelleme teknikleri ile ilişkili akifer sistem modellemesi yaklaşımından yararlanmak, sorunun çözümü için büyük kolaylık sağlayabilir. Bu şekilde, yeraltı suyu sisteminin hidrodinamik özelliklerinin daha iyi anlaşılması sağlanabildiği gibi, ileriye yönelik olarak tanımlanmış muhtemel yeraltı suyu işletim senaryoları ve simülasyonları sayesinde akifer bütçesinin beslenme-boşalım dengesinin yeniden tesisi, su seviyesi, rezervi ve kalitesinde oluşabilecek değişimlerin hesabı ve tahmini daha güvenli olarak yapılabilir. Bu bakımdan, akiferin yönetimi, farklı planlama ekipleri arasındaki işbirliğini oluşturabilecek, değişken güncel koşullara uyum sağlayabilecek ve yaptırım sahibi tek bir birimden sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] TAŞDELEN, S., “Çine ovası (Burdur) ve Yakın Dolayının Hidrojeoloji İncelemesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 181 sayfa, (Yayınlanmamış) Isparta, 1993.
- [2] CHEN, M., P. XIE, AND J.E. JANOWIAK., “Global land precipitation: a 50-yr monthly analysis based on gauge observations”, *J. Hydrometeorol.*, 3, 249–266, 2002.
- [3] PETHERAM, C., G. WALKER, R. GRAYSON, T. THIERFELDER AND L. ZHANG., “Towards a framework for predicting impacts of land-use on recharge”, *Aust. J. Soil Res.*, 40, 397-417, 2001.
- [4] GLEESON, T., J. VANDERSTEEN, A. A. SOPHOCLEOUS, M. TANIGUCHI, W. M. ALLEY, D. M. ALLEN, AND Y. ZHOU, “Commentary: Groundwater sustainability strategies”, *Nat. Geosci.*, 3, 378–379, 2010, doi:10.1038/ngeo881.
- [5] GÖRMÜŞ, M., KARAMAN, M.E., “Fades changes and new stratigraphical paleontological data in the Cretaceous Tertiary boundary around Söbüdağı (Çünür-Isparta): Çukurova Üniversitesi Geosound”, (Yerbilimleri) Dergisi, 21,43-57, Adana, 1992.
- [6] KOÇYİĞİT, A., “Isparta büklümünde (Batı Toroslar) Toros karbonat platformunun evrimi” *Türkiye Jeol. Kurumu Bülteni* 24, 15-23, Ankara, 1982.
- [7] KOÇYİĞİT, A., “Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim” *Türkiye Jeol. Bülteni* 27,1-16, Ankara, 1984.
- [8] ÖZGÜL, N., “Torosların temel jeolojik özellikleri”, *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 9/1, 65-78, 1976.
- [9] ÖZGÜNER, A. M., “Burdur gölü ve Keçiborlu dolaylarının jeolojisi raporu: M.T.A”, Genel Müdürlüğü raporları (Yayınlanmamış), Ankara, 1979.
- [10] POISSON, A., AKAY, E., DUMONT, J. F., UYSAL, Ş., “Isparta angle: Geology of the Taurus belt”, *International Symposium*, 11-16 p, 1984.
- [11] GUTNÍC, M., MONOD, O., POISSON, A., ET DUMONT J.F., “Geologie des Taurus occidentals (Turquie): Memoires de la Societe Geologique de la France”, Mem. No.137, Paris, 1979.
- [12] DUMONT J.F., “Isparta kıvrımı ve Antalya naplarının orijini” *M.T.A. Dergisi*, 86, 56-57, 1976.
- [13] KARAMAN, M.E., “Isparta güneyinin temel jeolojik özellikleri”, *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 33, 57-67, Ankara, 1990.
- [14] KARAMAN, M. E., “Isparta-Burdur arasının jeolojisi ve tektonik özellikleri”, *Geological Bulletin of Turkey*, V. 37, No 2,119 -134, August 1994, 1994.
- [15] KARAMAN, M. E., “Burdur dolayının genel stratigrafisi” *Akdeniz Üniversitesi, Isparta Müh. Fakültesi Dergisi*, 2, B23-26, Isparta, 1986.
- [16] YALÇINKAYA, S., ERGİN, A., AFŞAR, Ö.P., TANER, K., “Isparta büklümünün yapısal evrimi” *A.Ü. Isparta Müh. Fak. III. Müh Haftası Bildiri özleri kitabı*, 30-31, Isparta, 1985.
- [17] YALÇINKAYA, S., ERGİN, A., AFŞAR, Ö.P., TANER, K., DALKILIÇ, H., ÖZGÖNÜL, E., “Batı Torosların jeoloji raporu”, *M.T.A. raporu (Yayınlanmamış) Ankara*, 1986.
- [18] CASTANY, G., “Yeraltı suları hakkında pratik uygulamalar”, (Çeviri, KARACADAĞ, K.), *DSİ yayın no. 638, 692s*, Ankara, 1969.
- [19] BAYAZIT, M., “Hidroloji uygulamaları”, *İTÜ*, yayın no:1455,280s, İstanbul, 1991.
- [20] ŞAHİNCİ, A., “Genel Hidroloji”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi yayını*, 169 s, İzmir, 1986.
- [21] WIESSMAN, W. JR., LEWIS, G. L., KNAPP, C. W., “Introduction to Hydrology”, third edition, Harper Collins Publishers, 780pg., New York, 1989.
- [22] *DSİ Haritalı İstatistik Bülteni*, Yayın no: 991, 499s., Ankara.
- [23] ŞAHİNCİ, A., “Göksu Göldeğirmeni Kaynaklarının İncelenmesi”, *Doktora tezi (yayınlanmamış)*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Kürsüsü 75 s., İzmir, 1976.
- [24] KORKMAZ, N., “Akiferin Boşalım Katsayılarına Göre Gruplandırılması Üzerine Bir Araştırma”, *DSİ Teknik Bülteni*, sayı 69, s: 51-58, Ankara, 1989.

İNSUYU MAĞARASI'NIN KURU GÖLLERİ İLE CİNE OVASI AKİFERİ ARASINDAKİ HİDRODİNAMİK İLİŞKİ (BURDUR-TÜRKİYE)

- [25] <https://water.usgs.gov/edu/droughtandgw.html> (erişim tarihi 21.04.2018)
- [26] MORELAND, J.A., “Drought: U.S. Geological Survey Water Fact Sheet”, Open-File Report 93-642, 2 p, 1993.
- [27] KORKMAZ, N., “Yeraltı Suyu İşletmesi Yapılan Sahalarda Su Bilançosu Hazırlanması”, DSİ Teknik Bülteni, sayı 47, s:31-37, Ankara, 1979.
- [28] SOPHOCLEOUS, M.A., SAWİN, R.S., “Safe yield and sustainable development of water resources in Kansas”, Kansas Geological Survey, Public Information Circular, 9, 6p, 1997.