

Yeraltısularında Emniyetli Verim

Orhan DUMLU
Jeoloji Mühendisi

ÖZET

Ülkemizde, son yıllarda yeraltısuyu işletme alanlarında olumsuz gelişmeler olmuş, yeraltısuyu seviyelerinde beklenmeyen düşümler gözlenmiş, bazı göller ve sulak alanlar kurumuş, bazı akiferlerde ise tuzlanma ve atık sulardan kirlenme nedeni ile kullanılabilir su potansiyellerinde azalma olmuştur. Bu gelişmelerin ağırlıklı nedenleri, kuraklık, aşırı çekim ve emniyetli verimin tanınmasındaki eksikliklerdir.

Bu çalışmada, yeraltısuyu işletmesi planlanırken, emniyetli verimin tanımı ve işletmesine ilişkin uyulması gereken kurallar üzerinde durulmuştur.

GİRİŞ

Yeraltısuları, kendini yenileyebilen en önemli yeraltı kaynaklarından biridir. İşletme esnasında, kurallara uyulması halinde sonsuza kadar bu kaynaktan yararlanılabilir. Bunun için bir yılda yeraltısuyundan çekilebilecek su miktarı, birçok araştırmacı tarafından araştırılmış ve emniyetli verim tanımı ortaya çıkmıştır.

EMNİYETLİ VERİMİN TARİHÇESİ

Fetter (1994), "Applied Hydrogeology" kitabında Lee (1915)'nin emniyetli verimi, depolanmış

yeraltısuyu rezervuarından hiçbir tehlike oluşturmadan, devamlı olarak çekilebilecek su olarak tanımladığını, bunun için beslenmeden daha az su çekilmesini önerdiğini, Meinzer (1923)'in, su çekiminin ekonomik olmasından söz ettiğini, Conkling (1946)'in su kalitesinin korunmasını ve özellikle deniz suyu girişimine neden olmamasını belirttiğini, Banks (1953)'in yasal sorunlar yaratmaması ve çevrede bozuşmaya ön ayak olmamasını ve Collins (1972)'in akarsulardan (dolaylı) su çekimi ile akarsu ve göllerdeki seviye düşümü olmamasını önerdiklerini ifade etmektedir. 1959 yılında Todd, emniyetli verimi, istenmeyen sonuçlar yaratılmadan, çekilebilecek su miktarı olarak tanımlamıştır. kurumasını), 1977 yılında Bower, su çekimi nedeni ile oluşabilecek seviye düşümlerini, zemin oturmaları nedeni ile pipeline larda tahribata neden olabileceği için "istenmeyen sonuçlar" listesine eklemiştir. Nitekim Kaliforniya'da serbest akiferlerde yeraltısuyu seviyesindeki düşümler sonucu 0.4-1.5 feet/yıl, basınçlı akiferlerde ise piezometrik seviyedeki 25 feet düşümün 1 feet oturmaya neden olduğu belirlenmiştir. Sonuçta emniyetli verimin yalnız jeologlar tarafından değil aşağıdaki mesleklerden uzmanların da katılacağı bir komisyon tarafından kararlaştırılması önerilmektedir.

- a) Ekonomist
- b) Jeoloji-İnşaat- Çevre Mühendisleri
- c) Hukukçu
- d) Ekoloji Uzmanı

Todd (1959), Hill yöntemine göre, bir ovada çeşitli çekimler sonucu oluşan seviye düşümlerini ölçmüş, belirlenen en uygun düşüme karşıt olan uygun verimi bulmuş, bu verim aşıldığında akiferde istenmeyen ilave düşümler oluştuğunu göstermiştir. Bunun anlamı beslenmeden küçük olmak koşulu ile her çekime karşı su seviyesi belli bir seviyeye düşer ve en uygun seviye düşümü emniyetli verimi tayin eder. Emniyetli verim kadar su çekildiğinde orijinal su seviyenin değişmeyeceği fikri yanlıştır. Harding yöntemine göre, bir ovada belli bir zaman periyodundaki ortalama yağışın, o ovadaki uzun yıllar ortalaması yağışa eşit olması koşulu ile çekime rağmen ekonomik görülen yeraltısuyu seviyesinde önemli bir değişiklik olmaması ise bu periyot içinde çekilen su miktarının ortalamasını emniyetli verim olarak tanımlamıştır. Simpson yöntemine göre, kıyı akiferlerinde, tuzlanmanın istenmeyen boyutlara ulaşmasını önleyen hidrolik eğimi dikkate alarak emniyetli verimin bulunmasını önermiştir.

Lohman (1972) ise doğadaki dengeyi esas almıştır. Lohman'a göre uzun zamanda beslenme (Q_{Bes}), boşalmaya ($Q_{Boş}$) eşittir. Akiferden su çekilişinde ($Ç$), beslenmedeki artış (A_{Bes}) olurken boşalmada azalma ($A_{Boş}$) oluşur.

Bu aşağıdaki eşitlikle şöyle tanımlanabilir:

$$Q_{Bes} + A_{Bes} = Q_{Boş} - A_{Boş} + Ç + Ah/dt \quad (1)$$

Ah/dt = Depodaki (Rezervuardaki) zaman içindeki değişimdir.

Doğadaki dengeyi bozmamak için $Ah/dt=0$ ve $Q_{Bes} = Q_{Boş}$ alınırsa

$$Ç = A_{Bes} + A_{Boş} \quad (2) \text{ eşitliği elde edilir.}$$

Uygulamada bunun anlamı, çekilen su ($Ç$) çekim sonucu akiferde görülebilen (yağış ve akıştan) beslenmedeki artış (A_{Bes}) ile boşalmadaki azalıştan ($A_{Boş}$) toplamına eşitse yeraltısuyu seviyesinde düşüm olmaz, doğadaki dengeler ($Q_{Bes} = Q_{Boş}$) korunur ve "istenmeyen sonuçlar" ortaya çıkmaz. Bazı araştırmacılar, boşalmadaki azalışı, yalnız yeraltısuyundan buharlaşmadaki azalma olarak tanımlamıştır. Daha fazla çekimin yeraltısuyu tarafından beslenen akarsu, göl ve kaynakları etkileyebileceği ve bunun da

istenmeyen sonuçlar yaratabileceğini belirlemişlerdir. Ancak, yeraltısuyunun boşaldığı noktadan itibaren kullanma olanağı ortadan kalkıyorsa, bu sınırlama dikkate alınmayabilir. Örneğin,

a) Yeraltısuyu denize veya su kalitesi kötü olan bir akarsuya boşalıyorsa,

b) Boşalma bir bataklığa oluyorsa,

c) Yeraltısuyu, ulusal ekonomiye katkısı olmayan ve özellikle çok su tüketen bitki topluluğu tarafından tüketiliyorsa,

kuyularla yeraltısuyunun seviyesinin düşürülmesi ve doğal boşalımdan su çekimi "istenmeyen sonuçlar" listesinden çıkmaktadır.

AKARSULARDAN SU ÇEKİMİ

Yüzeysel suları bol olan ve akarsulardan su çekiminin "istenmeyen bir sonuç" yaratmadığı ülkelerde, yeraltısuyu çekilirken akarsudan da dolaylı olarak su çekimine izin verilebilir. Örneğin ülkemizde çok uzun yıllar geçmiş olmasına rağmen yerüstü su potansiyelinin yaklaşık yarısı halen denizlere boşalmaktadır. Bu durumda (küçük baraj ve göletleri besleyen akarsular ve kaynaklar dışındaki) büyük miktarda yüzeysel suyu denize boşaltan akarsuların drenaj alanında kuyularla akarsudan dolaylı olarak su çekimi toleransla karşılanabilir. Bu koşullarda (2) eşitliğindeki (A_{Bes}) terimine akarsudan beslenme de eklenebilir. Böylece (2) eşitliğindeki ($Ç$) değeri büyür. Bu nedenle ülkemizde, ovaya yüksek debi ile giren, ovayı drene eden ve terkeden akarsuların bulunduğu ovalarda fazla çekime rağmen yeraltısuyu seviyesinde önemli seviye düşümü gözlenmez (Büyük ve Küçük Menderes vadilerindeki ovalarda olduğu gibi). Bu tip ovalarda, kuyuların akarsuya uzaklığı, akarsudan çekilen su miktarını etkilediğinden kesin emniyetli verim miktarından bahsedilmemektedir. Küçük baraj veya göletleri besleyen akarsu vadilerinde akarsudan kuyularla dolaylı su çekilmemeli, çekim, buharlaşma miktarı ile sınırlı olmalıdır.

YERALTISU SEVİYESİNİN DERİNDE OLDUĞU AKİFERLER

Statik su seviyesi çok derinde ise yeraltısuyundan buharlaşma olmaz. Yeraltısuyu işletmesi sonucu su seviyesi alçalsa da (zaten olmadığı için) buharlaşmadan azalma olmaz. Benzer şekilde statik seviye çok derinde ise düşen su seviyesi beslenmede artış sağlamaz. Bu durumda (1)

eşitliğinde $Q_{Bes} = Q_{Boş}$ ve $A_{Bes} = A_{Boş}$ alınır,

$Ç = Ah/At$ (3) elde edilir.

Bunun anlamı ($Ç$) değeri ne olursa olsun (beslenmeden küçük de olsa) yeraltısuu işletmesi halinde bu akiferlerde yeraltısuu seviyesi düşer veya yeraltısuu deposunda azalma olur. Bu ise ayrıca boşalma miktarını etkileyeceğinden "istenmeyen bir sonuç" tur. Özellikle boşalım, bir kaynak boşalmı ise ve bu kaynak bir yerleşim ünitesinin su gereksinimini karşılamakta kullanılıyorsa bu alanda yeraltısuu işletmesi düşünülmemelidir. Bazı nedenlerle işletme zorunluluğu varsa, seviye düşümü boşalma noktası kotu ve aktif rezervuar hacmi dikkate alınarak oluşacak düşüm, aşağıda tanımlanan şekilde, kıyı akiferlerindeki gibi tahmin edilebilir.

KIYI AKİFERLERDE YERALTISUYU İŞLETMESİ VE EMNİYETLİ VERİMİN TAHMİNİ

İşletmeye geçilmesi planlanan akiferlerde, ekonomik seviye düşümünün tahmini öncelik kazanır. Bunun için aşağıdaki yöntem kullanılabilir.

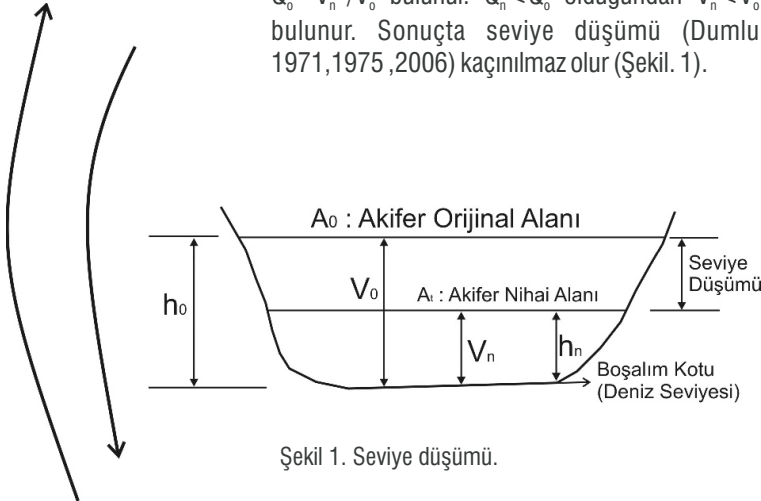
Akiferin uzun yıllar ortalaması boşalmı (Q_0) ile aktif rezervuar (V_0) arasındaki ilişki dikkate alınır. Aktif rezervuar boşalma kotunun (deniz seviyesinin) üstündeki akifer hacmidir.

Serbest akiferlerde

$Q_0 = kV_0^2$ (4) olarak ifade edilir.

Şayet akiferden (kQ_0) kadar ($k < 1$) su çekilirse nihai boşalma $Q_n = (1-k) Q_0$ olur. Bunun için ise nihai aktif rezervuar hacmi (V_n) yukarıdaki eşitlikten

$Q_n = (1-k) Q_0 = \beta V_n^2$ olması gerekir. Buradan $Q_n / Q_0 = V_n / V_0$ bulunur. $Q_n < Q_0$ olduğundan $V_n < V_0$ bulunur. Sonuçta seviye düşümü (Dumlu 1971, 1975, 2006) kaçınılmaz olur (Şekil. 1).



Şekil 1. Seviye düşümü.

Bu ilişki boşalma kotu belli akiferlere de uygulanabilir.

Kıyı akiferlerinde tuzlu su kaması uzunluğu ise

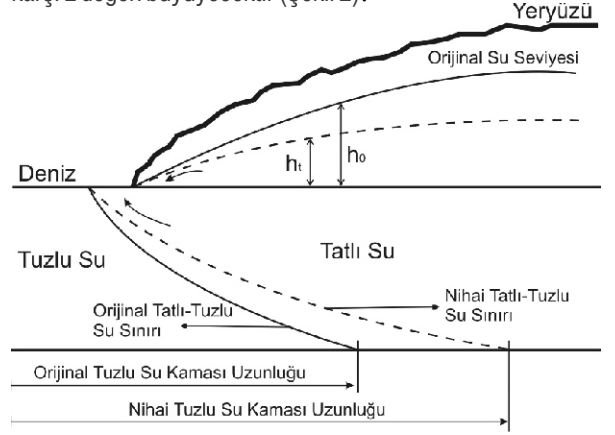
$L_0 = 1/80 \cdot kb^2/q_0$ olarak hesaplanır.

k = Hidrolik geçirgenlik,

b = Akifer kalınlığı,

q_0 = Birim genişlikten boşalan yeraltısuu miktarı

Bu akiferden su çekildiğinde q_0 azalacak, buna karşı L değeri büyüyecektir (Şekil 2).



Şekil 2. Kıyı akiferlerinde seviye düşümü.

Sonuç, kıyı akiferlerden su çekildiğinde, çekilen su beslenmeden az olsa da seviye düşebilecektir. Ayrıca tuzlu su kamasının uzunluğu artacaktır. Emniyetli verim hesaplanırken gerek bu su düşümü, gerekse tuzlu su kamasının yeni uzunluğu dikkate alınmalıdır. Seviyenin ve tuzlu su kamasının uzunluğunun değişmeyeceği fikri hatalıdır. Bundan sonra seviye düşümünün ekonomik sınırlar içinde olup olmadığı kontrol edilir. Sonuç uygun görülüyorsa diğer istenmeyen sonuçlar dikkate alınır. Herhangi bir sorun yoksa, $Q = kQ_0$ emniyetli verim değeri olarak alınır. Aksi halde farklı bir (k) değeri ile işlem yenilenir. Ancak, yine de aşağıdaki gelişmeler emniyetli verimi etkileyebilir.

- Yeraltısuu işletmesine geçildiğinde seviye düşülecek, yağış ve akıştan beslenme artacak, buharlaşma azalacaktır.
- Yüzeysel sularla sulama olursa, sulamadan dönen sular yeraltısuunu besleyecektir.
- Ovada büyük yerleşim merkezleri varsa, su dağıtım şebekesindeki kaçaklar yeraltısuunu besleyebilecektir.



d) Suni beslenme yapılabilecektir.

Dolayısı ile su bilançosu zaman içinde devamlı değişime uğrayabilir. Bu durumda, sık sık su bilançoları yapmak ve buna paralel emniyetli verim hesaplamak pratik değildir. Bunun yerine istenmeyen sonuçları dikkate alınarak, önceden planlanan nihai su seviyesini (kırmızı hat kabul edilerek), korumak yerinde olacaktır. İlave beslenmeler, yükselen nihai su seviyesi nedeni ile (drenaj gibi) istenmeyen bir sonuç ortaya çıkıyorsa ilave su çekimleri ile nihai seviyenin konumu korunur. Bu uygulama aynı zamanda tatlı-tuzlu su sınırının konumunu da koruduğu için tercih edilmelidir. Bu yöntem İsrail'de kullanılmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Emniyetli verim bulunurken aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır.

a) Uzun yıllara ait su bilançolarından yararlanılmalıdır. Bir yıla ait bilançolara dayanarak emniyetli verim bulunması sakıncalıdır. Çünkü aktif rezervuarı büyük akiferlerde, boşalım aktif rezervuar hacmi ile orantılıdır. Aktif rezervuar ise yalnız inceleme yılının değil, önceki yıllardaki yağışın da etkisi altındadır. İnceleme yılındaki yağışın normalin üstünde olması boşalımın da normalin üstünde olmasını gerektirmez. Mutlaka önceki yıllara ait yağış değerlerinden yararlanılarak hazırlanan ortalama yağıştan

eklenik sapma grafiklerinden yararlanılmalıdır. Ayrıca her yıl beslenmenin boşalmaya eşit olması gerekmez.

b) Öncelikle ,çeşitli yeraltısuyu çekimleri ve bunlara karşı gelen düşümler, ekonomik olabilecek düşüm ve buna karşı gelen yeraltısuyu seviyesi araştırılmalıdır.

Su kalitesinin korunmasına dikkat edilmelidir. Kıyı akiferlerinde, çeşitli su çekimine karşı gelen tuzlu su kaması uzunlukları hesaplanmalıdır. Akifer içinde istenmeyen kalitede su içeren alanlar da dikkate alınmalıdır

Yasalar dikkate alınmalıdır (çevredeki kaynak ve akarsuların debisini etkileme gibi). Çevrenin korunmasına dikkat edilmelidir. (su seviyesinin aşırı düşmesine bağlı zemin oturması sonucu karayolları, su kanalları, bina ve pipelinelerin zarar görmesi, göllerde seviye düşümü)

Ekoloji (Su çekimi sonucu sulak alanların kuruması dolayısı ile bitki ve hayvanların zarar görmesine izin verilmemelidir.)

c) Küçük akarsular üzerinde kurulmuş baraj veya göletlerin, bu akarsulardan dolaylı olarak yeraltısuyu çekiminden etkilenmemesi için yeraltısuyu çekimi yeraltından buharlaşma ile sınırlandırılmalıdır.

d) Büyük bir debi ile ovaya giren, ovayı drene eden ve terkeden akarsuların bulunduğu ovalarda



emniyetli verim, akarsudan beslenme dikkate alınmadan hesaplanan emniyetli verim miktarı ile kontrol edilemez ve işletmeye kapatılamaz. Bu emniyetli verim,

Akarsudan su çekiminin yasal olmaması,

Akarsuyun kuruması

Akarsuyun kirlenmiş olması halinde geçerli olabilir.

Örneğin B.Menderes havzasındaki ovaların emniyetli verimi yalnız yağış ve akıştan beslenme dikkate alınarak hazırlanan bilançoya dayanarak hesaplanmış ise çekimin, bulunan emniyetli verimi aşması halinde ovaların işletmeye kapatılması gerçekçi olamaz. Bu tip akiferlerde kuyuların akarsuya uzaklığı akarsudan çekimi etkilediği için emniyetli verimin tanımı da tartışmalıdır.

e) Suni beslenme, yüzeysel sularla sulamadan dönen sulardan beslenme ve akiferlerin üzerinde yer alan yerleşim birimlerindeki su şebekesi kaçaklarından beslenme veya işletme halinde yeraltısuyu seviyelerindeki düşümler sonucu artan doğal beslenme yeraltısuyu bilançolarında devamlı bir değişime neden olabilir. Bu nedenle, genellikle işletme öncesi yapılan bir yıllık bilançoya dayanarak bulunan emniyetli verimi, değişmez değer olarak ilan etmek de sakıncalıdır.

f) Yeraltısuyu kanununa dayanarak belgesiz yeraltısuyu çekimi önlenmelidir. Yalnız kuyu açtıranlar değil açan firmalarda sorumlu tutulmalıdır. Belgeli kuyulardan çekilen su (örneğin su saatleri kullanarak) kontrol edilmelidir.

g) Özellikle yeraltısuyu seviyesi derinde olan akiferlerde işletme esnasında yeraltısuyu seviyesinin düşümünü, fazla çekim saymak ve emniyetli verimi bu şekilde kontrol etmeye çalışmak hatalıdır (Freze ve Cherry, 1979).

h) Emniyetli verimi arttırmak için geri kalan 2

seçenek; suni beslenme ve komşu havzalardan su getirilmesi olabilir.

1) Yukarıda verilen kuralları dikkate almadan herhangi bir etüt yılına ait beslenme veya boşalmanın peşinen %60-%80'ini alarak emniyetli verimin bulunması çok tartışmalıdır. Özellikle bu şekilde hesaplanan emniyetli verim kadar su çekildiğinde;

1) Su çekimi öncesine ait su seviyesinin ve su bilançosunun değişmeyeceğine,

2) Su çekiminin düşüme rağmen daima ekonomik sınırlar içinde kalacağına,

3) Su kalitesinde bozulma olmayacağına,

4) Yeraltısuyu tarafından beslenen akarsu ve kaynakların debilerinde azalma olmayacağına, göllerde su seviyesi düşmeyeceği ve kurumayacağına,

5) Sulak arazilerin zarar görmeyeceğine,

6) Seviye düşümüne paralel olarak işletme alanında zemin oturmalarının olmayacağına inanmak mümkün değildir.

KAYNAKLAR

Bouwer, H., 1978, Groundwater Hydrology, Mc. Graw Hill co.

Dumlu, O., 1971, Decline of water level in a exploitation area, IAH congress, Tokyo.

Dumlu, O., 1975, Müstakbel su seviyesinin tahmini, DSİ Teknik Bülteni, No:55, Ankara.

Dumlu, O., Yalçın, T. Bozkurtoğlu E. 2006. Yeraltısuyu jeolojisi ve hidroliği. Literatür yayıncılık. İstanbul.

Fetter, C.W., 1994, Applied Hydrogeology, Prentice Hall, New Jersey.

Freeze, R.A., Cherry, I.A., 1979, Groundwater prentice Hall in New Jersey.

Lohman, W., 1972, Groundwater Hydraulics, US Professional paper, 708. Washington

Todd, D.K., 1959, Groundwater Hydrology, John Wiley, N.Y.