

YERALTISUYU BESLENİM SICAKLIK VE YÜKSELTİSİNİN BELİRLENMESİ

Yeraltısuyu sistemlerinde beslenme koşulları, arazi gözlemleri ile topografik, jeolojik, hidrojeolojik, meteorolojik bilgilerin birleştirilmesi ile belirlenebilir. Bu durumda yeraltısuyu beslenme yükseltisi akiferi oluşturan jeolojik birimin gözlendiği (yüzeylendiği) en yüksek kota karşılık gelirken beslenme sıcaklığı ise yıl boyunca yağıştan itibaren beslenimin gerçekleştiği dönemin ortalama hava sıcaklığına eşittir. Akifer içerisinde doymuş bölgenin kalınlığına bağlı olmakla birlikte beslenme suyu sıcaklığının yıllık hava sıcaklığının 2°C altında olduğu kabul edilmektedir. Ancak bazı yeraltısuyu sistemlerinde doymuş olmayan bölgenin genel kabullerden daha kalın olması, beslenimin yıl boyunca farklı kotlarda, değişken koşullarda gerçekleşmesi durumlarında yeraltısuyu beslenme koşullarının (sıcaklık ve yükseltisinin) bu şekilde belirlenmesi yanıltıcı olmaktadır. Karstik akiferler, değişken ve/veya dinamik beslenme mekanizmaları nedeni ile yeraltısuyu beslenme sıcaklık ve yükseltisinin doğrudan belirlenmesinin oldukça güç olduğu akifer sistemleridir. Hesaplanmasındaki güçlüğün yanı sıra karstik akiferler için hassas olarak belirlenen beslenme sıcak ve yükseltisi akifer sisteminin işleyişi konusunda oldukça önemli bilgiler taşımaktadır.

Yeraltısuyu beslenme sıcaklık ve yükseltisinin belirlenmesi amacıyla günümüzde kullanılan ve kabul gören yaklaşımlar; yeraltısuyunun duraylı izotop içeriği ve çözünmüş asal gaz içerikleridir.

Oksijenin duraylı izotopu olan Oksijen-18 (^{18}O)'in yeraltısuyundaki içeriği beslenme anından boşalım noktasına kadar izotopik farklılaşmaya neden olacak bir süreç (buharlaşma, karışım vb..) gerçekleşmediği sürece beslenme anındaki değerini korumaktadır. Bu durumda boşalım noktasında büyüklüğü belirlenen ^{18}O içeriğinden beslenimin gerçekleştiği dönemdeki hava sıcaklığının ve dolayısı ile yeraltısuyu beslenme sıcaklığının belirlenmesi mümkündür (Dansgaard, 1964; Rozanski et.al., 1993). Beslenme sıcaklığının karşılık geldiği yükseltinin hesaplanması içinde çalışılan bölgede hava sıcaklığının yükseklik ile değişimi incelenmelidir. Bu yaklaşım ile yapılacak uygulamalarda çalışılan bölgeye ait yağışın ^{18}O içeriğinin sıcaklık ile değişimi ve bölgenin sıcaklık yükselti eşitliğinin belirlenmesi gerekir. Hesaplanan beslenme sıcaklığının hassasiyeti $\pm 0.2\%$ ^{18}O analiz hassasiyeti için yaklaşık $\pm 0.4^\circ\text{C}$ 'dir.

Yeraltısuyunun boşalım noktasında belirlenen çözünmüş asal gaz içeriği de yağıştan itibaren süzülen suyun doymuş yeraltısuyu seviyesine ulaştığı noktadaki sıcaklık ve basınç koşullarına ait izleri taşımaktadır. Akifer içinde doymuş bölgede yeraltısuyunun hareketi süresince (bu süre ne kadar uzun olursa olsun) suda çözünmüş asal gaz içeriğinin gazların fiziksel ve kimyasal özellikleri nedeni ile değişmediği kabul edilmektedir. Asal gaz jeotermometresi olarak adlandırılan bu yaklaşım ile yeraltısuyunun beslenme sıcaklığı $\pm 0.5^\circ\text{C}$ hassasiyetle tahmin edilmektedir (Stute and Schlosser, 1993). Gazların çözünürlüğü sıcaklık ve basınca doğrudan ilişkili olduğundan beslenme sıcaklığının yüksek hassasiyetle belirlenmesi yeraltısuyu beslenme yükseltisinin bilinmesine bağlıdır.

Yeraltısuyu beslenme sıcaklığı çalışmalarında kullanılan her iki yaklaşımın uygulama açısından sağladığı avantajlar ve dezavantajlar Çizelge 1'de kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 1. Yeraltısuyu beslenme sıcaklığı ve yükseltisi tahmininde kullanılan yöntemlerin karşılaştırılması

Asal Gaz	¹⁸ O
Örnekleme için özel ekipman gereklidir. Örnekleme sırasında atmosferik kirlilik riski yüksektir.	Yeterli hacimde suyu alabilecek temiz, tıpalı polietilen bir şişe örnekleme için yeterlidir.
Analizi karmaşık (zaman alıcı) ve pahalıdır (örnek başına yaklaşık 300\$). Kesin sonuç için bir noktadan kontrol örneklerine ihtiyaç vardır.	Analiz yöntemi basit ve ucuzdur (örnek başına yaklaşık 30\$)
Analizin uygun şekilde yapılabilirdiği laboratuvar sayısı dünyada sınırlıdır.	Çok sayıda laboratuvarı yüksek kalitede analiz yapılabilmektedir.
Çözünmüş gaz içeriği üzerinde etkili çok sayıda süreç nedeni ile sonuçların yorumlanması oldukça güçtür. Sonuçların değerlendirilmesi için bilgisayar yardımı ile karmaşık hesaplama prosedürünün uygulanması gereklidir.	Yeraltısuyu beslenme koşulları açısından değerlendirilmesi iyi bilinmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.
Yeraltısuyu akım dinamiği ile ilgili ekstra bilgiler elde edilebilir. (örn fazla hava etkisi; suda çözünmüş gaz içeriğinin değişimi değişen beslenme dönemi ve/veya yükseltisi ile ilişkilendirilebilir.)	Birçok durumda farklı yeraltısuyu akım mekanizmalarının ayırt edilmesi oldukça güçtür.

Çizelge 1’de verilen özet karşılaştırma dikkate alınırsa çalışılan yeraltısuyu sisteminde asal gazlar kullanılarak yeraltısuyu akım dinamiği açısından bilgi edinmek amaçlanmıyorsa bölgeye ait sıcaklık-yükselti ilişkisine dayanan duraylı izotop (¹⁸O) yönteminin kullanılması daha pratik ve ekonomiktir.

¹⁸O Yaklaşımı ile Beslenme sıcaklığı tahmini ve Aladağ Karstik Kaynakları örnek uygulaması

Yeraltısuyunun ¹⁸O içeriğinin beslenme sıcaklığı açısından değerlendirilmesi için ¹⁸O-hava sıcaklığı ilişkisinin belirlenmesi gerekir. Bu ilişki ile hesaplanan beslenme sıcaklıklarına karşılık gelen beslenme yükselteleri ise hava sıcaklığının kot ile değişiminden hareket ile belirlenir. Bu ilişkiler çalışma alanı çevresindeki gözlem istasyonlarına ait meteorolojik ve izotopik parametreler kullanılarak elde edilebilir. Yağışın izotopik ve fiziksel özellikleri IAEA’nın GNIP veri tabanından sağlanmıştır (<http://www.iaea.org.inis>). Ankara, Adana ve Antalya istasyonlarının 1963-2001 arasındaki uzun dönem gözlemleri GNIP veri tabanından derlenmiştir. İstasyon verilerinden yağış ağırlıklı ¹⁸O içerikleri ile istasyonda ölçülen hava sıcaklığı kullanılarak ¹⁸O-Sıcaklık ilişkisi oluşturulmuştur. İstasyon verilerinden uzun dönem ortalamaları hesaplanırken sadece yeraltısuyu beslenimine katkının olduğu aylara ait gözlemler dikkate alınmıştır. Bu durumda Aladağ karstik akiferi için Temmuz, Ağustos ve Eylül ayı ölçümleri ortalamalara dahil edilmemiştir. Yağış ağırlıklı ¹⁸O ve ortalama hava sıcaklığı değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Aladağ karstik akiferi kaynakları beslenme sıcaklığı hesaplaması için kullanılan eşitlik (Eşitlik 1) ise Çizelge 2’deki veriler kullanılarak elde edilmiştir.

Çizelge 2: 1963-2001 yılları için yağış ağırlıklı yıllık ortalama ^{18}O değerleri (Temmuz, Ağustos, Eylül ayları hariç) ve yıllık ortalama hava sıcaklığı

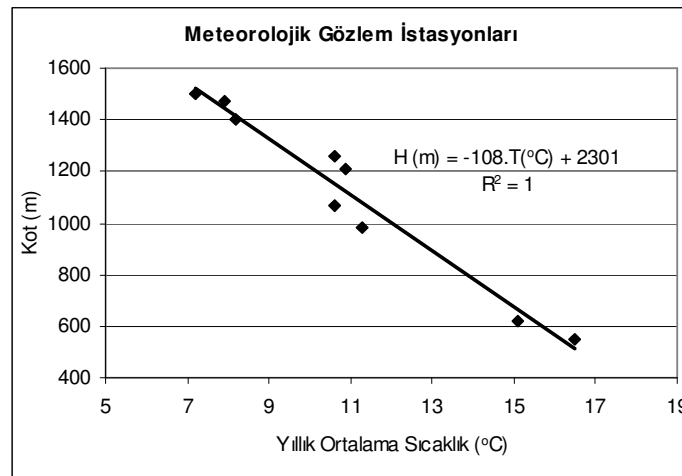
	18O (‰)	Sıcaklık (°C)
Ankara	-8.84	8.51
Adana	-5.44	15.49
Antalya	-5.73	15.46

$$d18O = 0.4673 \cdot T(^{\circ}\text{C}) - 12.817 \quad r^2 = 0.99 \quad (1)$$

Beslenim yükseltisi hesaplaması için çalışma alanı çevresindeki dokuz meteoroloji istasyonunun yıllık ortalama hava sıcaklıkları ve istasyon kotları kullanılmıştır (Çizelge 3). Verileri kullanılan meteoroloji istasyonları 549-1500m kot aralığındadır. Ancak Aladağ karstik akifer sistemini içeren çalışma alanının ortalama yükseltisi yaklaşık 2000m'dir. Bu durumda 1500m ye karşılık gelen 7.4°C altındaki sıcaklıklar içinde bu ilişkinin geçerli olduğu Kabul edilmiştir. Yıllık ortalama hava sıcaklığının yükseklik ile değişimi Şekil 1'de verilmiştir.

Çizelge 3. Meteoroloji istasyonlarında ölçülen yıllık ortalama hava sıcaklığı ve istasyon kotları.

Meteoroloji İstasyonu	Sıcaklık °C	Yükselti M
Feke	15.1	620
Sarız	7.2	1500
Tomarza	8.2	1400
Pınarbaşı	7.9	1470
Kayseri	10.6	1068
Kahramanmaraş	16.5	549
Kırşehir	11.3	985
Nevşehir	10.6	1260
Niğde	10.9	1208



Şekil 1 Yıllık ortalama hava sıcaklığı kot ilişkisi.

Aladağ Karstik Akifer sistemi için oluşturulan bu eşitlikler için ^{18}O yaklaşımının hassasiyeti $\pm 0.2\%$ $\delta 18\text{O}$ analitik ölçüm hatası için beslenme sıcaklığı için $\pm 0.43^\circ\text{C}$ ve beslenme yükseltisi için $\pm 46\text{m}$ 'dir. Aynı eşitlikler kullanılarak kaynaklara ait örneklerinin ^{18}O içeriklerinden hareket ile hesaplanan beslenme sıcaklık ve yükseltileri Çizelge 4 ve Şekil 2 'de verilmiştir.

Örnek Hesaplama

Soğukpınar kaynağının ölçülen ^{18}O içeriği -11.361% 'dir. Belirlenen sıcaklık 18O ilişkisi ($d18\text{O} = 0.4673 \cdot T(^{\circ}\text{C}) - 12.817$) yardımı ile

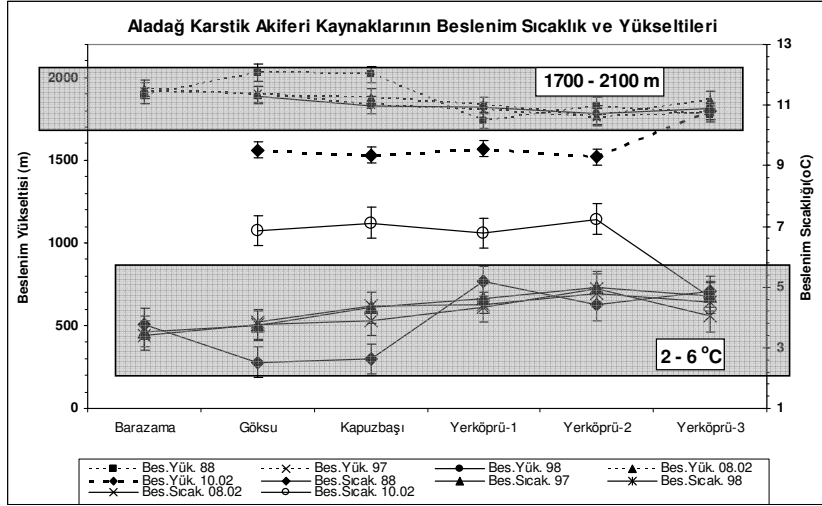
$-11.361 = 0.4673 \cdot T - 12.817$ Soğukpınar kaynağı için beslenme sıcaklığı **3.12°C** olarak hesaplanır.

Beslenme sıcaklığının belirlenmesinin ardından bölgeye ait sıcaklık yükselti ilişkisi kullanılarak ($H(m) = -108 \cdot T(^{\circ}\text{C}) + 2301$) $H(m) = -108 \cdot 3.12 + 2301 =$ **1964 m** beslenme yükseltisi hesaplanmış olur.

Hesaplana beslenme sıcaklığı ve yükseltisinin kontrolü kaynak boşalım kotu ve kaynak boşalım sıcaklığı ile karşılaştırılarak yapılır. Beslenme sıcaklığın, boşalım sıcaklığından düşük olması beklenirken beslenme yükseltisinin boşalım yükseltisinin üzerinde olması gerekmektedir.

Çizelge 4: Aladağ Karstik Akiferi kaynakları için ^{18}O kullanılarak hesaplanan Beslenme Sıcaklık ve yükseltileri.

	$\delta 18\text{O} (\text{‰})$	Kaynak boşalım kotu	Kaynak boşalım sıcaklığı	Beslenme Sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	Beslenme Yükseltisi (m)
Soğukpınar	-11.361	1800	4.43	3.12	1964
Göksu	-11.054	650	7.72	3.77	1893
Kapuzbaşı	-11.002	750	7.45	3.88	1882
Yerköprü-1	-10.787	800	13.93	4.34	1832
Yerköprü-2	-10.511	750	13.81	4.93	1768
Yerköprü-3	-10.931	450	15.11	4.04	1865
Bademdere	-11.811	1200	6.54	2.12	2072



Şekil 2.50. 1988-2002 döneminde bölgesel akım yolu kaynaklarında ^{18}O yöntemi ile hesaplanan beslenme sıcaklık ve yükseltleri.