

BÖLÜM 12 SU DÖNGÜSÜ VE YERALTI SUYU (HYDROLOGIC CYCLE AND GROUNDWATER)

GİRİŞ

Su bilimi (hidroloji), karasal ortamın üzerinde ve içindeki suyun hareket ve özelliklerini inceleyen bilim dalıdır. Akarsularda hareket eden su ile buzullardaki buz, erozyonu yaratan ve karaları şekillendiren başlıca unsurdur. Kayaçların ve toprağın içindeki mineralleri eritmede ve çözülmüş maddeleri taşımada etken olan su, bozunmanın en önemli aktörüdür. Su birikerek depolanmakta, ve ayrıca kütle hareketlerinin tetiklenmesine kaydırıcı rolü ile neden olmaktadır. Magmatik kütleler veya okyanus ortası sırtlarda dolaşan sıcak sularla çeşitli hidrotermal maden yatakları oluşmaktadır.

Bu bölümde, yerkünün üzerindeki ve içindeki sular incelenecektir. İnsanın birkaç gün sussuz kalamayacağı, ve en dayanıklı çöl bitkilerinin dahi bir miktar suya gereksinim duydukları düşünülürse, suyun ne kadar hayati bir önem taşıdığı anlaşılır. Modern dünyanın su talebi çok yüksektir. Bu talep, ABD için 1950'den 1990'a kadar yaklaşık olarak on misli artmıştır. Talebin bu şekilde artarak gidemeyeceği daha sonra göreceğimiz gibi açıktır.

Sınırlı su kaynaklarına olan gereksinmemiz arttıkça, su bilimi de önemini arttırmaktadır. Hem bu kaynakları korumak hem de gereksinmelerimizi karşılamak için, suyu nerede bulacağımızı bilmek kadar, suyun nasıl yenilendiğini bilmekte gereklidir. Ancak bu şekilde, ileride su gereksinmelerimizi bozmayacak şekilde suyu kullanabiliriz.

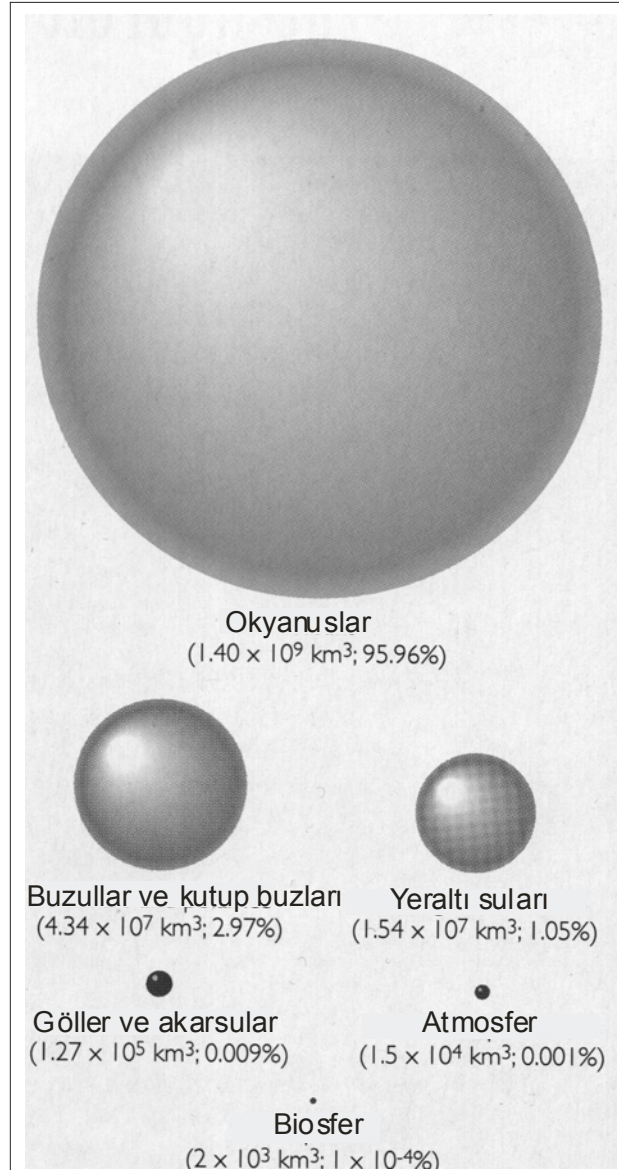
AKIŞ VE REZERVUARLAR (FLOW AND RESERVOIRS)

Hepimiz yeryüzünde akarsuların taşıdıkları suyun hareketini, ve göl ve denizlerde toplanan suları görmüşüzdür. Görmesi zor olan, göl ve denizlerden buharlaşan suların atmosferde toplanması ile yağış olarak düşen suların yeraltına sızarak buralarda birikmesidir. Suyun bulunduğu her ortam bir rezervuar (depolanma, birikme alanı) sayılır. Bu alanlar, okyanuslar, buzul ve kutup buzları, yeraltı suları, göl ve nehirler, atmosfer ve biyosferdir (Şekil 12.1). En büyük kütleyle sahip olan okyanuslardır. Yeraltı suları, göl ve

akarsulardan daha fazla miktarda su bulundurmasına karşın, çok miktarda çözülmüş malzeme içermeleri dolayısı ile bunların büyük bir kısmı kullanışsızdır.

Ne kadar su mevcut ?

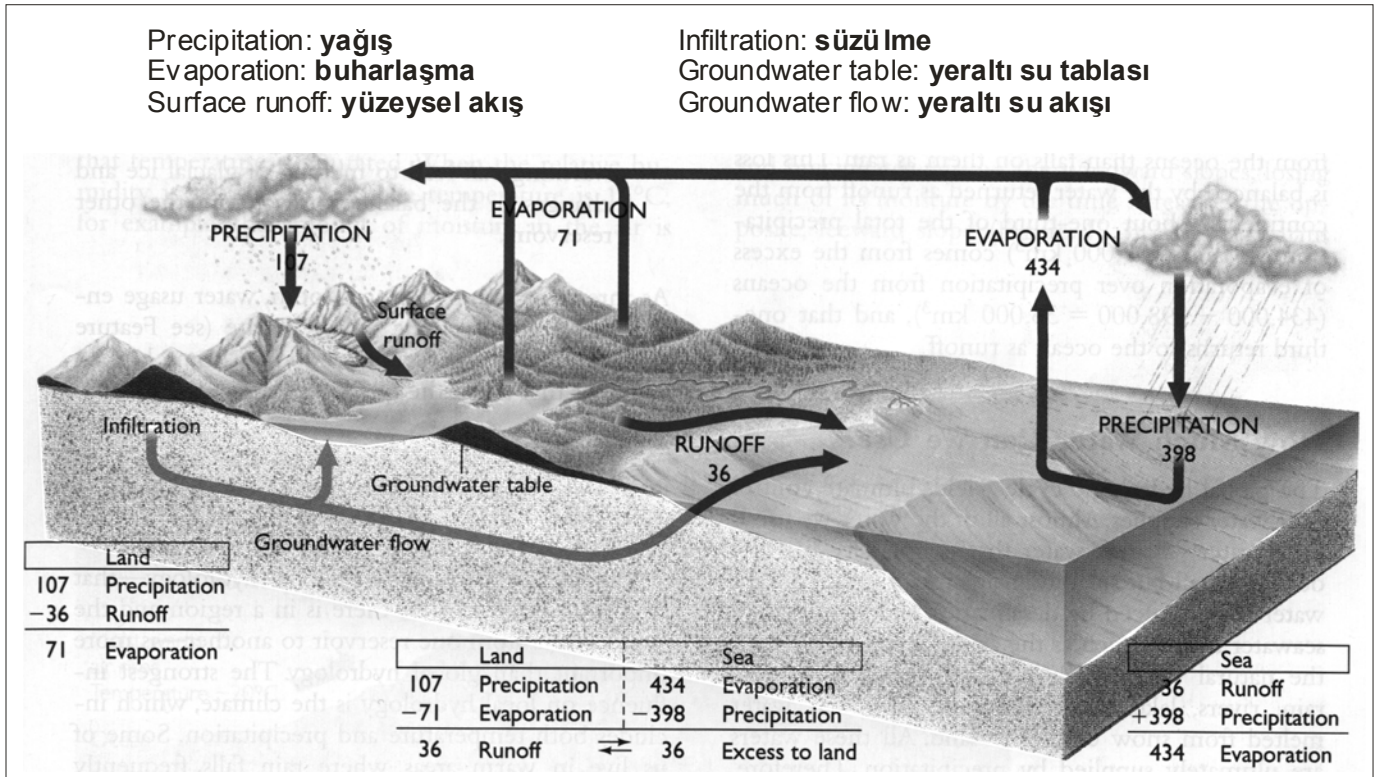
Dünyanın su arzı, 1.46 milyar kilometre küp gibi büyük bir miktardadır. Bu suyun hepsi karalar üzerine yayılsa idi, ABD'nin 50 eyaleti de 145 metre kadar suyun altında kalırdı. Bu miktar sabittir, ve araştırmalar, dünyadan – uzaya - giden veya dünyaya gelen su miktarının önemli olmadığına işaret etmektedir.



Şekil 12.1. Suyun dünyadaki dağılımı.

Su döngüsü (hydrologic cycle)

Suyun yeryüzünde, buharlaşma, yağış, yeraltına süzülme, kaynak ve akarsu olarak tekrar çıkma, bir göl veya denize akma vs gibi hareketlerine su döngüsü denir (Şekil 12.2). Bu hareketlerle su bir rezervuardan diğerine taşınır, veya aktarılır. Bu hareketlerde su üç halde de (katı, sıvı veya gaz) bulunabilir. Şekil bize, kara ve denizler arasındaki su alışverişinin dengeli olduğunu göstermektedir. Denizlerde (okyanuslarda) yağıştan daha fazla buharlaşma olur (farkı 36 birim). Bu karalardaki buharlaşmaya göre daha fazla olan yağışın yüzeysel akışla (runoff) denizlere ulaşan su miktarı ile (36 birim) dengelenir. Karalarda yağışın bir kısmı da yeraltına süzülerek (infiltration) yeraltı suyunu besler ve bitki kökleri tarafından emilir. Terleme (transpiration) ile bu su tekrar bitkilerden atmosfere döner.



Şekil 12.2. Hidrolojik döngü.

Ne kadar su kullanabiliriz ?

Su döngüsü, kullanabileceğimiz su miktarı hakkında bize bilgi verir. Kulanma suyu, tuzlu olmayan, tatlı su olacaktır. Orta Doğu'da tuzlu suyun tuzunun alınması ile tatlı su elde etme çalışmaları giderek artarak devam etse de, tatlı su teminimiz hala yağış, akarsular, bazı yeraltı suları, ve karadaki kar ve buzun erimesi ile oluşan sulardan olmaktadır. Tüm bu sular yağışla beslenmektedirler. Bu durumda, pratik olarak kullanabileceğimiz su miktarının sınırı, karalara düşen devamlı yağış kadardır. Bu devamlılık aynı zamanda bu suyun yenilendiği anlamını da içerir. Bu halde, kaynaklarımızı kirletsek dahi, yağış bu kirliliği zamanla ortadan kaldıracaktır. Fakat bunun yüzlerce hatta binlerce yıl zaman alabileceğini de düşünmek gerekir.

Yağışın buharlaşan kısmını kullanamayacağımız açıktır. Yağışın ancak süzülme ile sızan kısmı bize yararlı olabilir, fakat bu kısmın da kuyularla alınabilir olması gerekir. Suyun en kolay alınabilen kısmı ise yüzeysel akış ile ilgili olanıdır.

İnsanın çalışmaları ile bu döngüye ne kadar etki yaptığını anlamak için şu birkaç konuya değinelim:

- Kuru alanlarda sulama yapmak buharlaşmayı artırır;
- Su, kanallarla bir yerden bir diğerine aktarıldığında, yüzeysel akış değişir;
- Yerin yüzeyini karayolları, park alanları, ve binalarla örtmek süzülmeyi engeller;

İnsan etkinliğinin genel ve yerel olarak küresel ısınmaya katkısı, buzulların erimesi ile diğer rezervuarların su dengesinin bozulmasına yol açar.

SU BİLİMİ VE İKLİM

İnsanlar, sıcak ve yağışlı, sıcak ve kuru, veya sıcak ve bir dönem çok yağışlı diğer bir dönem çok kuru, ve yağışsız, soğuk ve buzlu ortamların hakim olduğu iklimlerde yaşarlar. Jeologlar, iklimdeki değişikliklerin yağış ve buharlaşma üzerindeki etkisini anlayabilmek için çalışmaktadırlar.

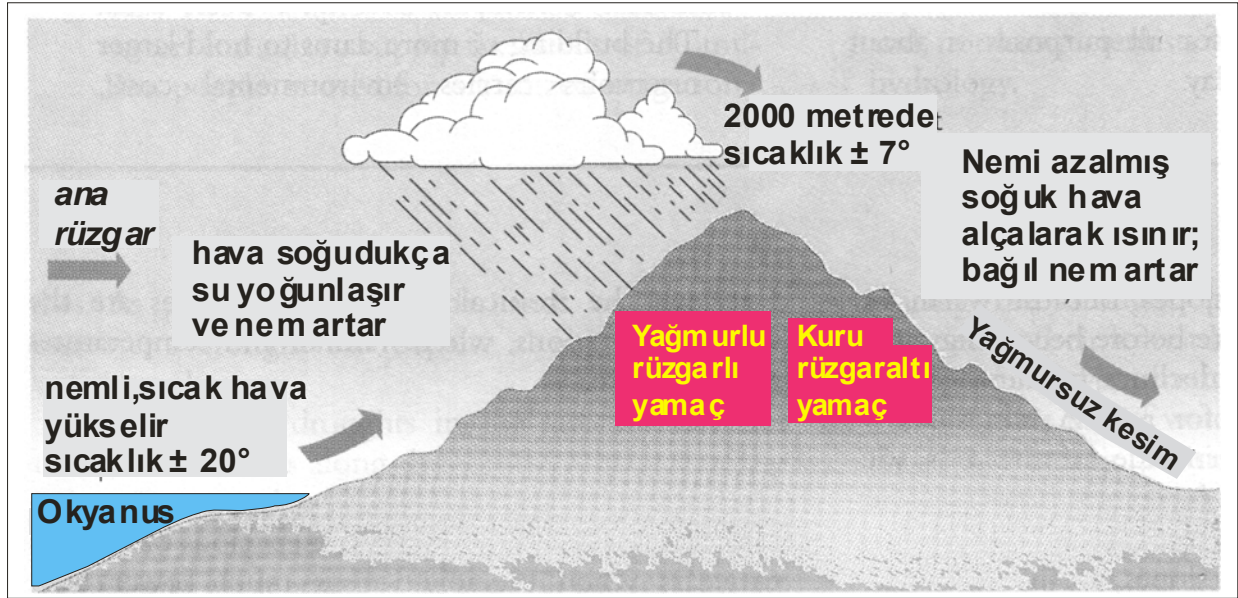
Nem ve yağış

Nem ve yağış, büyük oranda havanın sıcaklığına bağlıdır. Denizlerin üzerindeki hava, buharlaşma ile gelen suyu buhar olarak taşır. Bu su miktarına bağlı nem denir.

Bağıl nem, belirli sıcaklıktaki havanın içerdiği su miktarının, havanın o sıcaklıkta doymun olarak taşıyabileceği asgari su miktarına oranıdır (yüzde olarak). Sıcaklık arttıkça havanın taşıyabileceği su miktarı da artar. Suya doymamış ve belirli sıcaklıkta bir hava kütlesi yeteri kadar soğursa, suya doymun hale gelir ve içerdiği buharın bir kısmı su taneleri haline geçer. Bulutları görünür yapan bu su taneleridir yoksa su buharı içeren hava görünmez. Bu şekilde oluşan bulutlarda yoğunlaşan su miktarı artınca, ve bu su taneleri hava akımları ile askıda tutulamaz hale gelince, yağmur olarak yere düşerler.

Nemli sıcak hava kütleleri, denizden dağlara doğru sürüklendiklerinde, yükselirler ve soğurlar. Bu olay, bu kütlelerin bulutlanmasına ve yağış bırakmasına neden olur. Dağın denize bakan tarafında yağış yapan bu kütleler, su miktarlarının bir kısmını burada bırakır ve dağın öteki taraflarına geçerler. Bu kesimlerde alçalarak ısınırlar ve daha fazla su tutmaya hazır hale gelirler. Diğer bir deyiş ile bu kesimlerde yağmur bırakmazlar. Bu olaya, "yağmur gölgesi" (rain shadow) denir (Şekil 12.3).

Tropikal bölgelere göre, kutup bölgeleri daha kuru olurlar. Kutup okyanuslarının ve üstlerindeki havanın daha soğuk olması, deniz yüzeyinden buharlaşmanın az olmasına ve ve havanın daha az nem tutmasına yol açar. Tropikal ve kutupsal bölgelerin arasında ise ılıman iklim kuşakları uzanır ki, buralarda yağış ve sıcaklıklar daha ortalama değerlerdedir.



Şekil 12.3. Deniz ve dağlar arasındaki yağmur alan kesimlerle, dağın yağmur almayan diğer yamacı.

YÜZEYSEL AKIŞ

Yağıştan yüzeysel akışa geçen miktar, kuru ve sıcak bölgelerde, nemli bölgelere göre daha azdır. Bunun nedeni, az miktarda yağışın buharlaşma ve süzülme ile karşılanmasıdır.

Bazı büyük akarsular, yağışın yüksek olduğu yerlerde doğar fakat kuru iklimli kesimlerden geçerek denizlere dökülebilirler.

Yüzeysel akışın hemen hemen yarısı, 70 büyük nehirle, geri kalanı ise, milyonlarca küçük akarsu ile gerçekleşmektedir.

Yüzeysel akış, doğal göller veya suni barajlarla toplanır. Havzalar ve bataklıklar da akışın depolandığı yerlerdir.

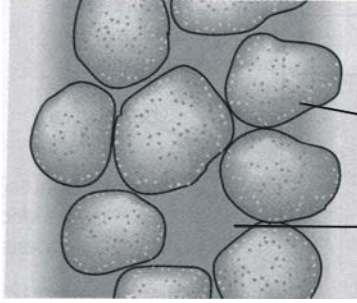
YERALTI SUYU

Yeraltı suyu, yağışın yeraltına süzülerek birikmesi ile oluşur. Yeraltı suyu kuyular açarak ve bulunan su pompalanarak yüzeye çıkarılır. Yeraltı suyunu tutan ve ileten kayaç ortamlarına akifer (aquifer) adı verilir.

Su kaya ve zeminden nasıl geçerek akar ? Su, bu ortamları oluşturan tanelerin arasındaki boşluklardan geçebilir. Bir kumtaşında bu boşlukların tüm kaya hacmine oranı (gözeneklilik) % 30'u bulabilir. Gözeneklilik, taneler arasındaki çimentolanma ile azalır. Kayaç ortamında kırıklanma arttıkça gözeneklilikte artar (Şekil 12.4).

Gözeneklilik suyun bulunması için yeterli olsa da iletimi için yeterli olmayabilir. Kayaç boşluklarında bulunan suyun bir boşluktan diğerine geçebilmesi gerekir. Buna kayacın geçirimsizliği (permeability) denir. İstisnaları olmakla beraber genellikle gözeneklilik arttıkça geçirimsizlik te artar. Bu iki unsurda suyun elde edilmesinde önemli rol oynar. İyi bir akifer, hem gözenekli (ki çok miktarda su tutabilsin) hem de geçirimli (ki tuttuğu suyu kolaylıkla verebilsin) olmalıdır.

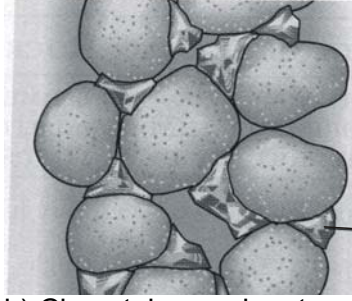
GÖZENEKLİLİK



Kum tanesi

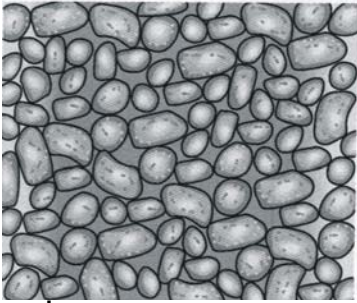
Gözenek boşluğu

a) Gözenekli kumtaşı

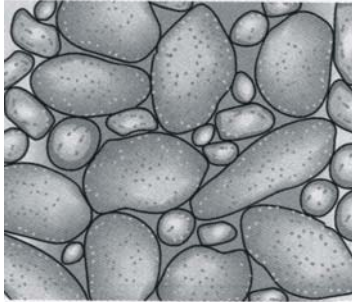


Çimento malzemesi

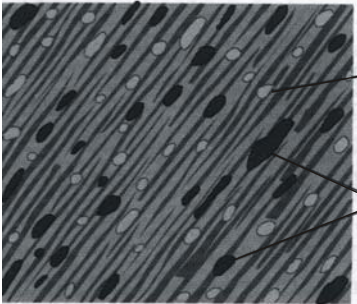
b) Çimentolanmış kumtaşı



c) İnce taneli kumtaşı



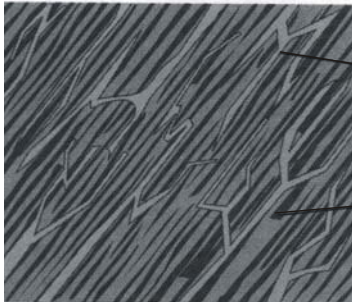
d) Taneleri düzgün şekilli olmayan kumtaşı



Kil ve silt taneleri arasında çok az miktarda gözenek boşlukları

Silt parçaları

e) Kırılmamış şeyl



Çatlaklar arasında az miktarda gözenek boşlukları

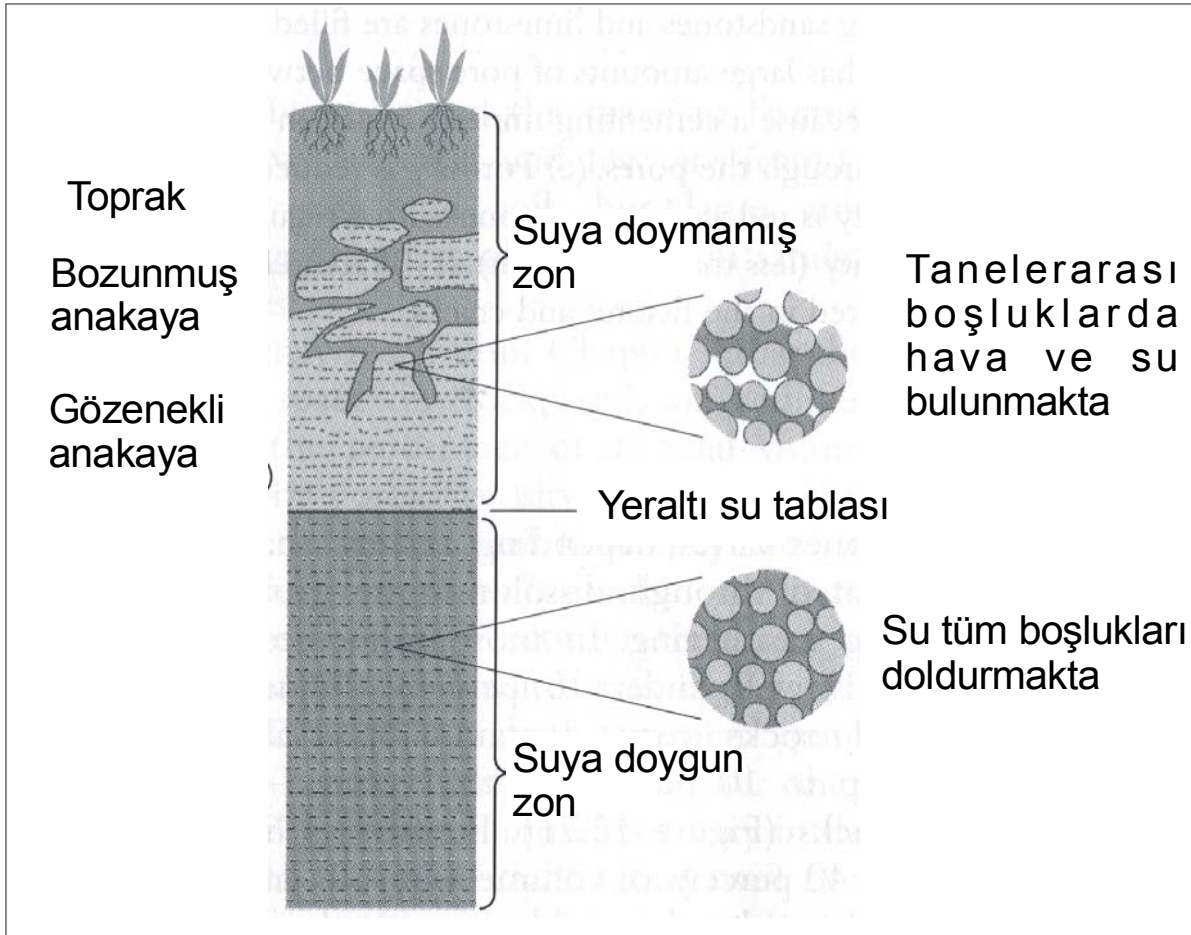
Geçirimsiz kaya

f) Çatlaklı şeyl

Şekil 12.4. Çeşitli kayaçların gözeneklilikleri

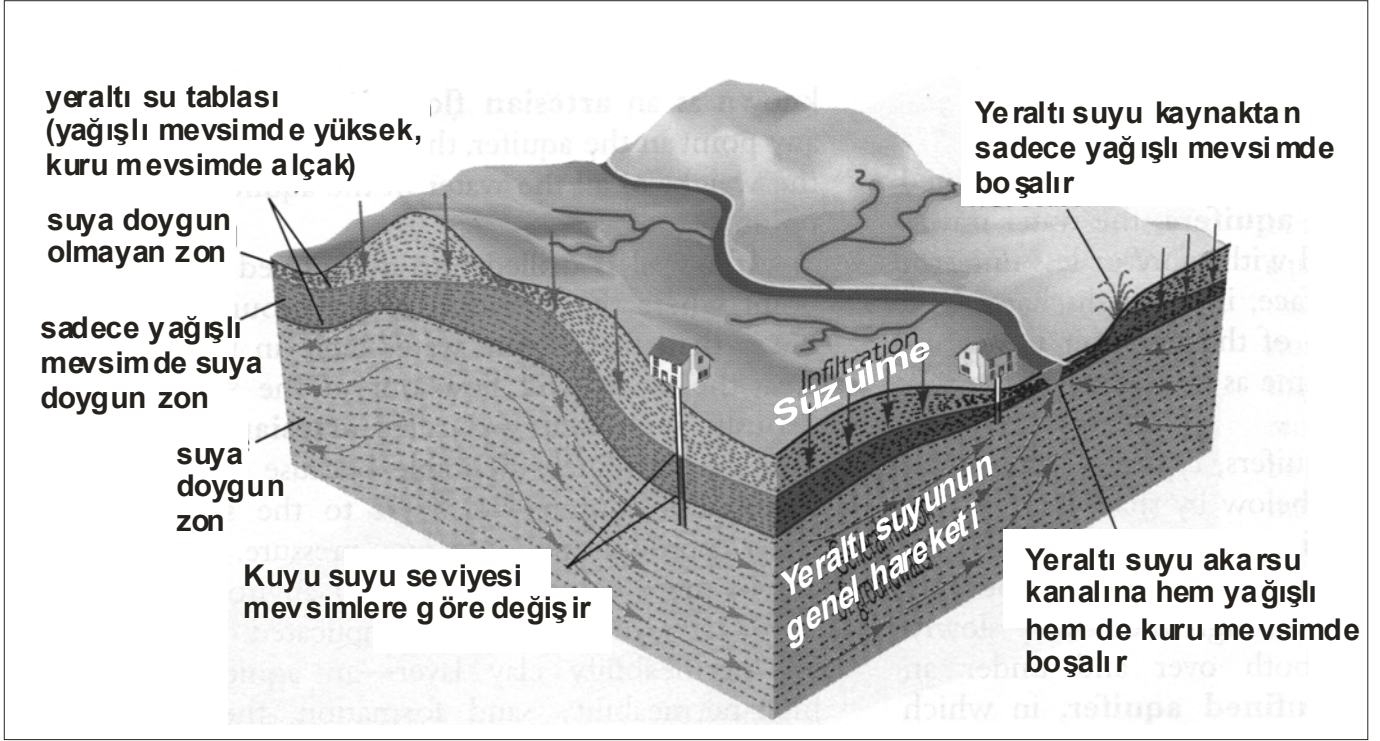
Yeraltı su tablası

Kuyu sondajlarından iyi bilinen bir olgu, sıg kesimlerde suya doymamış, ve boşlukları tamamen suyla doldurulmamış zonların varlığıdır. Bu suya doymamış zonlarda, boşluklar hala hava içermektedirler. Bu zonun altında suya doygun kesim yer alır. Bu iki kesimi birbirinden ayıran alana, yeraltı suyu tablası - kısaca su tablası - adı verilir (Şekil 12.5). Yeraltı su tablasını geçen bir delik kaya ortamına açıldığında su bu deliğe akar ve su tablasına kadar olan bir seviyeye kadar doldurur.

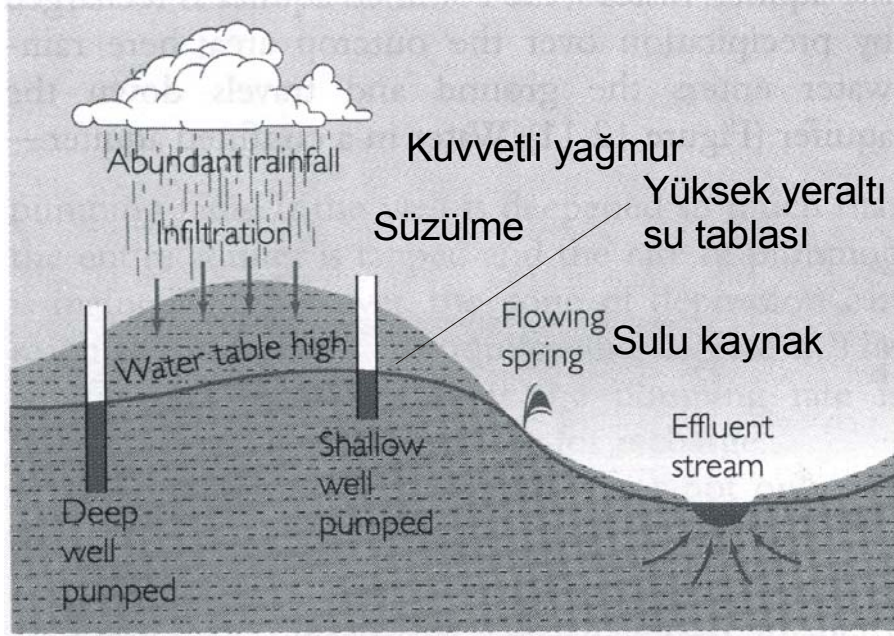


Şekil 12.5. Yeraltı su tablası, suya doymuş ve doymamış kısımların arasında yer alır.

Bir arazi parçasının değişik yerlerindeki kuyularından (pompalama yapılmayan) su seviyelerini ölçersek o arazi parçasının su tablasının haritasını çıkarabiliriz (Şekil 12.6). Su tablası topografik yüzeye az çok paraleldir. Kaynaklar tablanın yüzeye çıktığı kısımlardır. Yerçekimi etkisi ile, su tablasının yüksek olduğu yerlerden alçak olduğu yerlere doğru bir su hareketi vardır.



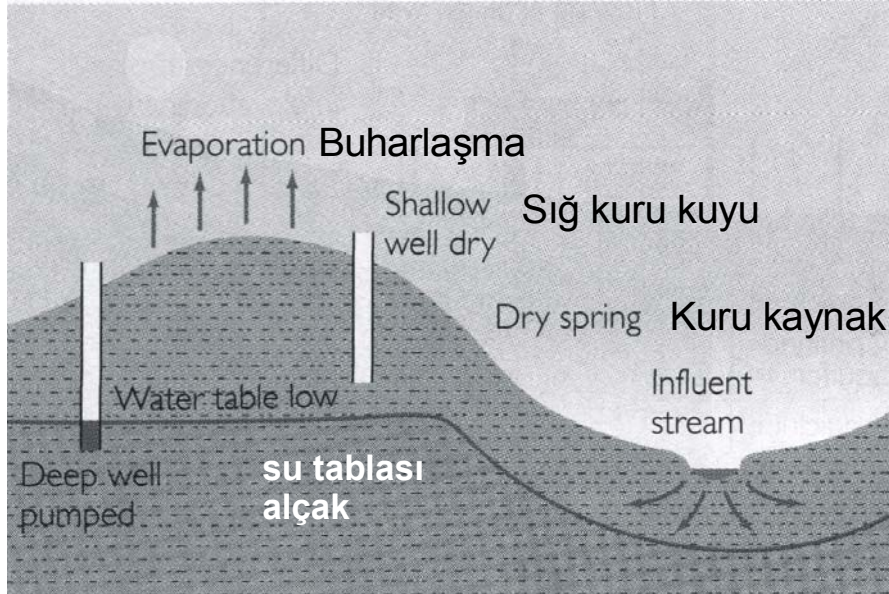
Şekil 12.6. Yeraltı su tablasının (YAST) hareketleri. Su, YAST'na yağmur ve eriyen karla girer, akarsu ve kaynaklarla çıkar. Suyu doymamış zonun kalınlığı, yağışlı mevsimde artar, kuru mevsimde ise azalır.



pompalanan
derin kuyu suyu

pompalanan
siğ kuyu suyu

suyla beslenen
nehir



pompalanan
derin kuyu suyu

akar suyu ile
besleyen nehir

Şekil 12.7. Su tablasının mevsimlerle değişmesi

Su tablasına su, beslenme (recharge) ile gelir ve boşalma (discharge) ile çıkar. Beslenme, süzülen yağmur veya kar sularının yüzeyden aşağıya doğru, kaya ortamı içine hareketidir. Bu bazen bir nehrin taşıdığı suyla da olabilir. Boşalma ise su tablasının suyunun bir akarsuyla karşılaştığı yerde olur. Su, tabladan akarsuya doğru hareket eder ve akarsunun yüzeysel olarak akan suyunun miktarını artırır.

Yeraltı su seviyesi, mevsimin yağışlı olması durumunda beslenme ile artar. Mevsimin kuru olması durumunda ise, seviye azalır. Şekil 12.7'de, yeraltı su tablasının mevsimlere göre değişimi gösterilmiştir.

Artezyen akışları

Bir akifer, suyu daha az geçiren veya hemen hemen geçirmeyen kayaç ortamları (akiklöd, aquiclude) arasında kalırsa, basınçlı bir akifer adını alır (Şekil 12.8). Böyle bir akiferin eğimli olduğu yerlerde ve beslenme alanının altında açılacak kuyulardan çıkan su, kendi kendine ve fışkırarak akar (artezyen kuyu). Pompalama gereksinimi olmadan suyunu veren bu kuyu en arzu edilen kuyu türüdür.

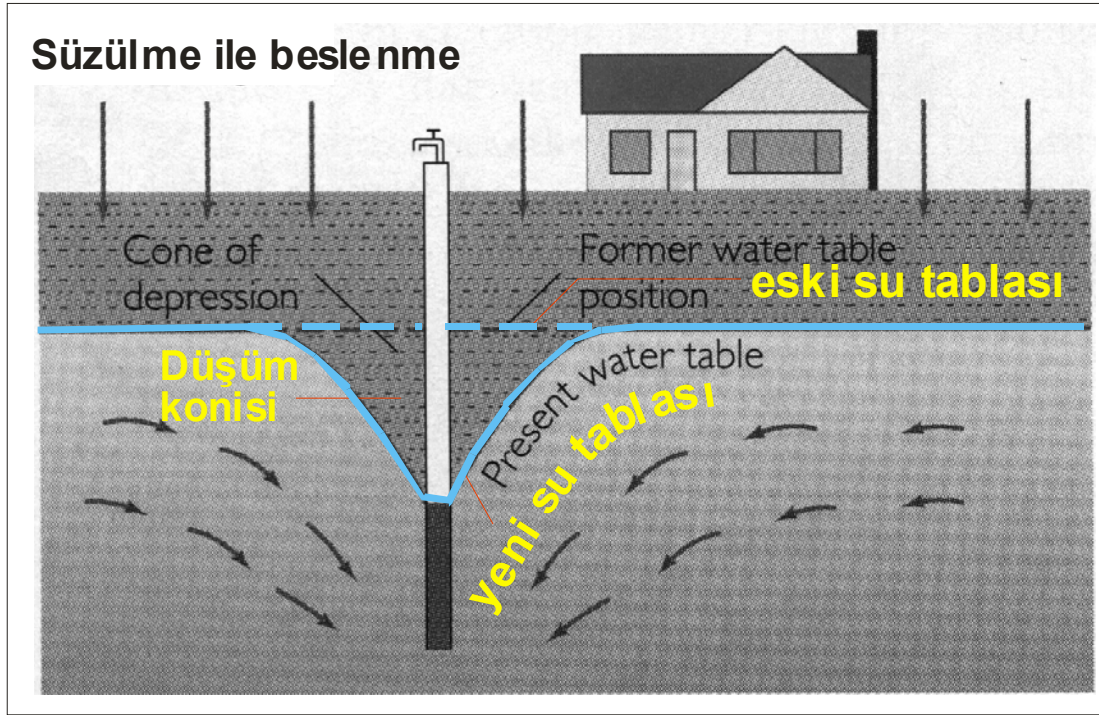


Şekil 12.8. Basınçlı akifer ve artezyen.

Beslenme-boşalma dengesi

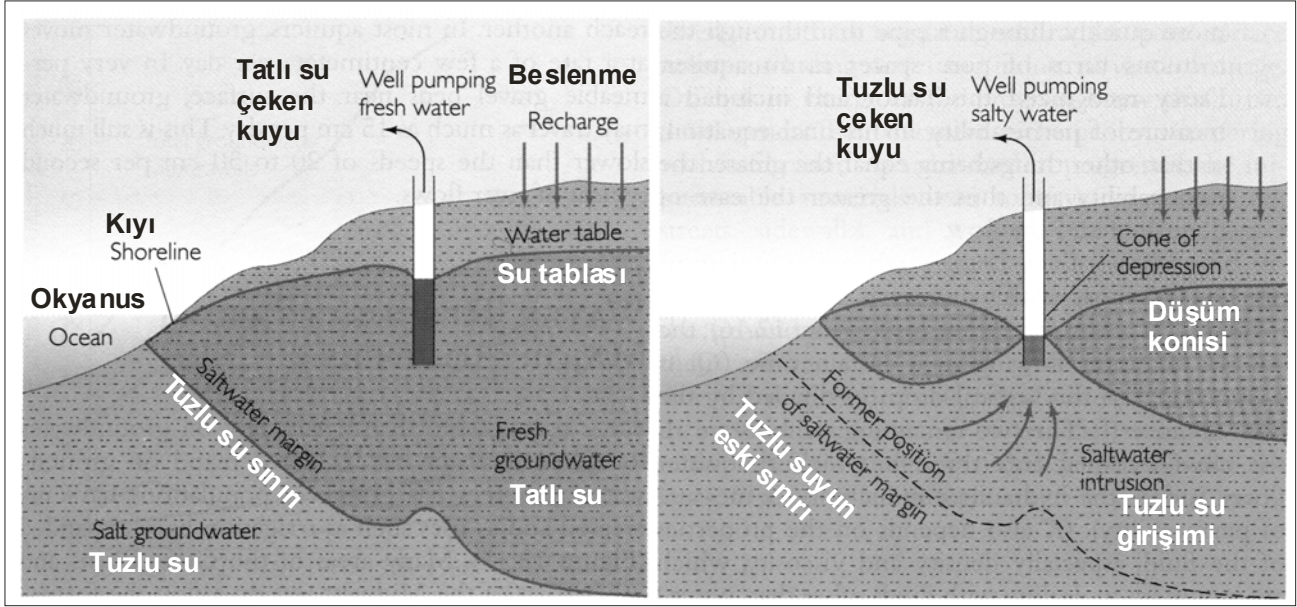
Eğer su tablasına gelen ve çıkan su miktarları eşitse su tablasında bir değişiklik olmaz. Bu değişiklik, genelde yağışlı mevsimde tablanın yükselmesi, ve kuru mevsimde ise azalması şeklinde ve düzenli olarak olur. Kuraklık halinde bu seviye iyice düşebilir.

Bu seviyeyi değiştiren ve insanın etkinliğine bağlı bir özellik, pompa ile çekilen kuyu suyu miktarının artmasına bağlıdır. Eğer çekilen suyun miktarı, akiferi besleyen su miktarından fazla ise, kuyuda bir **düşüm konisi** oluşur (Şekil 12.9). Daha fazla su çekilmesi, ve/veya beslemenin azalması ile kuyu kuruyabilir. Bu sorun, kuyu tabanının daha aşağılara çekilmesi ile çözümlenebilir. Daha fazla su çekilmesi ise akiferin tamamen kurumaması ile sonuçlanabilir. Çok su çekilen havzalarda oluşabilecek bu olayın geriye dönülemez sonuçlarından biri, suyun çekilmesi ile ortamda susuz kalan akifer kayaç tanelerinin sıkışması ve boşluklarının azalmasıdır. Bu, sözkonusu ortama tekrar su "basma" ile de çözülemeyecek bir durumdur. Bu tür havzalarda ayrıca, boşluk azalması ile önemli miktarlarda zemin oturması ile (metreler boyutunda) ve zeminde büyük çatlakların oluşur. Böyle durumlara düşmemek için pompaj miktarlarının azaltılması gerekir.



Şekil 12.9. Kuyudan çekilen su, yeraltı suyunun beslenmesinden fazla ise bir düşüm konisi oluşur.

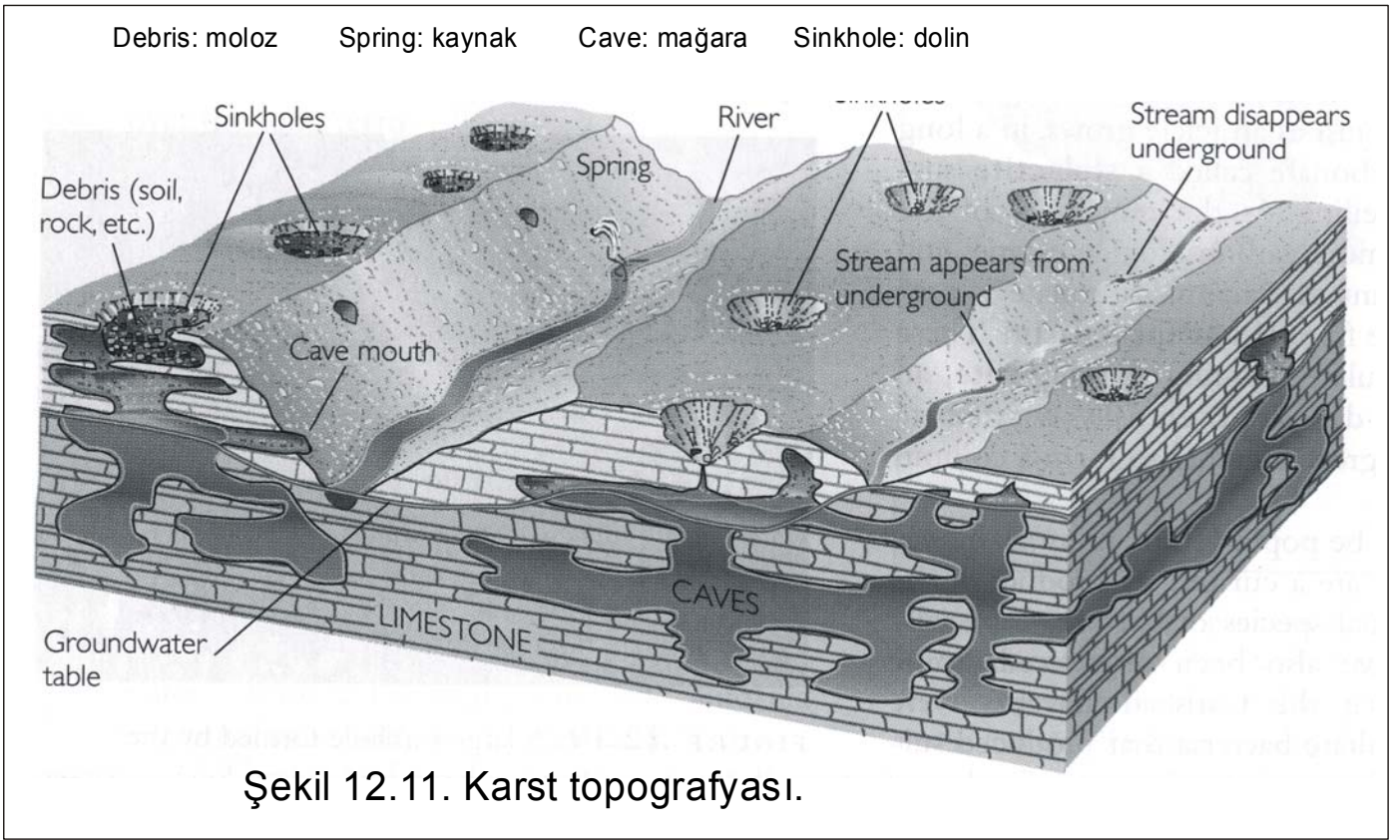
Deniz kenarlarında ve adalarda yapılan su pompajlarında da sık karşılaşılan bir diğer sorun da, beslemeden daha fazla su çekme yapıldığında, tatlı suyun çekildiği akifer ortama tuzlu suyun yerleşmesidir (Şekil 12.10). Bu düşün konisinin yaratıldığı tatlı su ortamına tuzlu suyun yaptığı ilerleme ile ortama tuzlu suların yerleşmesidir. Böylece eskiden tatlı su çeken bir kuyu daha sonra tuzlu su çekecektir. Bunu oluşturacak bir diğer olgu da, küresel ısınma sonucu deniz seviyesinin yükselmesi, ve kıyılarda tuzlu suyun kullanılan akiferlere girerek buradaki tatlı suyu tuzlu haline getirmesidir.



Şekil 12.10. Deniz (okyanus) kıyılarında tatlı su - tuzlu su girişimi.

YERALTI SUYUNUN EROZYONU

Karbon dioksit içeren sular, yeraltındaki kireçtaşlarındaki seyahatleri sırasında, karbonat minerallerini eritirler. Bu eritme zamanla giderek artarsa, kireçtaşları içinde boşluklar oluşabilir. Bu boşluklar ayrıca çatlaklarda da gelişen erimelerle büyürler. Böylece karst adı verilen, birbirleri ile ilişkili olabilen mağaralar, ve değişik yapılar (sarkıt, dikitler) gelişirler (Şekil 12.11).



Yüzeeye yakın olan bu tür mağaralar, bazen çökebilir, ve yüzeeye hasar yaratabilirler (Şekil 12.12).

SU KALİTESİ

Evlere gelen suyun kalitesi genellikle bakteriyolojik ve kimyasal olarak kontrol edilse de bir çok insan tarafından beğenilmemektedir. Diğer taraftan, hala eski evlerde kullanımda olan kurşun borulardan suya zehirli olan kurşun elementi karışmaktadır.

Bir önemli sorun (belki henüz ülkemiz için geçerli değil), radyoaktif maddelerin saklandığı yeraltı depolama tesislerinden olabilecek sızıntılardır.

Bazen de herhangi bir kirliliğe sahip olmasa da suların kalitesinin içmeye - kokulu, kötü tadı olan sular - uygun olmamasıdır. Bazı sular da içilebilse bile, örneğin çamaşır yıkamaya elverişli olmayan karbonatlı sulardır.

İçme suları

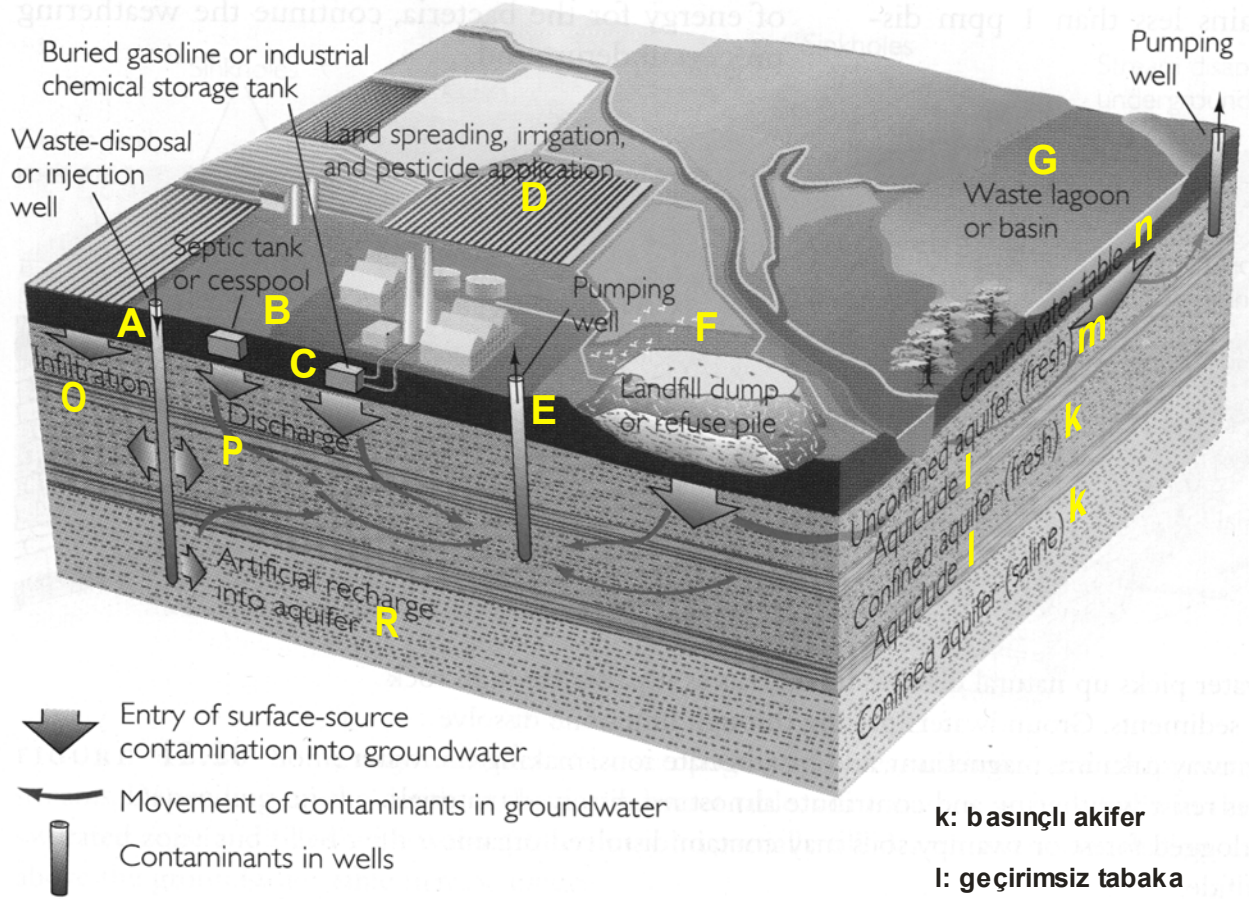
Tadı uygun olan ve sağlığa aykırı olmayan sulara içme suyu adı verilir. Genellikle, sular geçtikleri kayaç ortamından eriterek aldıkları çözünmüş maddeler içerirler. İyi bir su için bu miktar 150 ppm (part per million, milyonda bir parça) olabilir.

Genellikle kum veya kumtaşından geçen sular, taşıdıkları katı madde, kil, bakteri ve hatta büyük çaplı virüslerden, geçtikleri bu kumlu ortamın filtrelemesi sayesinde arınırlar. Bu anlamda, büyük karstik boşluklardan su alan kireçtaşı akiferleri, daha kirli sular içerebilirler. Bakteriyel kirlenme genellikle kuyu başındaki pompa malzemesinden veya kuyuya yakın çöplük veya lağım çukuru gibi unsurlardan kaynaklanır (Şekil 12.13).

Waste-disposal: atık su Land spreading: ziraat işleri Pesticide: tarım ilacı

Septic tank, cesspool: lağım çukuru; Chemical storage tank: kimyasal madde saklama tankı

Contaminant: kirletici madde; Discharge: boşalma; Landfill dump, refuse pile: çöplük.



A : Atık toplama veya pompalama kuyusu **B** : Lağım çukuru
C : Gömülü akaryakıt veya kimyasal madde tankı
D : Tarım, sulama ve zararlı ilaçlaması uygulamaları
E : su pompalama **F** : çöplük (atık toplama)
G : havza

k: basınçlı akifer
l: geçirimsiz tabaka
m: serbest akifer
n: yeraltı su tablası
o: süzülme
p: boşalma
r: akiferi suni besleme

Şekil 12.13. Yeraltı suyunu etkileyen veya kirleten insan çalışmaları.

