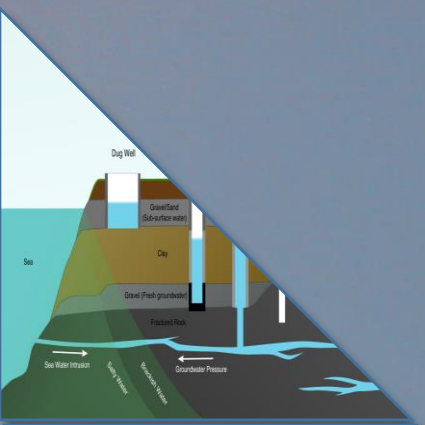
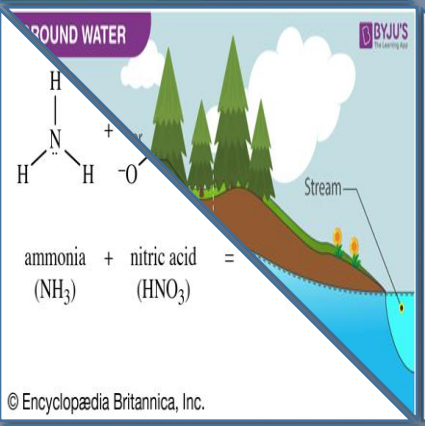
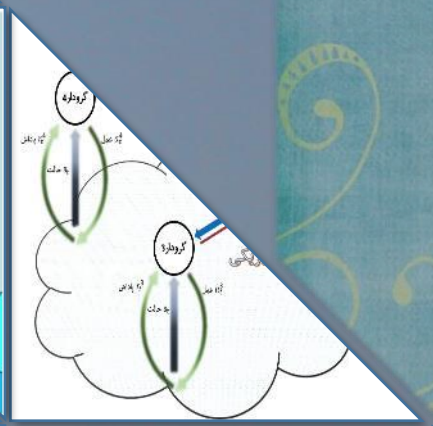
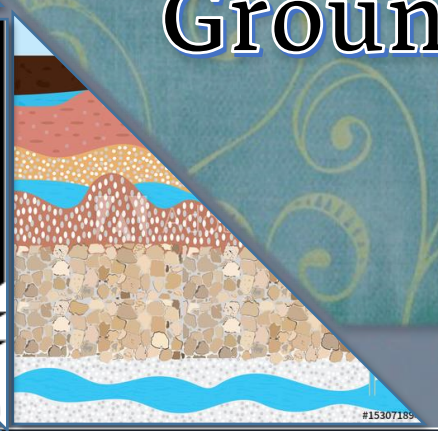
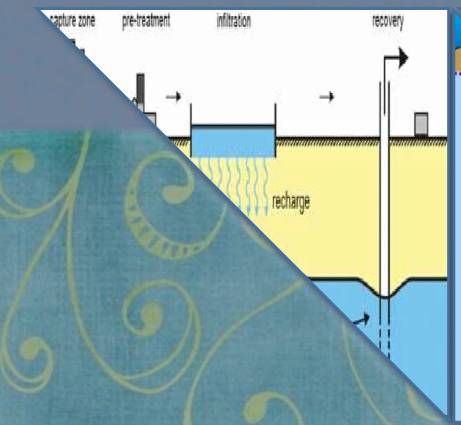
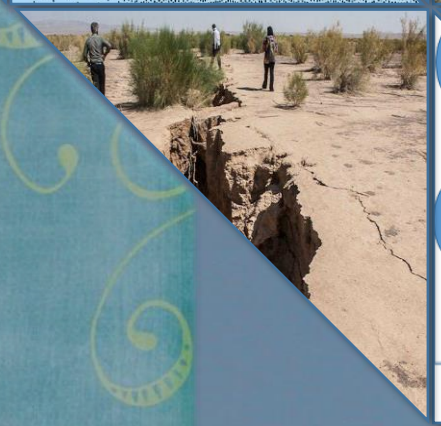


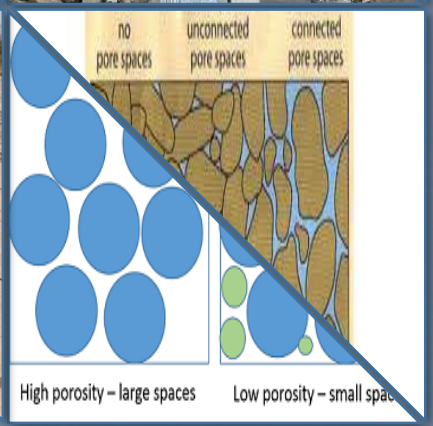












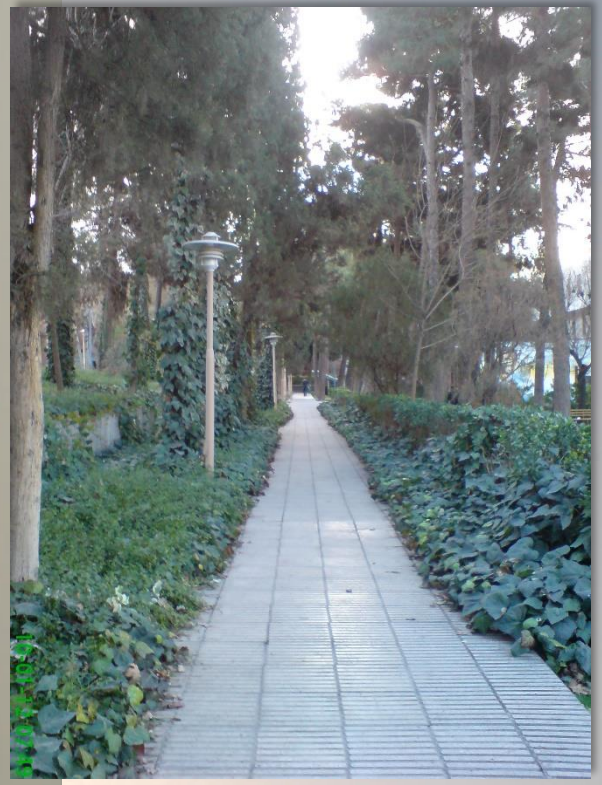
آب زیرزمینی

Groundwater

m.j.e.Skardi@gmail.com

محمد جواد امامی اسکاردی

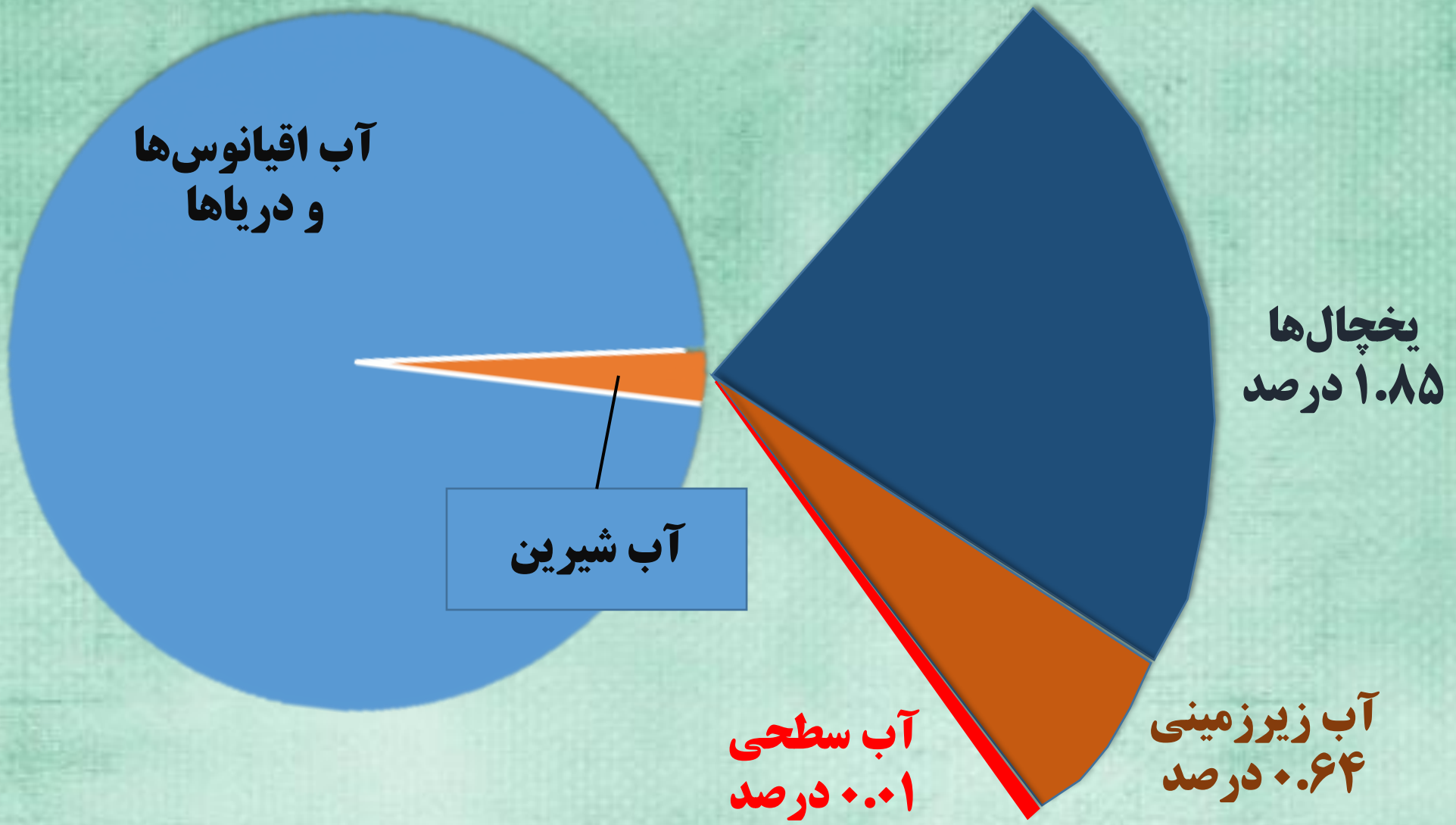
❑ دانشگاه علم و صنعت



❑ ضرورت مدیریت منابع آب

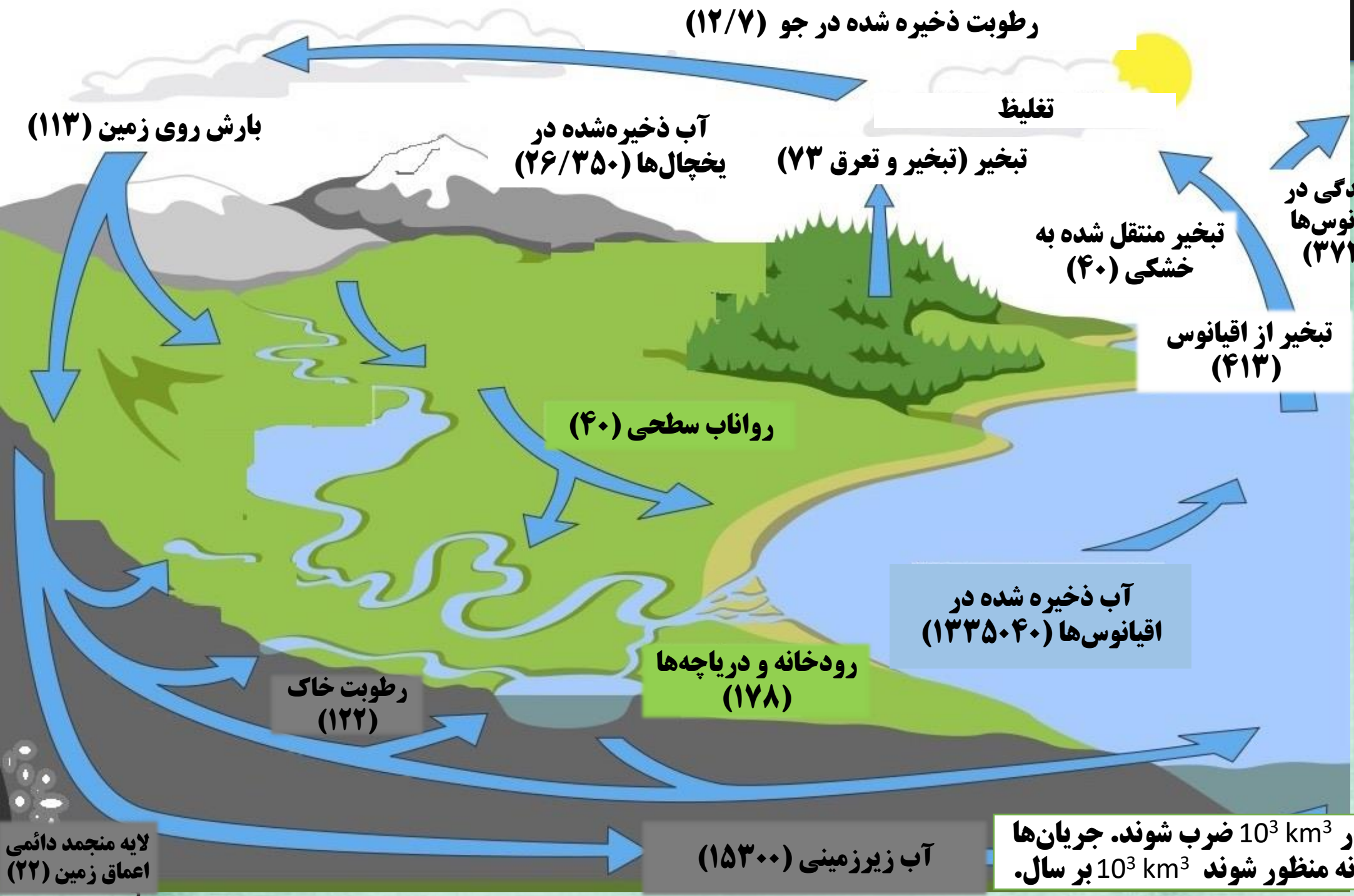
حدود ۷۱ درصدد سطح زمین را آب تشکیل می‌دهد.

❑ منابع آب در دسترس



چرخه آب در طبیعت؛ سهم ۳۰ درصدی آب زیرزمینی و ۱ درصدی منابع آب سطحی از منابع آب شیرین

آگ باران به کوهستان نبارد- به سالی دجله گردد خشک‌رودی (سعدی)



اعداد باید در $10^3\ km^3$ ضرب شوند. جریان‌ها نیز باید سالانه منظور شوند $10^3\ km^3$ بر سال.

❑ بیلان هیدرولوژیکی

بیلان هیدرولوژیکی، بیلان آبی، یا بالانس آبی عبارتست از اندازه گیری پیوستگی جریان آب که برای هر مقیاس زمانی و مکانی معتبر باشد.

در واقع بیلان، حسابداری آب است.

محاسبه بیلان یکی از مهمترین مطالعات طرح های زیربنایی و سیاست گذاری آب است.

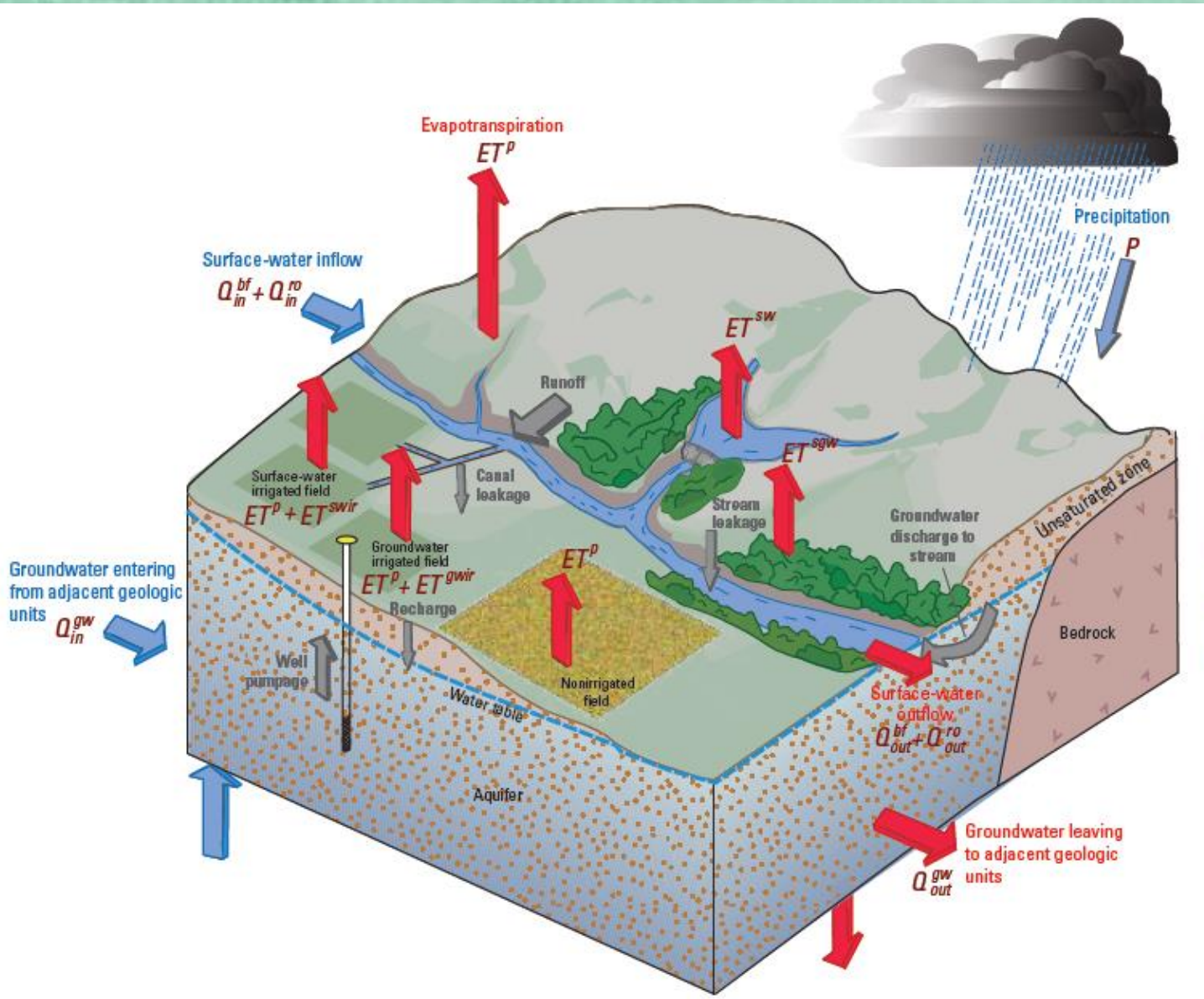
بیلان را می توان برای یک حوضه آبریز، یک آبخوان، یا هر سیستم دیگری بکار برد.

معادله اساسی بیلان عبارتست از:

تغییر در حجم آب ذخیره سیستم = حجم آب خروجی – حجم آب ورودی

$$I-O=\Delta S$$

❑ بیلان هیدرولوژیکی



EXPLANATION

P	Precipitation
Q_{in}^{bf}	Base-flow component of streamflow into the system
Q_{in}^{gw}	Groundwater entering the system from adjacent geologic units
Q_{in}^{ro}	Runoff component of streamflow into the system
ET^{gwir}	Evapotranspiration from groundwater irrigation
ET^{p}	Evapotranspiration from precipitation
ET^{sgw}	Evapotranspiration from shallow groundwater
ET^{sw}	Evapotranspiration from surface-water bodies
ET^{swir}	Evapotranspiration from surface-water irrigation
Q_{out}^{bf}	Groundwater discharge to streams (base flow) or springs
Q_{out}^{gw}	Groundwater leaving the system to adjacent geologic units
Q_{out}^{ro}	Runoff component of streamflow out of the system

Figure 2. Water-budget components of the High Plains landscape and aquifer system.

$$P + Q_{in}^{bf} + Q_{in}^{gw} + Q_{in}^{ro} = ET^{gwir} + ET^{p} + ET^{sgw} + ET^{sw} + ET^{swir} + Q_{out}^{bf} + Q_{out}^{gw} + Q_{out}^{ro} + \Delta S^{gw} + \Delta S^{sw} + \Delta S^{uz}$$

where

P	is precipitation,
Q_{in}^{bf}	is the base-flow component of streamflow in the system,
Q_{in}^{gw}	is groundwater entering the system from adjacent geologic units,
Q_{in}^{ro}	is the runoff component of streamflow into the system,
ET^{gwir}	is evapotranspiration of water from groundwater irrigation (groundwater pumpage minus return flow and runoff),
ET^{p}	is evapotranspiration from precipitation,
ET^{sgw}	is evapotranspiration from shallow groundwater,
ET^{sw}	is evapotranspiration from surface-water bodies,
ET^{swir}	is evapotranspiration of water from surface-water irrigation (diverted water minus canal leakage, return flow, and surface runoff),
Q_{out}^{bf}	is groundwater discharge to streams (base flow) or springs,
Q_{out}^{gw}	is groundwater leaving the system to adjacer geologic units,
Q_{out}^{ro}	is the surface-runoff component of streamflo out of the system,
ΔS^{gw}	is the change in groundwater storage,
ΔS^{sw}	is the change in surface-water storage, and
ΔS^{uz}	is the change in unsaturated-zone storage.

❑ بیلان هیدرولوژیکی

- معادله بیلان را می‌توان به تفکیک برای آب سطحی یا زیرزمینی یا برای یک مخزن، یک دریاچه، یک تالاب، یک رودخانه یا یک حوضه آبریز نوشت.
- در دوره های زمانی بلند مدت (یک سال و بیشتر) چنانچه بتوان از تبادل جریان بین آب سطحی و آب زیرزمینی و تبخیروتعریق از آب زیرزمینی در مقایسه با دیگر مؤلفه ها صرفنظر کرد معادله بیلان به شکل زیر ساده می شود:

$$P + Q_s in - Q_s out + Q_g in - Q_g out - ET = \Delta S$$

در این معادله:

P **: حجم بارندگی روی محدوده**

$Q_s in$ **: حجم آب سطحی ورودی به محدوده و** $Q_s out$ **: حجم آب سطحی خروجی ازمحدوده**

$Q_g in$ **: حجم آب زیرزمینی ورودی به محدوده و** $Q_g out$ **: حجم آب زیرزمینی خروجی ازمحدوده**

ET **: حجم کل تبخیروتعریق از محدوده (که شامل کل مصارف آب هم می‌شود.)**

ΔS**: تغییر حجم ذخیره آب در محدوده.**

نکته بسیار مهم این است که معادله بیلان برای یک محدوده مشخص (در واقع حجم مشخصی از فضا) و یک دوره مشخص زمانی نوشته می شود.

❑ بیلان هیدرولوژیکی

- معادله بیلان برای آب زیرزمینی را می‌توان چنین نوشت:

$$I + Q_g in - Q_g out - ET_g = \Delta S_g$$

در این معادله:

I : **حجم نفوذ بارندگی به داخل آب زیرزمینی**

$Q_g in$: **حجم آب زیرزمینی ورودی**

$Q_g out$: **حجم آب زیرزمینی خروجی طبیعی**

ET_g : **حجم کل تبخیروتعریق (که شامل کل مصارف آب هم می‌شود.)**

ΔS_g: **تغییر حجم ذخیره آب زیرزمینی.**

❑ بارندگی (Precipitation)

- بارندگی عبارت است از بارش هر گونه آب به شکل مایع (باران) یا جامد (برف یا تگرگ) از ابرها به روی زمین.
- در اینجا به خصوصیات بارش های کوتاه مدت (رگبارها) که در ایجاد سیلاب ها مهم هستند نمی پردازیم بلکه هدف آشنایی با چگونگی اندازه گیری و محاسبه و برآورد باران در بلندمدت (ماه و سال و بیشتر) است.

❑ باران‌سنج ساده

باران سنج معمولی یا باران‌سنج روزانه

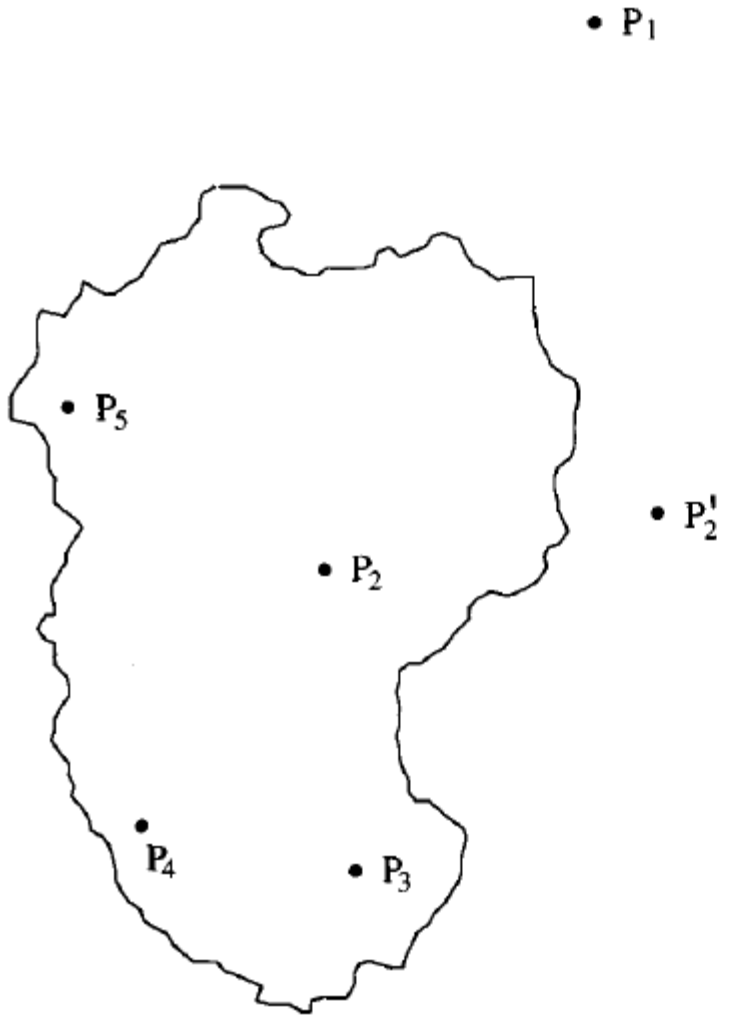
❑ باران سنج ثبات

باران سنج ثبات

بارش میانگین مکانی یا ناحیه‌ای

- در محاسبات بیلان باید بارش متوسط در کل ناحیه مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین باید بتوان مقادیر اندازه‌گیری شده در باران‌سنجها (بارش نقطه‌ای) را به بارش مکانی تبدیل کرد.
- در عمل سه روش برای این کار وجود دارد که به ترتیب دقت عبارتند از:
  - روش میانگین حسابی
  - روش چندضلعی‌های تیسن
  - روش خطوط همباران

❑ منطقه‌ای کردن بارش

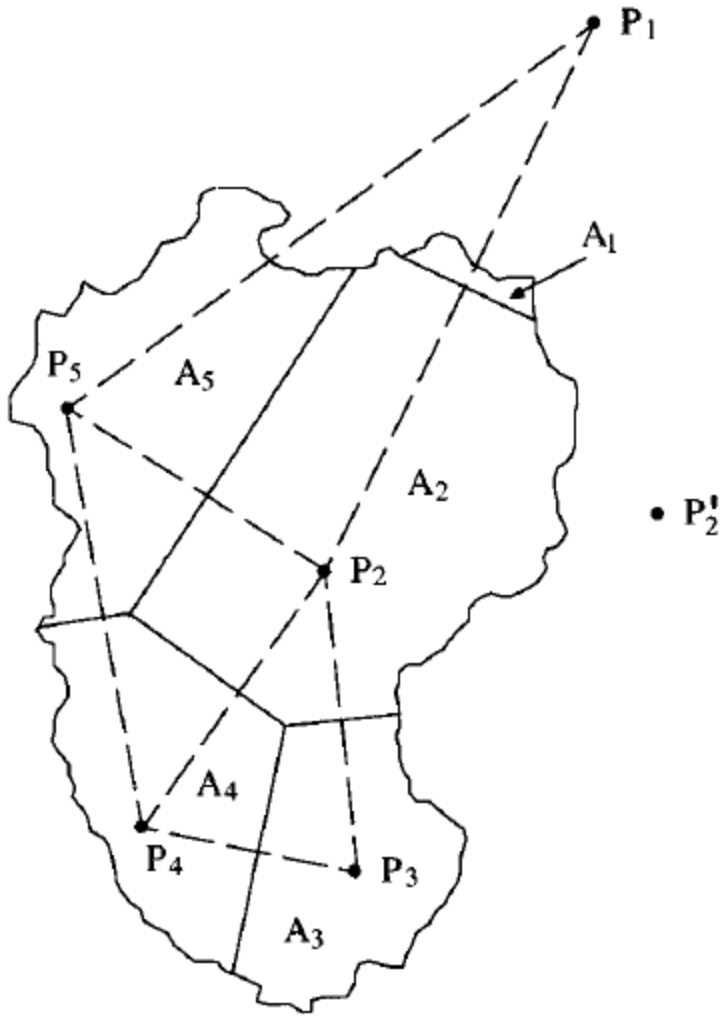


Station	Observed rainfall within or close to the area (mm or in)
P_2	20.0
P_3	30.0
P_4	40.0
P_5	50.0
	140.0

Average rainfall = 140.0/4 = 35.0 mm or in

محاسبه بارش متوسط مکانی به روش میانگین ریاضی

❑ منطقه‌ای کردن بارش

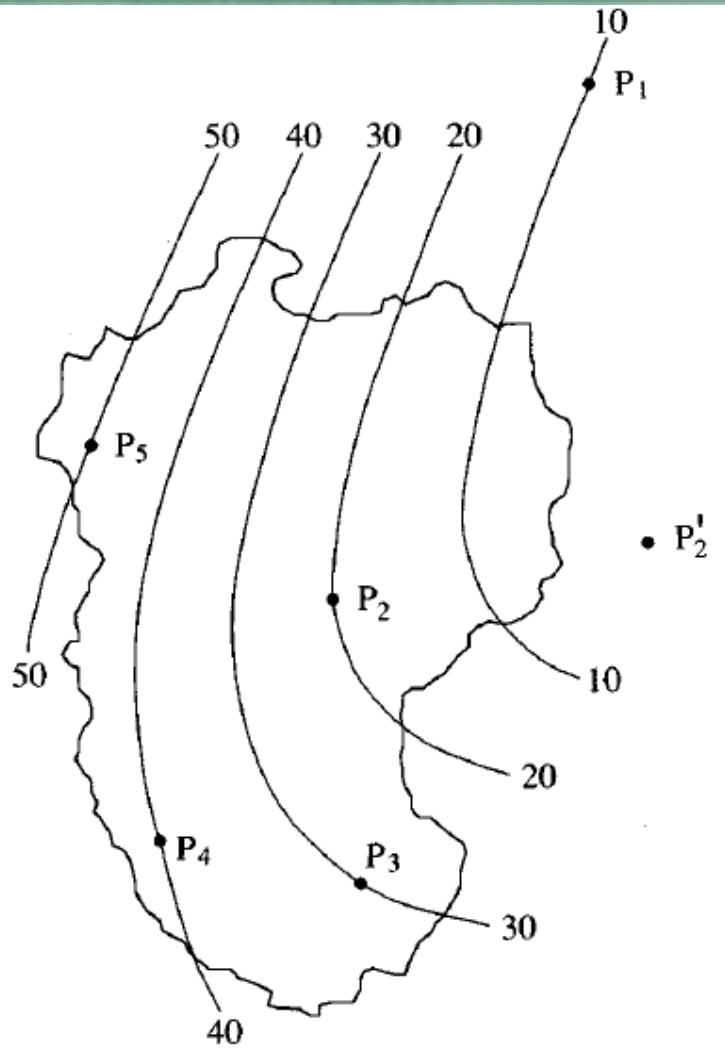


Station	Observed rainfall (mm or in)	Area (km^2or mi^2)	Weighted rainfall (mm or in)
P_1	10.0	0.22	2.2
P_2	20.0	4.02	80.4
P_3	30.0	1.35	40.5
P_4	40.0	1.60	64.0
P_5	50.0	1.95	97.5
		9.14	284.6

Average rainfall = 284.6/9.14 = 31.1 mm or in

محاسبه بارش متوسط مکانی به روش تیسن

❑ منطقه‌ای کردن بارش



Isohyets (mm or in)	Area enclosed (km^2 or mi^2)	Average rainfall (mm or in)	Rainfall volume
	0.88	5*	4.4
10			
	1.59	15	23.9
20			
	2.24	25	56.0
30			
	3.01	35	105.4
40			
	1.22	45	54.9
50			
	0.20	53*	10.6
	9.14		255.2

*Estimated.

Average rainfall = 255.2 / 9.14 = 27.9 mm or in

محاسبه بارش متوسط مکانی به روش همباران

❑ تاریخچه آب زیرزمین

تصور ابتدایی تغذیه آب زیرزمین از دریا و از طریق مجاری زیرزمینی بود.

درغرب، اولین بار در نقاشی داوینچی آب باران منشاء آب زیرزمینی معرفی شد.

دانشمندان فرانسوی اولین بار سعی در بررسی علمی آب زیرزمینی نمودند.

دارسی، دانشمند فرانسوی بود که قانون حرکت آب در خاک را بیان نمود.

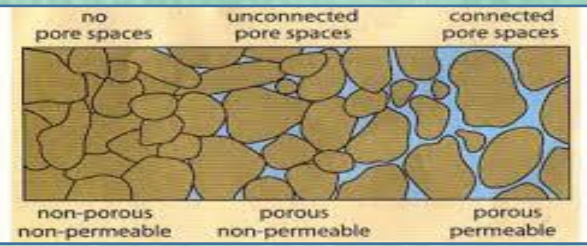
محمد بن الحسن الحاسب کرجی نظرات ارزشمندی را در مورد آب‌های زیرزمینی ارائه نمود.

ابوریحان بیرونی منشاء آب چشمه‌ها و علت تغییرات مقدار آب در آن‌ها را بررسی نمود.

مظفر بن اسماعیل ، تغییر کیفیت آب به دلیل وجود کانی های قابل حل در حین جریان آب در مسیر خود بیان نمود.

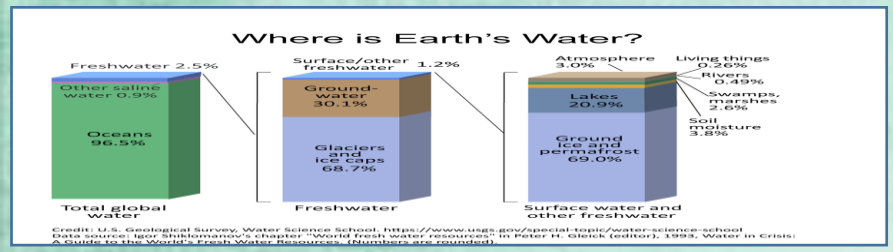
قنات کیخسرو یا قصبه عمیق‌ترین و قدیمی‌ترین قنات دنیا است.

❑ مقدمه



آب زیرزمینی آبی است که در فضای منافذ و شکستگی‌ها در سنگ ها و رسوبات زیر سطح زمین وجود دارد.

منشا آن به صورت بارندگی یا برف است.



آب‌های زیرزمینی حدود ۹۸ درصد از آب شیرین در دسترس را تشکیل می‌دهد.

آب‌هایِ زیرزمینی در همه جای زیر سطح زمین وجود دارد ، اما معمولاً در عمق کمتر از ۷۵۰ متر محدود می‌شود.

❑ منابع و مصارف آب زیرزمینی

۱ در ایران حدود ۷۰ درصد از مصارف آبی از آب زیرزمینی تامین می شود.

۲ مخازن زیرزمینی در ایران ۱۳۰ میلیارد متر مکعب کسری دارند.

۳ ۵۰ درصد آب شرب و ۴۳ درصد آب کشاورزی دنیا از آب زیرزمینی تامین می‌شود.

۴ برداشت سالانه ۶۰ میلیارد مترمکعب آب از سفره‌های زیرزمینی

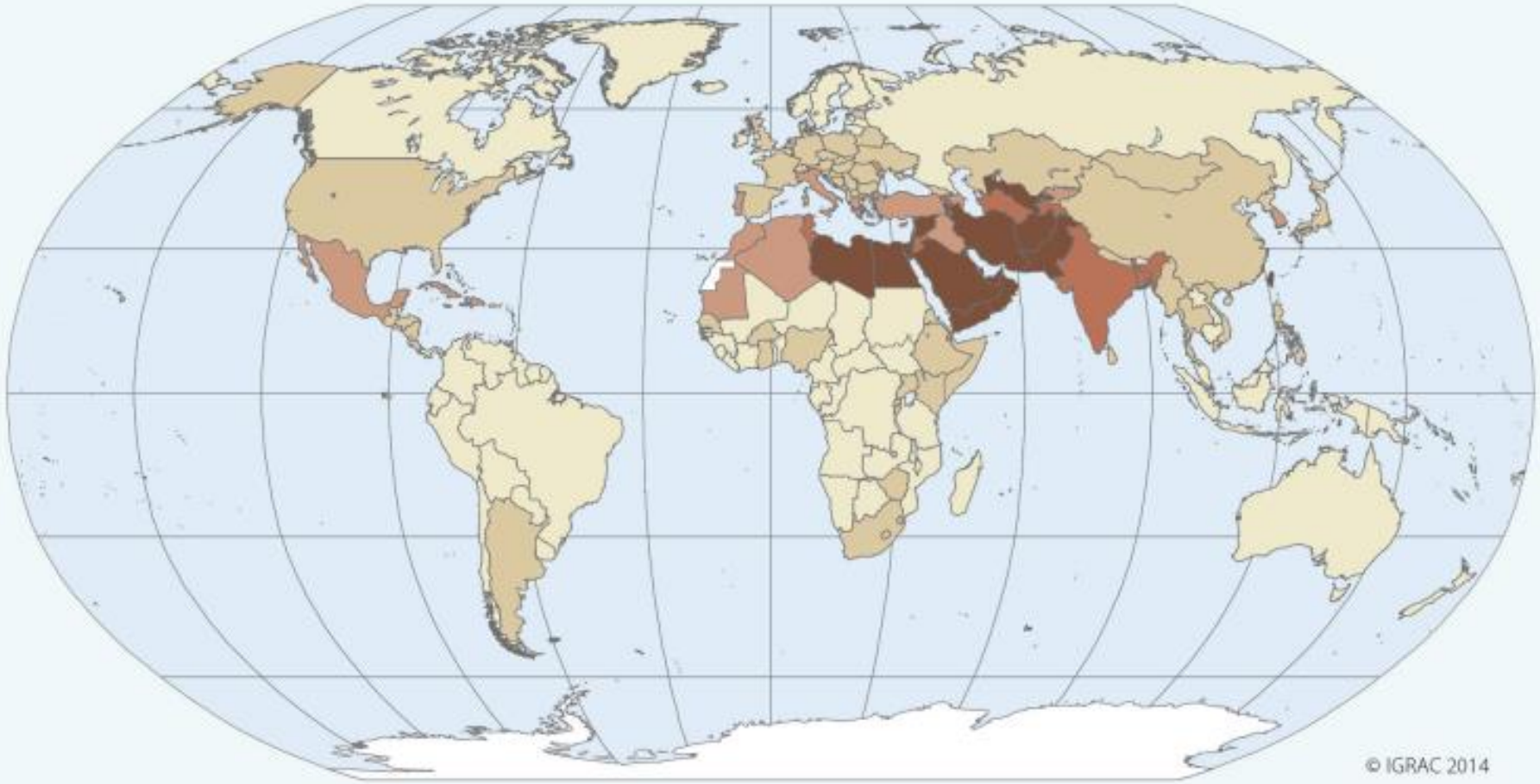
۵ ۴۸۷ هزار حلقه چاه مجاز در کشور که عمدتاً به بخش کشاورزی تعاق دارند.
غیرمجاز ۳۵۰ هزار حلقه

۶ مناسبات و ملاحظات اجتماعی، پایش سخت‌تر، برداشت غیرمجاز آسان‌تر و دیر مشخص شدن عوارض برداشت غیرمجاز

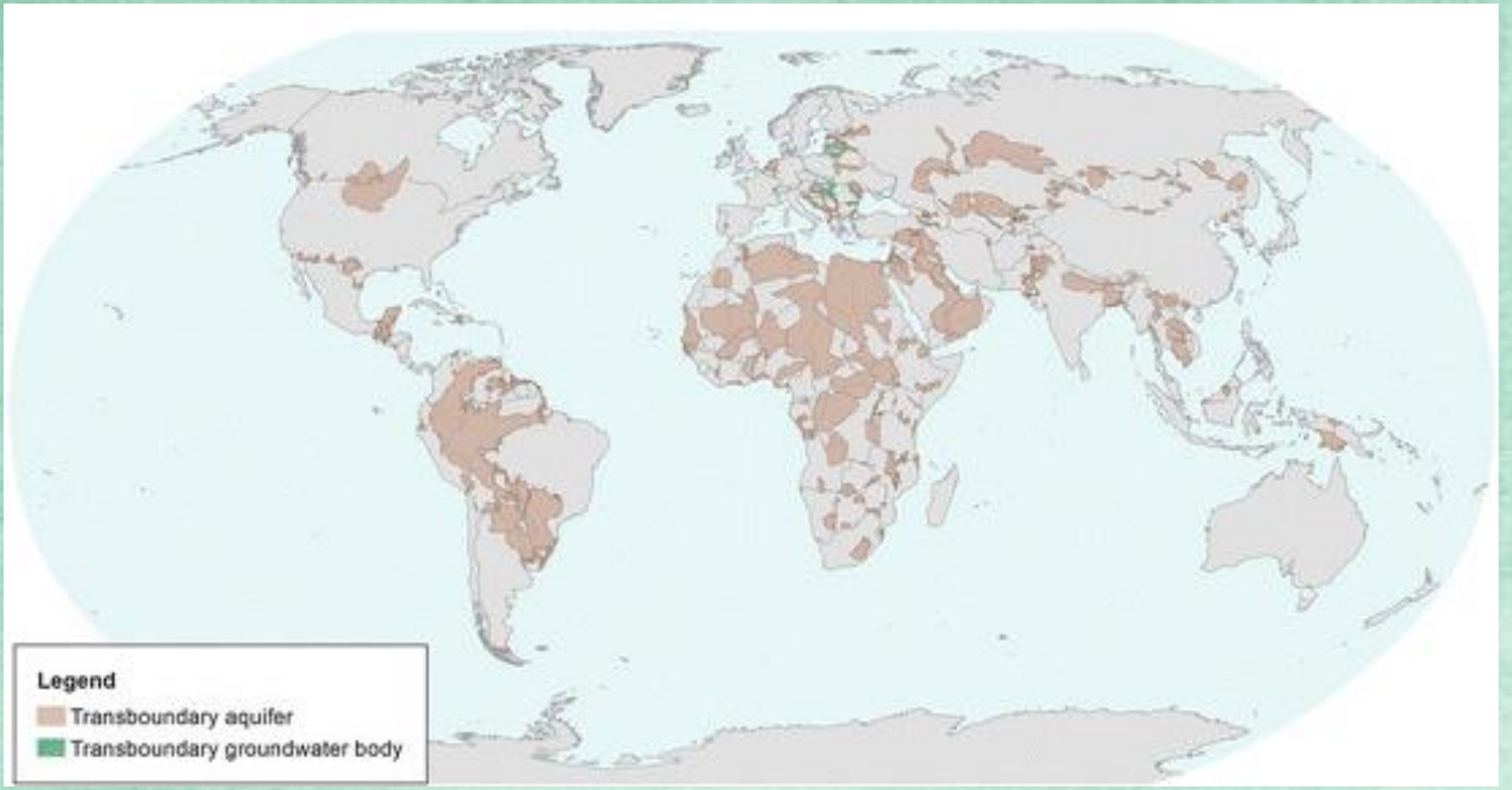
میزان تنش آبی آب‌زیرزمینی

FIGURE 1

Groundwater development stress (2010)

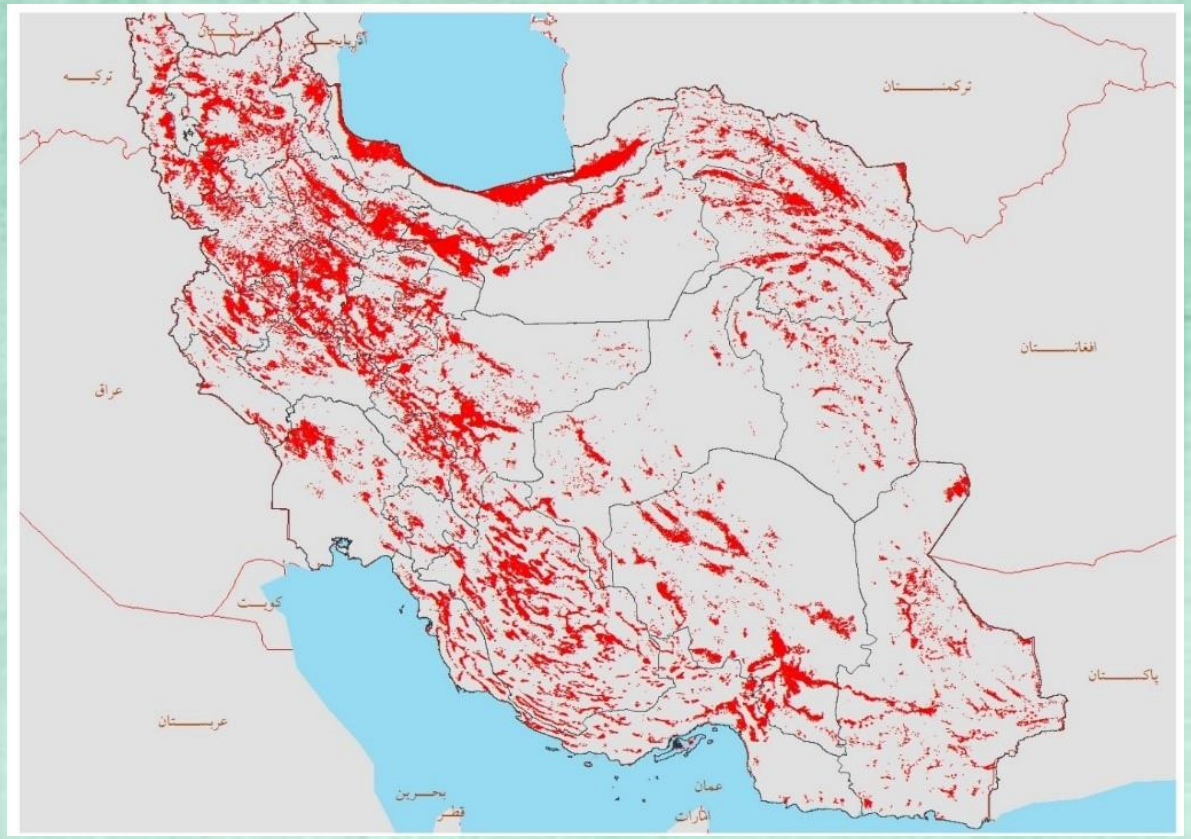


منابع آبی مشترک بین‌المللی

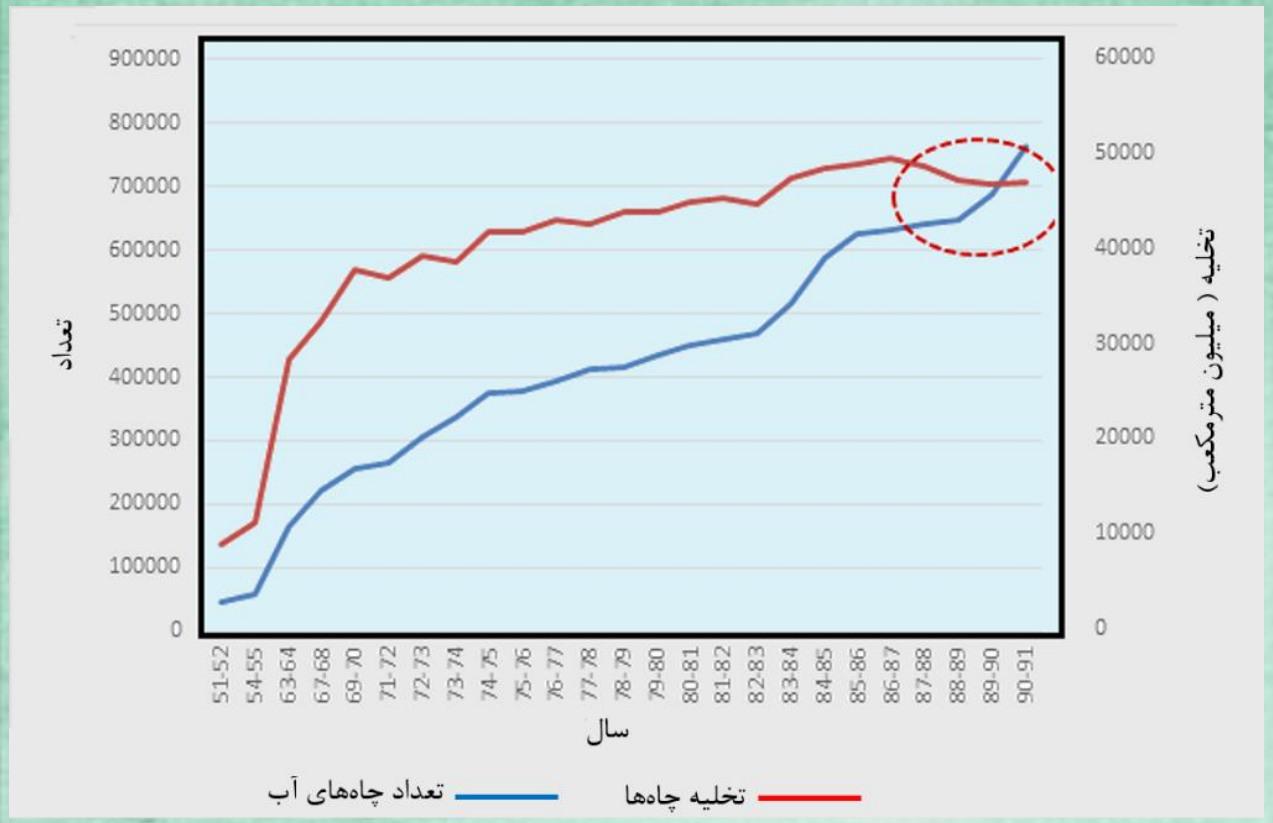


https://apps.geodan.nl/igrac/ggis-viewer/viewer/tbamap/public/default

پراکنش چاه‌ها در ایران



تعداد چاه‌ها و میزان آب‌دهی



❑ مقدمه؛ تعاریف اولیه

آب زیرزمینی

بخشی از آب داخل خلل و خرج زمین که از نظر اقتصادی قابل برداشت باشد.

تخلخل

فضای خالی به کل فضای خاک

هدایت هیدرولیکی

میزان انتقال و حرکت آب در خاک

تراز هیدرولیکی

سطح پیزومتریک آب که با متر بیان می‌شود.

آبخوان

ساختارهای زمین شناسی هستند که دارای تخلخل و هدایت هیدرولیکی مناسب بوده و بتوانند آب را از خود عبور داده یا در خود ذخیره کنند.

❑ مقدمه؛ مزایای آب زیرزمینی

مهم

❑ مخزن‌های طبیعی هستند.

❑ تلفات ناشی از تبخیر ندارند.

❑ عدم وابستگی به زمان برای بهره‌برداری دارند.

❑ اشغال سطح روی زمین ندارند.

❑ محدوده وسیع تری نسبت به آب های سطحی شامل می‌شوند.

❑ حجم بالاتری نسبت به آب سطحی دارند.

❑ معمولاً خشک‌سالی کوتاه مدت کمتر روی آب‌های زیرزمینی تأثیر می‌گذارد.

مهم

❑ دمای آب‌های زیرزمینی نسبتاً ثابت است.

❑ معمولاً عاری از موجودات بیماری‌زا است و نیاز به تصفیه کمتری دارند.

❑ ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی معمولاً ثابت است.

❑ آلودگی‌های زیست محیطی در آب‌های زیرزمینی حداقل و کمتر از آب‌های سطحی است.

❑ این مخازن خود پالایی هستند.

❑ مقدمه؛ معایب آب زیرزمینی

کمی

❑ نیاز به انرژی برای بهره‌برداری دارند.

❑ نیاز به تخصص بیشتری برای بهره‌برداری دارند.

❑ امکان برداشت غیر مجاز دارند وحفاظت از آن سخت‌تر است.

❑ حرکت جریان آب در آنها کند است.

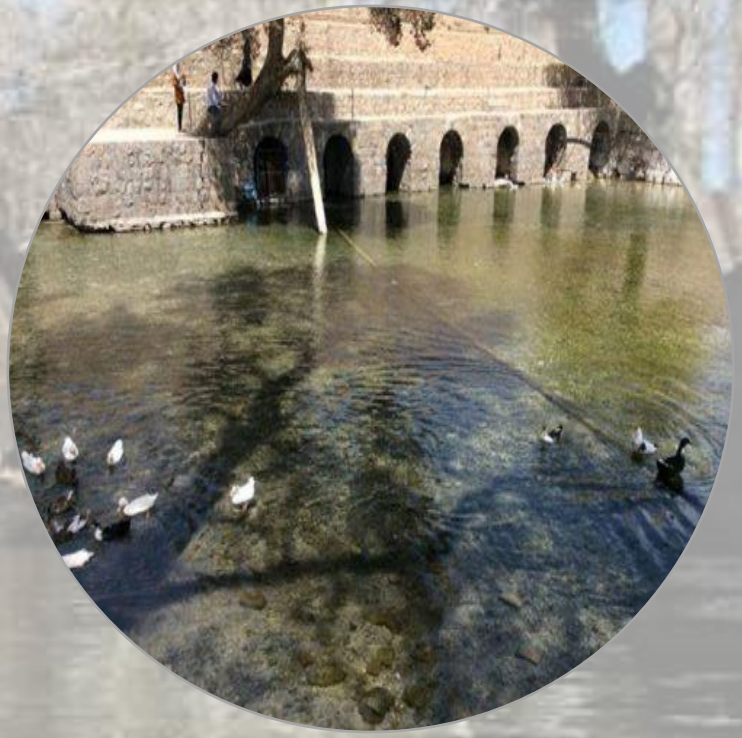
کیفی

❑ در صورت آلودگی امکان بهره‌برداری از آن تا مدت‌ها مقدور نیست.

❑ امکان تصفیه آب زیرزمینی در صورت آلودگی وجود دارد ولی فرایند پیچیده، زمان‌بر و هزینه‌بری دارد.

❑ مقدمه؛ دسترسی به آب زیرزمینی

طبیعی



چشمه

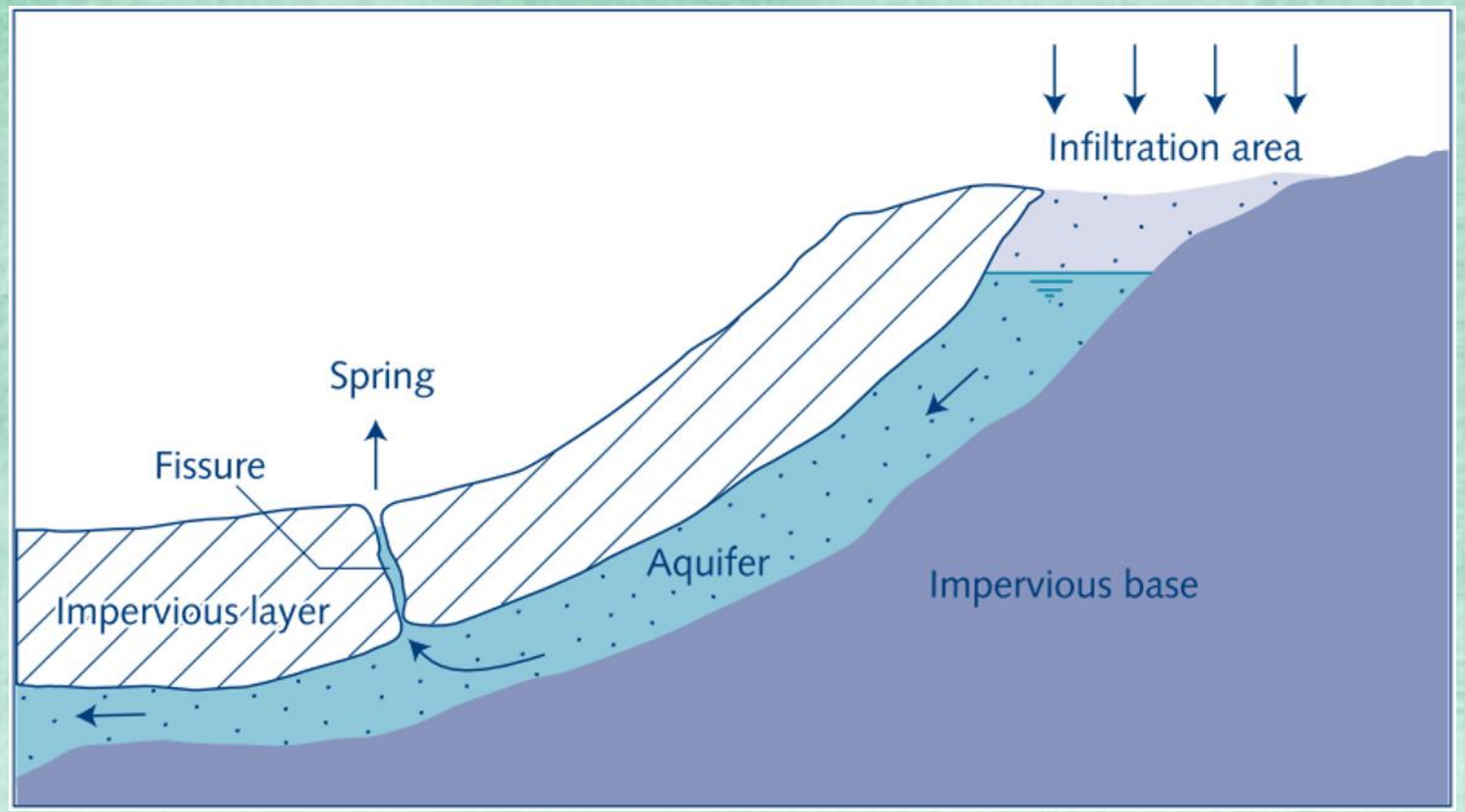
مصنوعی

چاه و قنات

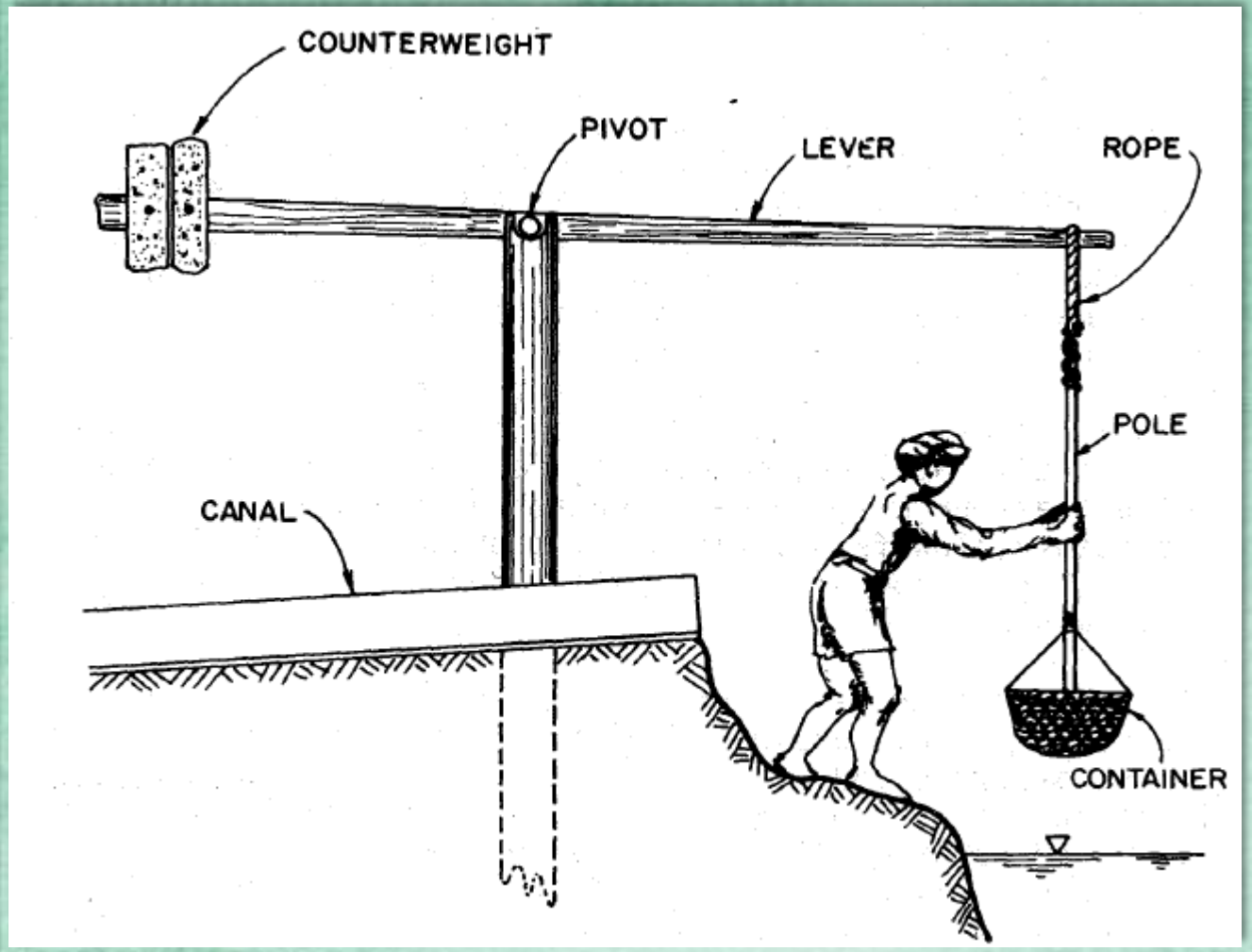
❑ چشمه

چشمه ها به طور طبیعی از زمین جوشیده و آب زیرزمینی را به سطح زمین می‌رساند.

چشمه ها عمدتاً در نواحی کوهستانی وجود دارند.



❑ چاه



مصریان باستان از اهرم برای آبکشی از رودخانه‌ها استفاده می‌کرده‌اند

چرخ پارسی در ایران قدیم

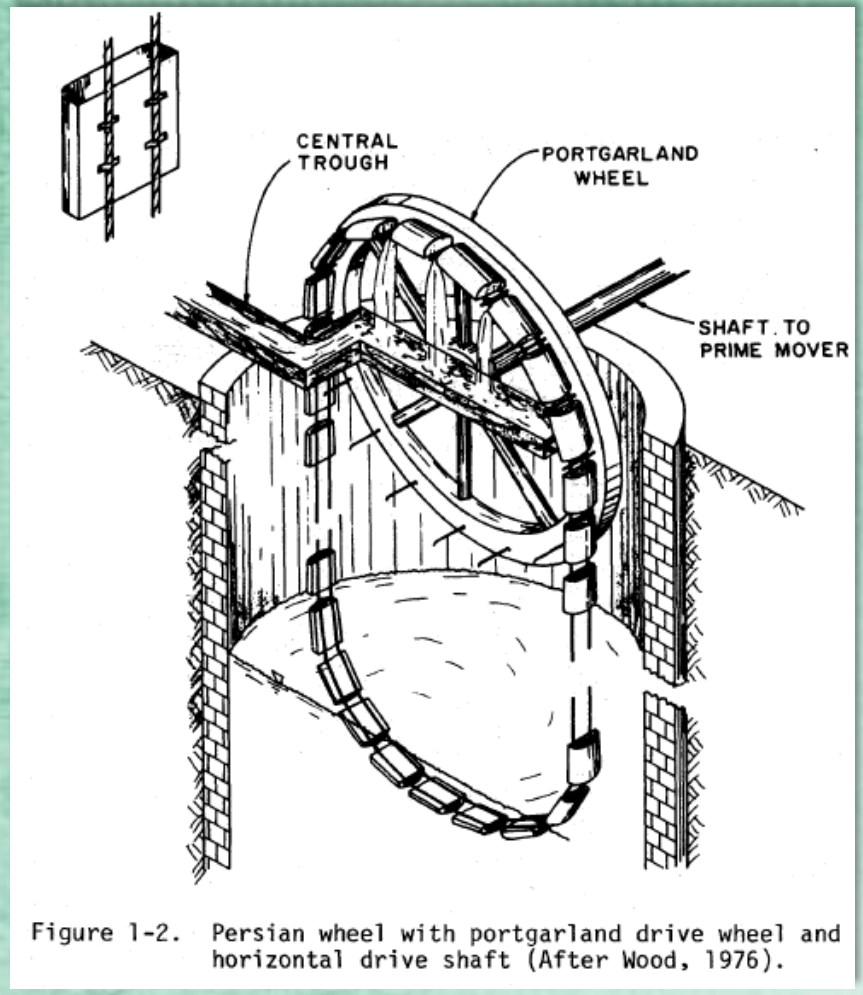


Figure 1-2. Persian wheel with portgarland drive wheel and horizontal drive shaft (After Wood, 1976).

چرخ چینی

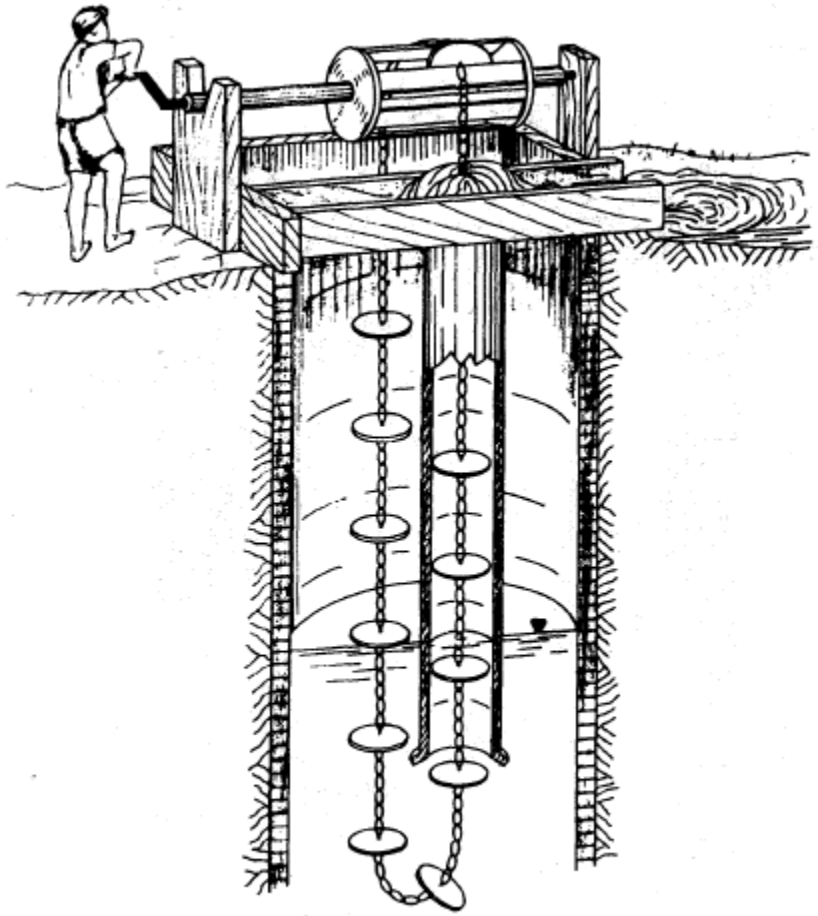


Figure 1-3. Chain pump with manual windlass (After Wood, 1976).

❑ قنات

ایران پوشیده از رشته کوه‌های سخت و بیابانی است.

در بیشتر قسمت‌های مرکزی فلات ایران، در دشت کویر و دشت لوت یا کویر لوت، میزان بارش سالانه به طور متوسط کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر است و این امر را این مناطق را در زمره خشک ترین نقاط جهان قرار می‌دهد.

ردپای آب

❑ قنات

قنات تلاش ایرانیان برای یافتن ردپای آب در دل کویر و مناطق گرم و خشک بوده است.

با یک نگاه قنات یک تونل افقی وجود دارد که آب‌های زیرزمینی را تخلیه می‌کند، اما حفر این تونل به علوم و فنون مختلفی نیاز دارد.

قنات کانال زیرزمینی است که به آرامی شیب دارد و از یک منطقه حامل آب در ارتفاعات بالاتر در زمین‌های زیر کشت استفاده می‌کند.

اگر بپذیریم که عملکرد اصلی فناوری ارتقا توانایی انسان در انطباق بهتر با شرایط محیطی است، این دهانه‌ها در میان فن‌آوری هایی قرار گرفته‌اند که تغییر بزرگی در روند تاریخ ایجاد کرده است.

❑ قنات

قنات ها از زمان های بسیار دور نقش حیاتی در استخراج آب زیرزمینی داشته‌اند. قنات‌ها مانند رگ‌های بدن از بیابان می‌دوند و زندگی و سعادت را برای مردمی که در گذشته با آب روان آن‌ها زندگی می‌کردند ، به ارمغان می‌آورد.

قنات گوهرریز کرمان

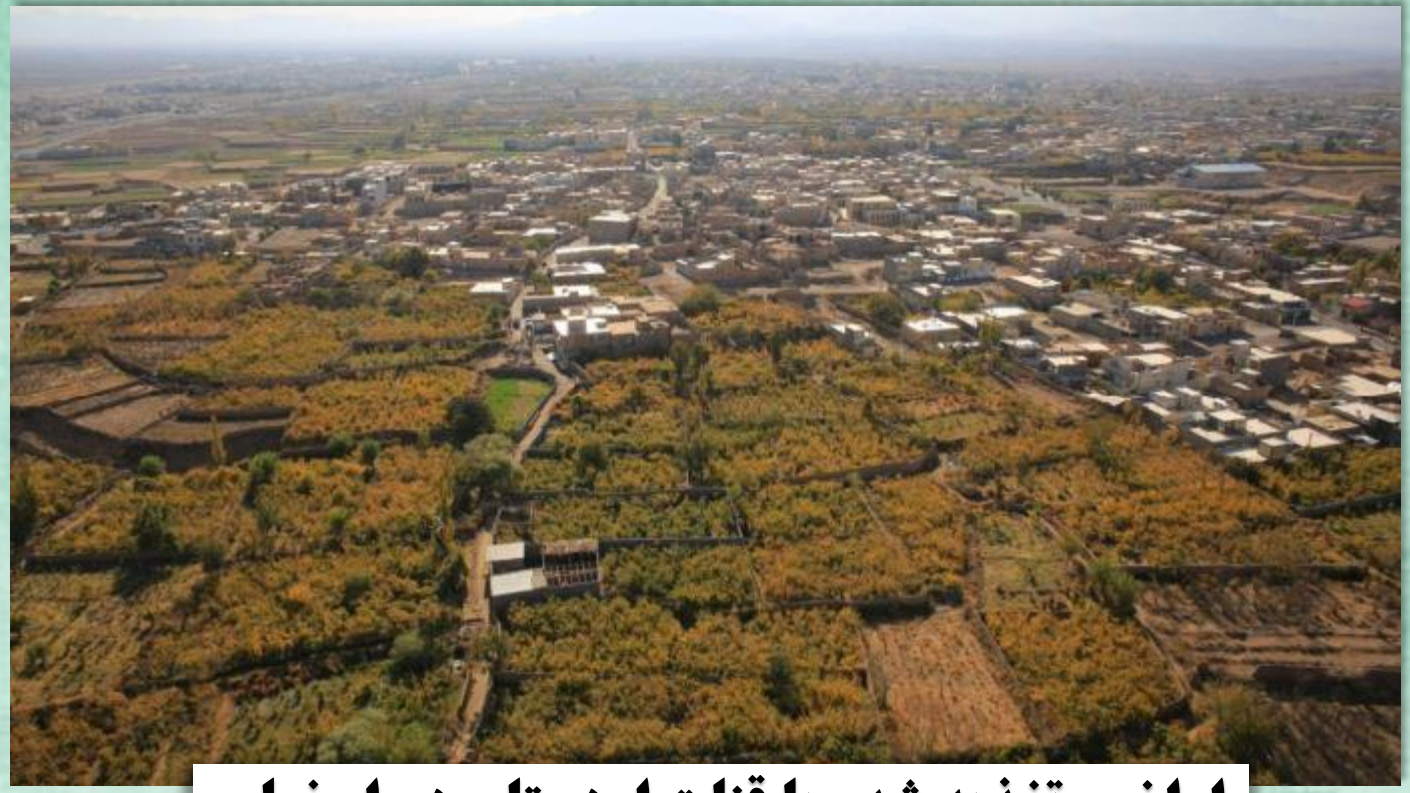
❑ قنات

قنات‌های ایرانی حفر شده در ایران ، که در مجموع گالری‌های آنها حدود ۴۰۰۰۰۰ کیلومتر است.

اراضی تغذیه شده با قنات در بم

❑ قنات

شهرهای مرکزی ایران مانند یزد ، کرمان ، مرکزی و اصفهان در کنار استان‌های خراسان رضوی و خراسان جنوبی دارای قنات‌های ارزشمندی هستند که نه تنها از اصالت و قدمت برخوردارند بلکه از مشخصات فنی و مهندسی خاصی نیز برخوردار هستند.
همه این قنات‌ها می توانند ارزش های جهانی برجسته قنات فارسی را از دیدگاه تاریخی و ابتکاری نشان دهند.



اراضی تغذیه شده با قنات اردستان در اصفهان

❑ قنات

۳۷۰۰۰ قنات فعال در ایران سالانه حدود ۷ میلیارد مترمکعب از آب زیرزمینی برداشت می‌کنند.

- ❑ قنات از تعداد موازی چاه تشکیل شده است که چاه اول در بالادست از همه عمیق‌تر بوده و به عنوان **مادر چاه** شناخته می‌شود.

  عمیق‌ترین مادر چاه دنیا در قنات قصبه با عمقی برابر ۳۰۰ متر قرار دارد.

- ❑ ساختار قنات از یک **کانال یا گالری** ، **نقطه خروج** ، **چاه های آب** و **مادر چاه** که در یک شیب ملایم قرار دارند، تشکیل شده است.

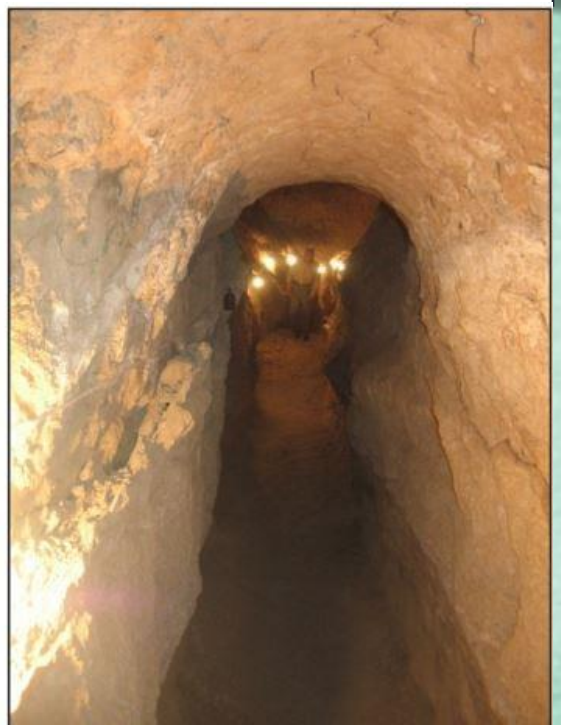
- ❑ در یک قلمرو سنتی ، قنات‌ها توسط یک سیستم **اقتصادی– اجتماعی** اداره می‌شوند که پایداری آنها را تضمین می کند.

❑ قنات

❑ **گالری**: به گالری یا تونل قنات یک تونل تقریباً افقی است که برای دسترسی به ذخایر آب زیرزمینی و انتقال این آب به سطح زمین حفر شده است. طول گالری تا ۱۰۰ کیلومتر هم می‌رسد.

❑ ابعاد تونل به گونه ای است که کارگران می توانند به راحتی از آن عبور کرده و در آن کار کنند: ارتفاعی بین ۹۰ تا ۱۵۰ سانتی متر و عرض آن کمتر از نصف ارتفاع است.

❑ با در نظر گرفتن توپوگرافی و موقعیت تراز آب ، شیب تونل محاسبه می شود تا آب جریان یافته در تونل دارای یک نقطه سرعت مناسب برای شستشوی گالری در عین ایجاد فرسایش نکردن باشد. شیب بهینه بین ۲/۱۰۰۰ تا ۵/۱۰۰۰ در نظر گرفته شده است.



❑ قنات

❑ نقطه خروج از قنات: جایی که تونل و سطح زمین سرانجام تلاقی می کنند ، نقطه خروجی قنات است که **مظهر** نامیده می شود به معنی جایی که آب ظاهر می شود.

❑ قنات

❑ **میله چاه‌ها**: چند شاخه عمودی وجود دارد که در امتداد تونل فرو رفته‌اند تا سطح را به گالری افقی متصل کنند.

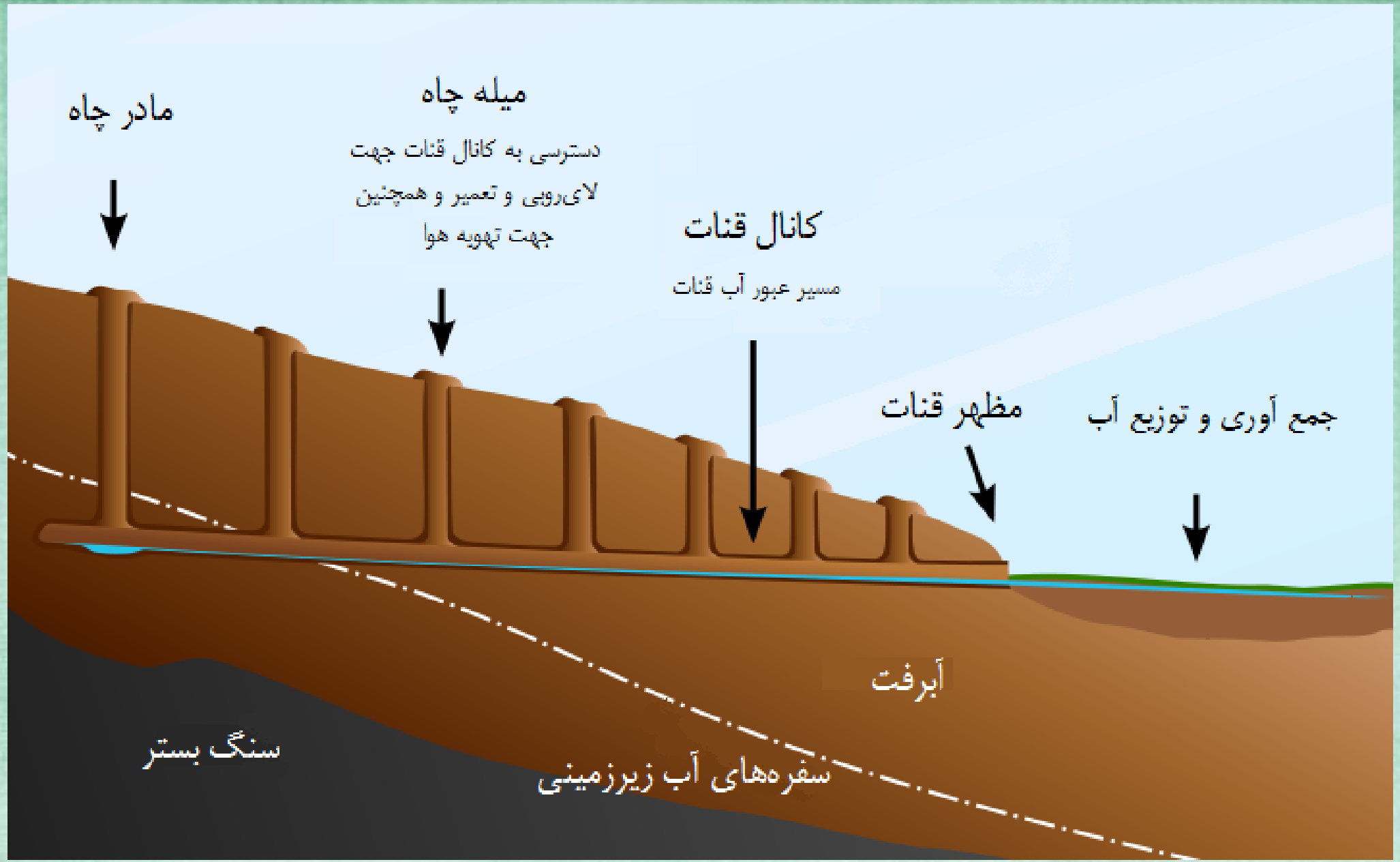
❑ کاربرد اصلی این چاه ها حمل و نقل بقایا و مواد حفر شده از تونل به سطح زمین است.

❑ قطر یک چاه شفت یا میله‌چاه بین ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی متر است و فاصله بین چاه ها از ۲۰ تا ۲۰۰ متر متغیر است. در واقع هرچه میله چاه‌های عمیق تر باشند ، فاصله آنها از یکدیگر بیشتر است.

❑ قنات

- ❑ **چاه مادر یا مادر چاه:** دورترین چاه از نقطه خروجی که در بالادست قرار دارد. مادر چاه معمولاً عمیق ترین چاه است.
- ❑ اگر میز آب آنقدر پایین بیاید که در زیر چاه مادر واقع شود و هیچ آبی نتواند به داخل گالری تراوش کند، قنات به ناچار خشک می شود.
- ❑ اگر یک قنات تا جایی افزایش یابد که به یک چاه دیگر نیاز باشد ، چاه جدید اکنون مادر چاه و چاه قبلی یک میله‌چاه است. به طور خلاصه ، آخرین چاه را همیشه مادر چاه می‌نامند.

❑ قنات


مادر چاه
میله چاه
دسترسی به کانال قنات جهت
لای‌روبی و تعمیر و همچنین
جهت تهویه هوا
کانال قنات
مسیر عبور آب قنات
مظهر قنات
جمع آوری و توزیع آب
آبرفت
سنگ بستر
سفره‌های آب زیرزمینی

❑ قنات

- ✓ یک قنات با تونل زدن به صخره یا قاعده یک منطقه کوهستانی، در سازنده‌های آبدار ساخته می شود.
- ✓ قنات یک تکنیک پایدار برای بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی بدون ایجاد صدمه به سفره سفره است.
- ✓ سیستم قنات فقط با نیروی جاذبه کار می کند.
- ✓ قنات فقط سرریز آبهای زیرزمینی را تخلیه می کند و جریان خروجی سفره آب را از حالت تعادل خارج نمی کند.
- ✓ با توجه به اینکه قنات آب زیرزمینی را مکش نمی کند ، استخراج آب با استفاده از قنات باعث نمی شود که آب شور به ذخایر آب شیرین برسد. سیستم قنات ساختار خاک را دستکاری نمی کند ، بنابراین از ظرفیت خاک برای نگهداری آب های زیرزمینی نمی کاهد.
- ✓ حفر قنات به شرایط آب و هوایی ، آبی زمین شناسی و توپوگرافی منطقه بستگی دارد.
- ✓ قنات ها در مناطقی با منابع آب سطحی موقتی ، شیب زمین تا ۰.۵ در ۱۰۰۰ و آبهای زیرزمینی دائمی حفر می‌شوند.

ملاحظات فنی

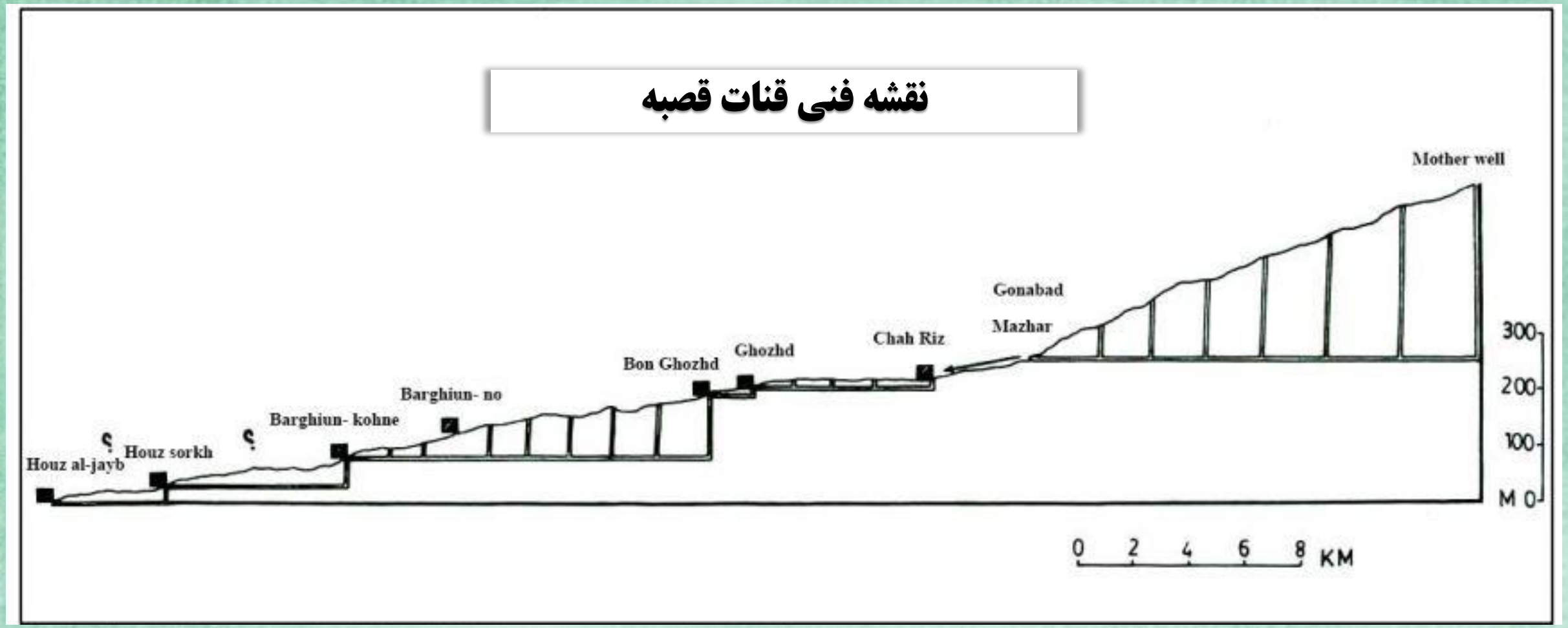
- ✓ حفر قنات به شرایط آب و هوایی ، آبی زمین شناسی و توپوگرافی منطقه بستگی دارد.
- ✓ قنات ها در مناطقی با منابع آب سطحی موقتی ، شیب زمین تا ۰.۵ در ۱۰۰۰ و آبهای زیرزمینی دائمی حفر می‌شوند.
- ✓ طول یک قنات که بر روی خروجی آب آن نیز تأثیر می گذارد در شرایط مختلف طبیعی متفاوت است. این شرایط به خوبی به شیب زمین و عمق مادر بستگی دارد. از طرف دیگر ، سطح پایین تر آب زیرزمینی به معنای مادر چاه عمیق تر است. مهمترین عامل تعیین کننده طول قنات ، گرادیان زمین است.

❑ قنات

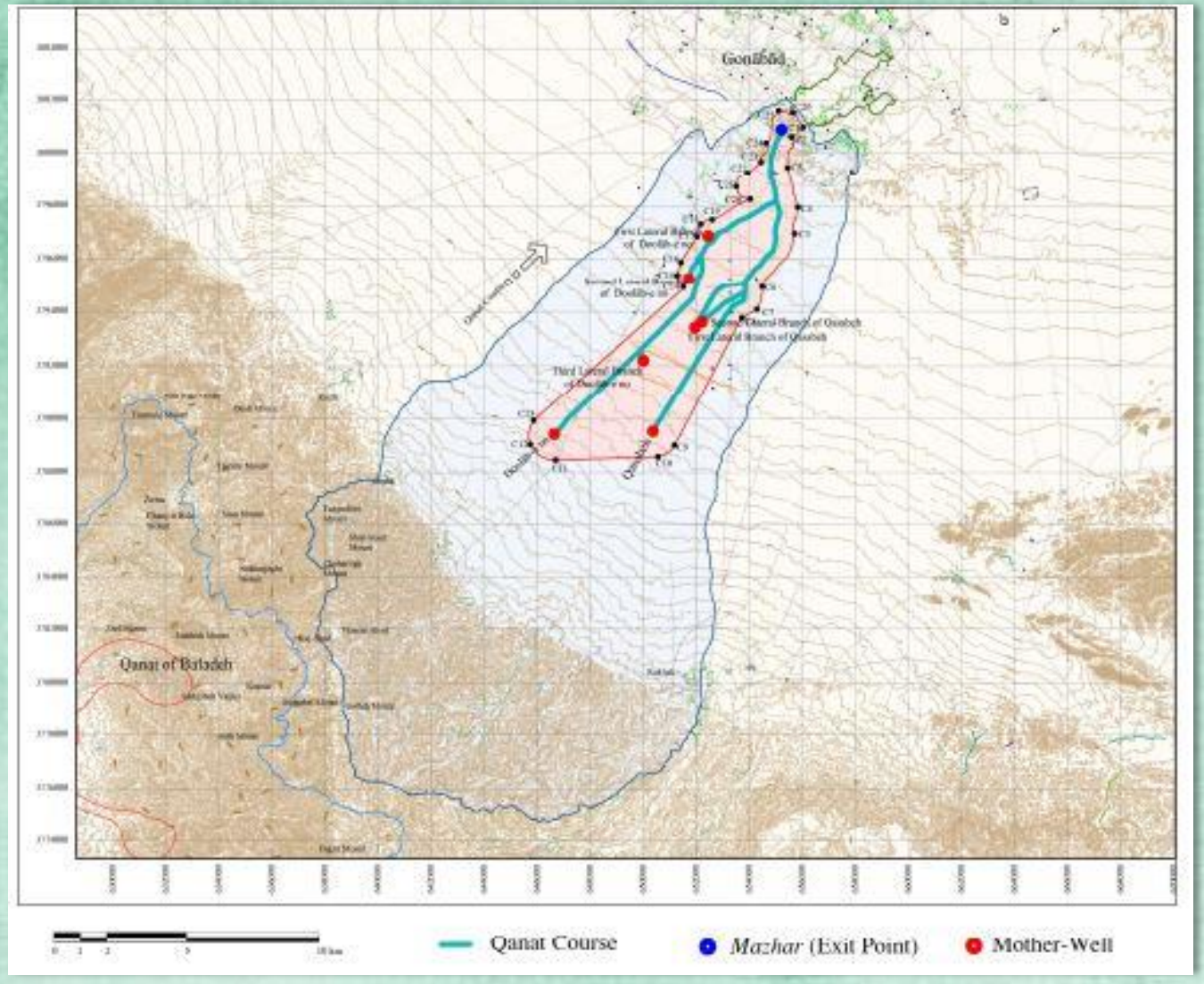
- قنات را روی هر زمینی نمی توان حفر نمود.
- در زمین‌های هموار و نواحی که آب زیرزمینی شیب کافی ندارد، شرایط برای احداث قنات، مساعد نیست.
- بنابراین حفر قنات در این نقاط، موفقیت آمیز و ثمربخش نخواهد بود.
- در سیستم قنات به علت افقی و کم عمق بودن مجرا، از حداکثر ضخامت لایه های آبدار زمین و همچنین از تمامی امکانات ذخایر استفاده نمی شود.
- در زمین‌های خیلی سست و ماسه ای امکان حفر قنات نیست و اگر باشد مقرون به صرفه و بدون مزاحمت نخواهد بود.
- احداث قنات با وسایل ساده سنتی و با همان روش قدیمی، به نیروی کار زیادی احتیاج دارد و مدت زیادی هم طول می‌کشد، که در دنیای امروزی، از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و روی همین اصل هم است که کمتر کسی اقدام به حفر قنات می‌کند.

❑ قنات

نقشه فنی قنات قصبه



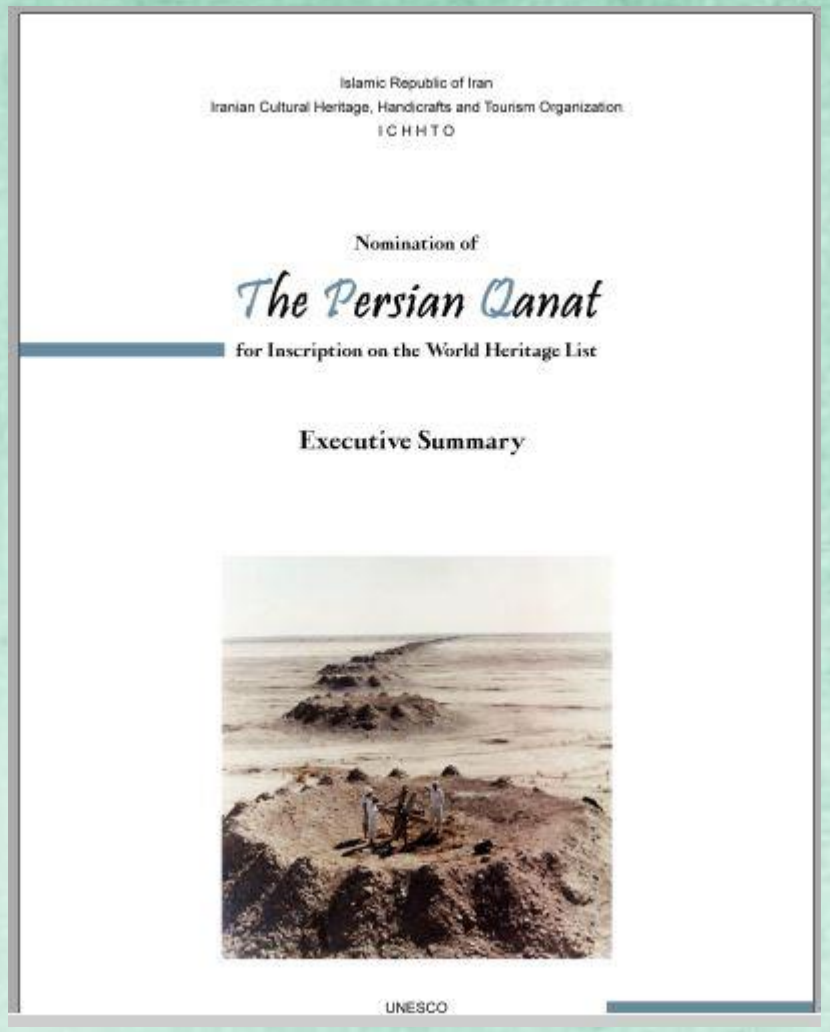
❑ قنات



منطقه قنات قصبه

❑ قنات

قنات‌های ایران در سازمان آموزشی، علمی و فرهنگی سازمان ملل متحد (یونسکو) تحت عنوان قنات‌های پارسی ثبت شده‌اند.



❑ سازندهای آبدار

❖ به سازندها و تشکیلات زمین شناسی که به اندازه کافی نفوذپذیر بوده و حجم آب قابل توجهی را در خود ذخیره کند لایه آبدار یا آبخوان گفته می شود.

❖ معمولاً مواد تشکیل‌دهنده لایه آبدار ماسه، شن و یا سنگ‌ریزه‌هایی هستند که هنوز تحکیم نیافته‌اند.

❖ این‌گونه لایه‌ها در دره‌های آبرفتی و بستر قدیمی رودخانه‌های پوشیده از رسوبات ریز، دشت‌های ساحلی، شن‌های روان و رسوبات یخچالی دیده می‌شوند.

❖ نوع دیگری از جریان آب زیرزمینی در گالری‌های طبیعی است که در سنگ‌های آهکی به وجود می‌آید و آبدهی زیادی نیز دارند. مطالعه این نوع جریان آب زیرزمینی، تحت عنوان آب‌های زیرزمینی مناطق کارستی مطرح می‌گردد. سنگ‌های رسوبی مانند شیل‌ها و سنگ‌های آهکی سخت شده ، لایه های آبدار خوبی نیستند و معمولاً سنگ‌های رسوبی با تراکم زیاد نیز مقدار کمی آب دارد.

❖ مصالح آتش‌فشانی از قبیل بازالت و لاوا به شرط اینکه دارای تخلخل یا تراکم زیادی باشند، لایه های آبدار مناسبی هستند.

❑ سازندهای آبدار

انواع لایه آبدار؛ رسوبات سخت نشده

- بیشتر سفره‌های آب زیرزمینی را رسوبات متراکم نشده شامل ماسه، شن، قلوه‌سنگ و غیره تشکیل می‌دهد.
- آبرفت‌ها، رسوبات بادی و رسوبات یخچالی هم می‌توانند لایه های آبدار خوبی را تشکیل دهند. آبرفت‌های زیر بستر رودخانه و دشت‌های سیلابی مجاور آن‌ها هم از بهترین لایه های آبدار یا آبخوان هستند و چاه‌هایی که در آن‌ها حفر می‌شود دارای آبدهی خوبی دارند.
- رسوبات آبرفتی و یخچالی در دره‌های مدفون‌شده یا رودخانه‌های قدیمی هم‌پتانسیل زیادی برای تشکیل لایه آبدار دارند. این نوع رسوبات بیشتر شامل ماسه و گراول هستند.
- مخروطه افکنه‌هایی که در اطراف دره‌های آبرفتی یافت می‌شوند دارای رسوبات با نفوذپذیری زیادی هستند و محل‌های مناسبی برای نفوذ باران و رواناب‌های جاری‌شده در مناطق کوهستانی هستند. مخروطه افکنه‌ها ازنظر تشکیل سفره آب زیرزمینی ارزش زیادی دارند.

❑ سازندهای آبدار

انواع لایه آبدار؛ رسوبات سخت نشده

❖ تلماسه‌های مناطق ساحلی و نهشته‌های بادی محل‌های مناسبی برای تشکیل لایه آبدار و سفره آب زیرزمینی هستند. تلماسه‌ها از ماسه‌های نسبتاً یکنواخت با نفوذپذیری زیاد تشکیل‌شده است.

مناطق یخچالی با یخ‌برف‌های یکنواخت و با نفوذپذیری زیاد محل‌های مناسبی برای تشکیل لایه آبدار است، که پتانسیل آبی آن‌ها زیاد است.

❑ سازندهای آبدار

انواع لایه آبدار؛ سنگ‌های رسوبی

- ❖ سنگ‌های آهکی حفره‌دار ازنظر تشکیل لایه آبدار، دارای پتانسیل خوبی برای تشکیل لایهٔ آبدار در بین سنگ‌های رسوبی هستند.
- ❖ مجاری و حفره‌هایی که در اثر حل شدن کربنات کلسیم توسط اسیدهایی مثل دی‌اکسید کربن و اسیدهای آلی موجود در آب‌های جاری به وجود می‌آیند، فضاهایی هستند که به‌صورت لایه آبدار عمل می‌کنند.
- ❖ این حفره‌ها در مناطقی که جریان آب‌های سطحی تمرکز دارند بیشتر دیده می‌شود. عملاً وجود این مجاری انحلالی در سنگ‌های آهکی است که از آنها به عنوان منابع زیرزمینی آهکی نام برده می شود.

- ❖ فضاهای خالی سنگ‌های آهکی از منافذ ریز تا حفرات و غارهای بزرگ که تشکیل رودخانه‌های زیرزمینی را می‌دهد، متغییر است. در سنگ‌های آهکی گاهی چشمه‌های بزرگی دیده می‌شود که دارای آب خیلی زیادی هستند. چشمه‌های سر شاخه‌های کارون، چشمه‌های گاماسیاب و شاخه‌های کرخه از این نوع هستند.

❑ سازندهای آبدار

انواع لایه آبدار؛ سنگ‌های رسوبی

❖ تکامل نهایی سازندهای آهکی ایجاد نواحی کارستی می کند. منطقه زاگرس که سرچشمه رودخانه های خروشان کشور در آن واقع است، منابع کارستی فراوانی وجود دارد.

❖ کارستی: خوردگی و انحلال توده‌سنگ‌های کربناته از قبیل آهک، سنگ گچ و دولومیت است. این پدیده در سایر سنگ‌های انحلال‌پذیر مانند سنگ‌های سولفاته و کلروره نیز اتفاق می‌افتد. کارست در سنگ‌های آواری هم دیده می‌شود. برای مثال ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراهای دارای سیمان کربناته یا سولفاته تحت تأثیر انحلال کارستی خواهند شد.

❖ نام این پدیده از فلات کارست در نزدیکی مرز اسلوونی و ایتالیا گرفته شده است.

❖ شکل گیری یک سیمای کارستی در گرو وجود دو عامل است:

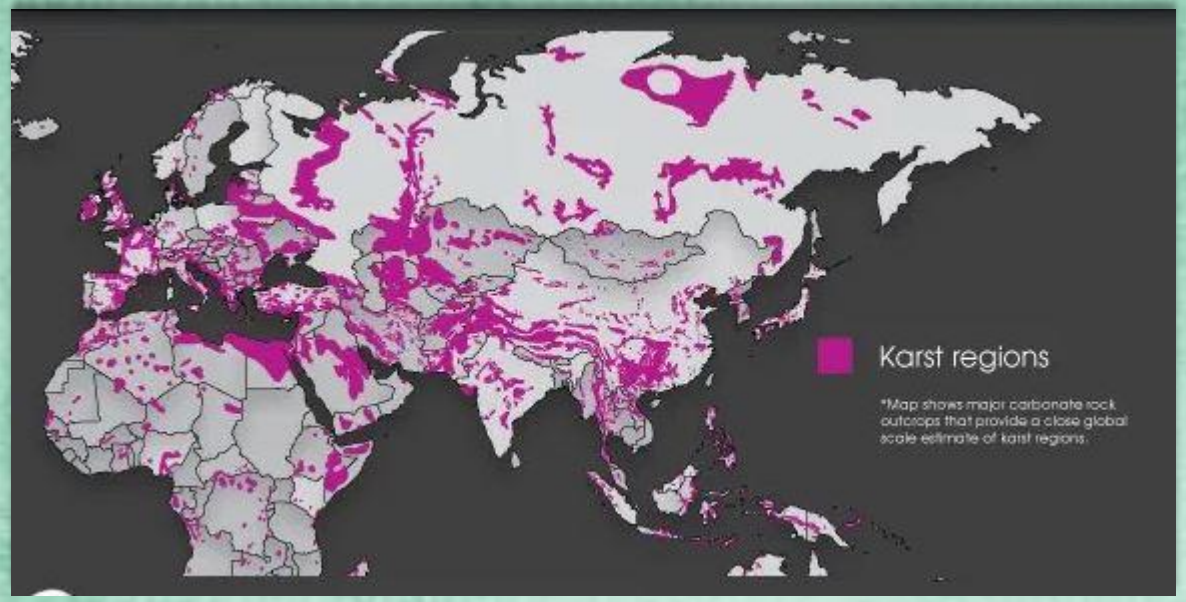
❖ توده سنگ قابلیت انحلال داشته باشد

❖ زمینه تشکیل یک سیستم جریان آب زیرزمینی فراهم گردد.

❑ سازندهای آبدار

$$H_2O + CO_2 \rightarrow H_2CO_3$$

$$CaCO_3 + H_2CO_3 \rightarrow Ca^{2+} + 2\,HCO_3^-$$



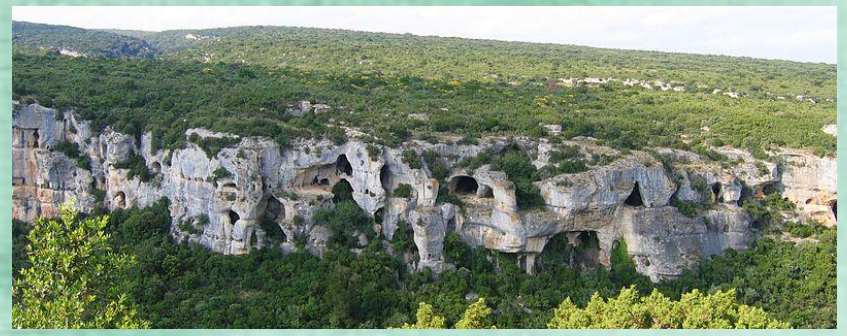
انواع لایه آبدار؛ سنگ‌های رسوبی

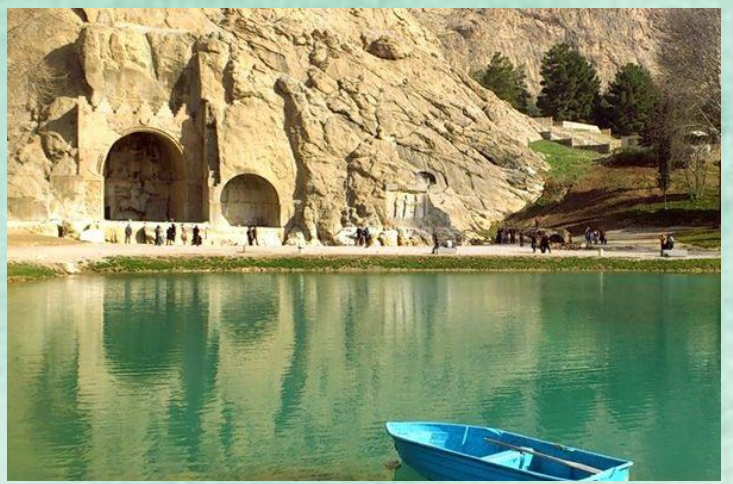
شی دونگ ، معروف به غار سنگ ، جایی است که رود یانگ لیو در سفر پنهان خود در زیر زمین در کانال های غاری ناپدید می شود.

مناطق کارستی بخش‌های قابل توجهی از آسیا ، اروپا و قاره آمریکا را پوشش می دهد ، مناظر کارستی حدود ۱۵ درصد از توده زمین را دربر می‌گیرد.

https://www.circleofblue.org/2010/world/hidden-waters-dragons-in-the-deep-the-freshwater-crisis-in-chinas-karst-regions/

وی اظهار داشت: به طور کلی بیشترین پوشش کره زمین را سنگ‌های آهکی تشکیل می‌دهند و نیاز آبی ۲۵ درصد جمعیت دنیا و ۵۰ درصد کشورهای اروپایی از منابع کارستی تامین می‌شود.





انواع لایه آبدار؛ سنگ‌های رسوبی

- در سنگهای رسوبی دیگری که حاوی گچ هستند، کمتر سفره های آب زیرزمینی تشکیل می شود و درصورت تشکیل هم آب دارای کیفیت خوبی نیست.
- ماسه سنگ‌ها اگر هنوز سیمانی نشده باشند و دارای درز و شکاف فراوان باشند، می‌توانند مواد خوبی برای تشکیل لایه‌های آبدار باشند.
- شیل‌ها هم معمولاً مواد خوبی برای تشکیل لایه‌های آبدار نیستند، مگر آنکه خردشدگی در آنها توسعه پیدا کرده باشد که در این صورت آبدهی کمی دارند.
- سنگ‌های مربوط به سازندهای شیلی و رسی هم اگرچه ممکن است دارای تخلخل زیادی باشند ولی به دلیل ریزدانه بودن منافذشان و وجود نیروی جذب سطحی زیاد بین ذرات و مولکول‌های آب، جریان آب در آن‌ها بسیار کم است و به همین خاطر به عنوان لایه‌های ناتراوا و یا غیرقابل نفوذ در نظر گرفته می‌شوند. مارن‌ها هم که مخلوطی از رس و آهک هستند دارای نفوذپذیری فوق العاده کمی بوده و بصورت لایه‌های ناتراواپ یا کم تراوا محسوب می‌شوند.

❑ سازندهای آبدار

سنگهای آتشفشانی

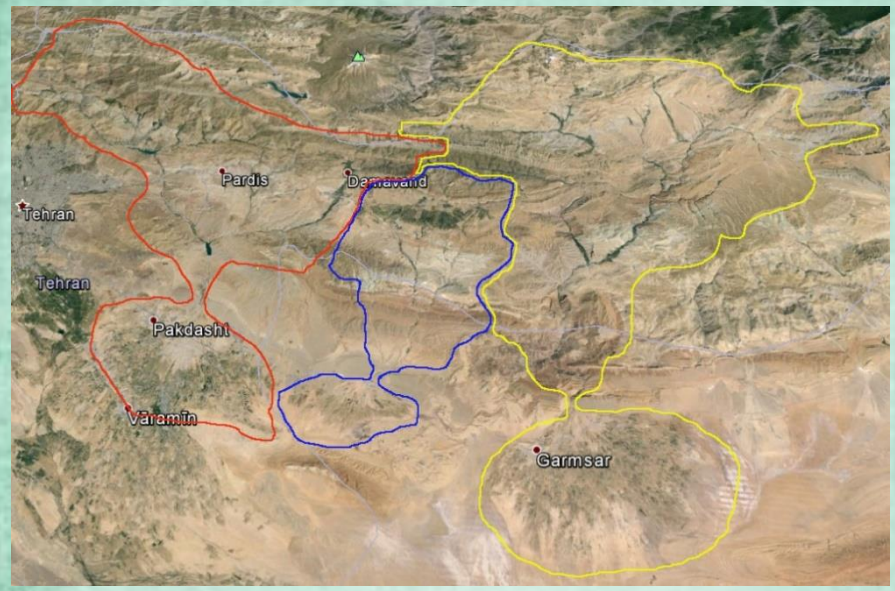
- ❖ این گونه سنگ‌ها از نظر تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی بسیار متفاوت هستند. بعضی از گدازه‌های بازالتی جدید فوق العاده نفوذپذیر هستند و می‌توانند لایه‌های آبدار خوبی را تشکیل دهند.
- ❖ توف‌ها و ریولیت‌ها اگرچه دارای تخلخل زیاد هستند ولی معمولاً نفوذپذیری خیلی کمی دارند. برعکس بعضی از گدازه‌های متخلخل به قدری نفوذپذیرند که فقط در صورت موانعی مانند سد می‌توان در آن‌ها آب ذخیره کرد. در طبیعت ممکن است وجود لایه‌های خاکستر آتشفشانی و یا مناطق با نفوذپذیری کم در کنار این سازندها به صورت مانع عمل کرده و سفره آب زیرزمینی شکل گیرد.

❑ سازندهای آبدار

- ✓ مَخروط اَفکَنه یا بادبزن آبرفتی، ته‌نشست‌های بادبزنی‌شکلی هستند که به‌وسیله رودخانه‌ها در محل‌هایی که شیب آن‌ها بطور ناگهانی کم می‌شود پدید می‌آیند.
- ✓ هنگامی که آبراهه‌ها از دره‌های پرشیب کوهستان وارد منطقه کم‌شیب و دشت شوند، به‌دلیل کاهش سرعت آب رسوبات خود را به صورت مخروط بازشده‌ای به‌جا می‌گذارند که مخروط‌افکنه (Alluvial Fan) یا مخروط آبرفتی نامیده می‌شود.
- ✓ رأس مخروط‌افکنه به‌سمت بالادست آبراهه و قاعده آن در پایین‌دست است.
- ✓ رسوبات مخروط‌افکنه در نزدیک رأس آن‌ها بیش‌تر از قطعات سنگ درشت‌دانه، قلوه سنگ‌های بزرگ تشکیل شده و به‌تدریج به سمت قاعده شامل دانه‌های شن، ماسه، مارن و رس است. مخروط‌افکنه در نواحی خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی بیش‌تر به صورت پراکنده است، گسترش زیادی دارد.

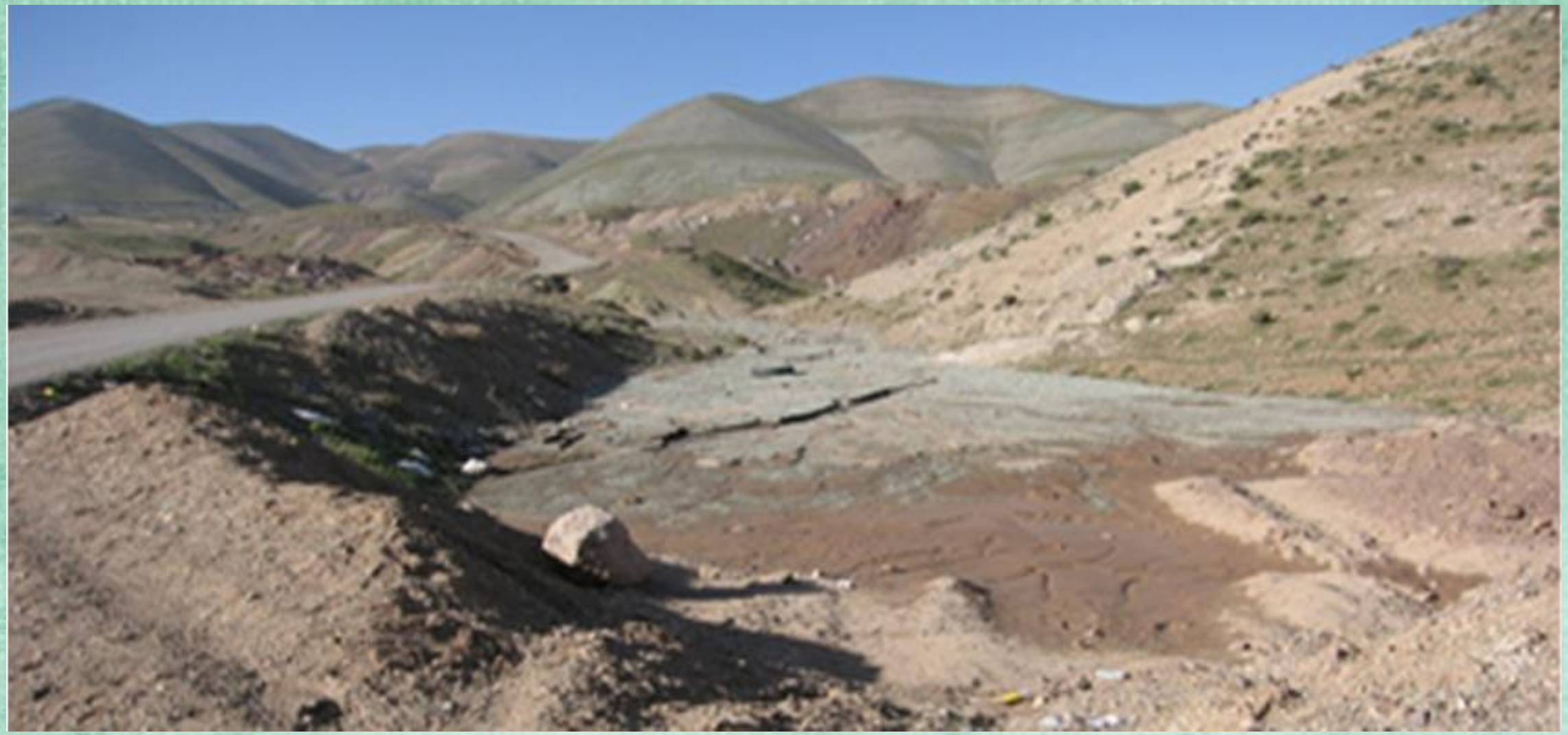
۱۷۰۰
۱۶۰۰
۱۵۰۰
۱۴۰۰
۱۳۰۰
۱۲۰۰
۱۱۰۰
۱۰۰۰

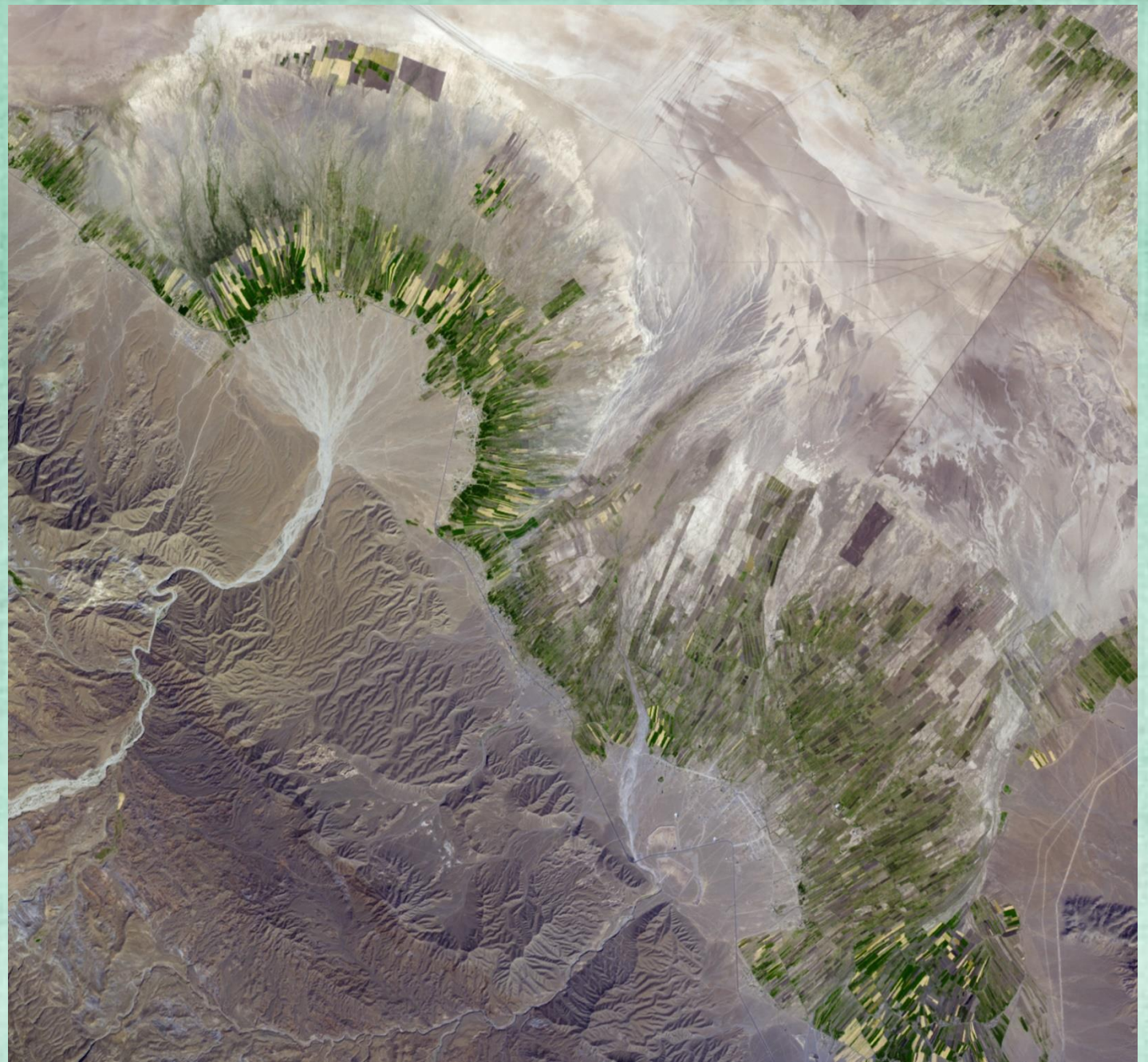
Daryacheh-ye Havir
Sarbandan


Pardis
Tehran
Tehran
Pakdasht
Varamin
Garmsar

Garmsār, Iran

❑ سازندهای آبدار

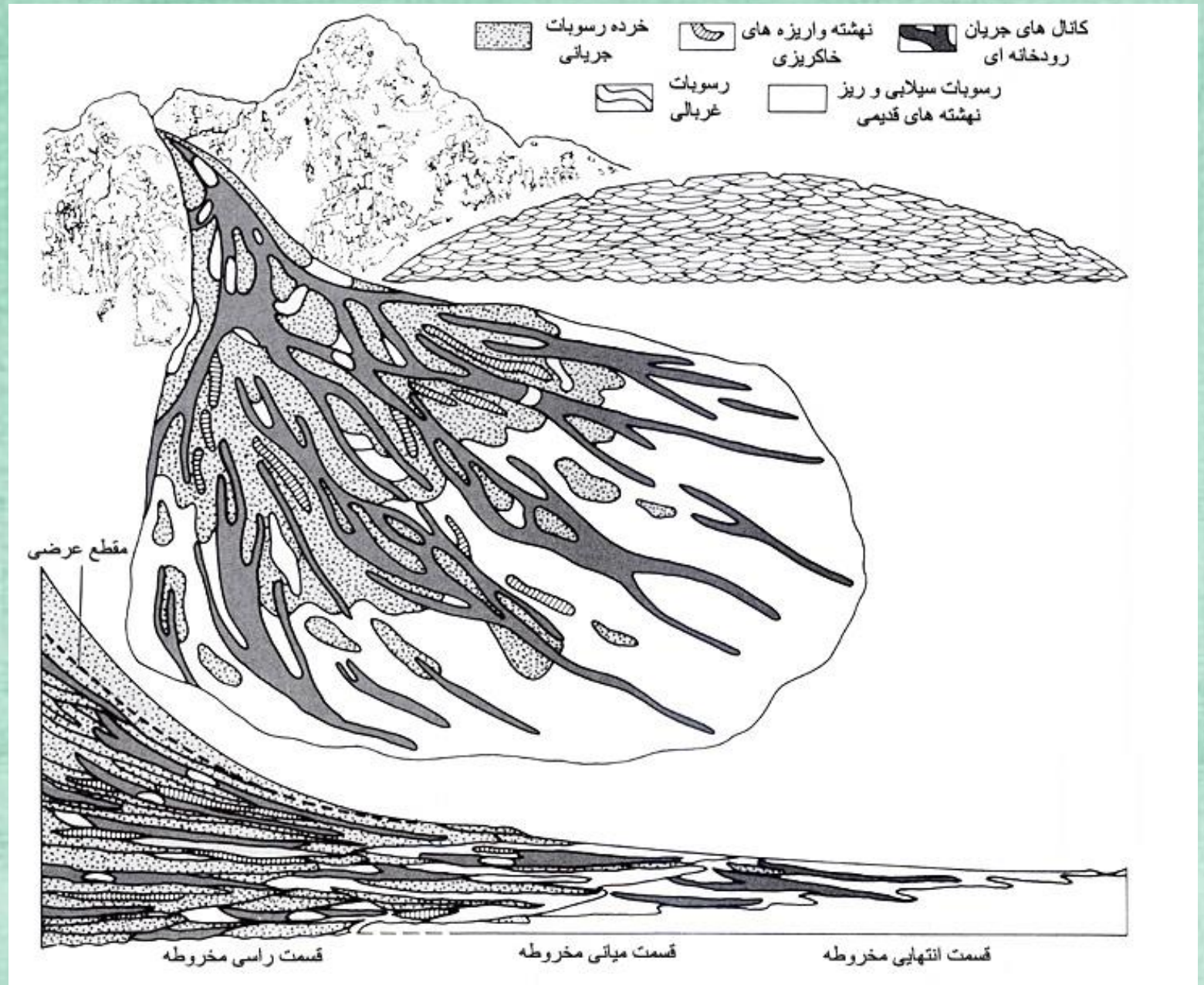


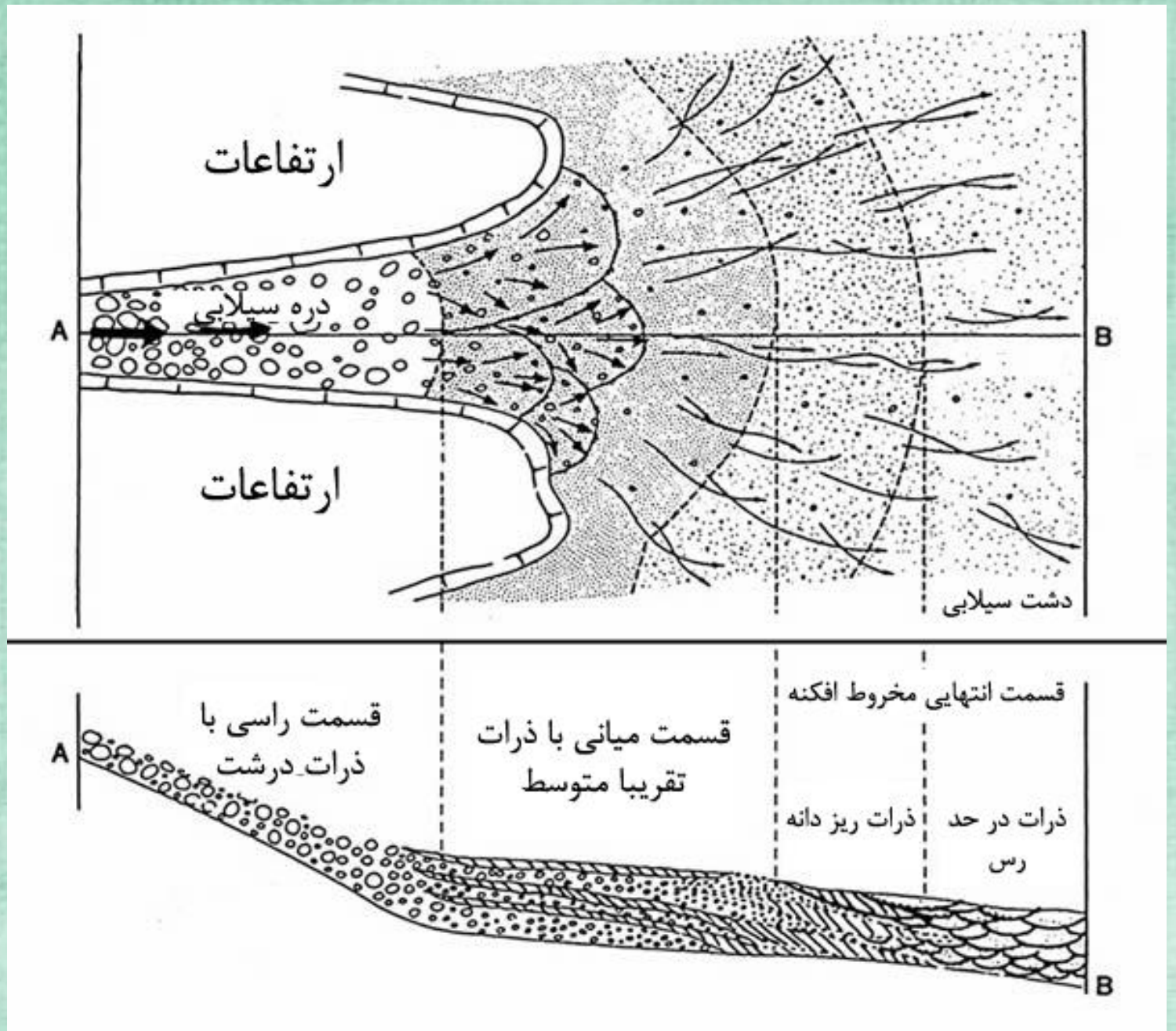


مادر چاه
میله چاه
مظهر قنات
مادر چاه
میله چاه
مظهر قنات
مادر چاه
میله چاه
مظهر قنات

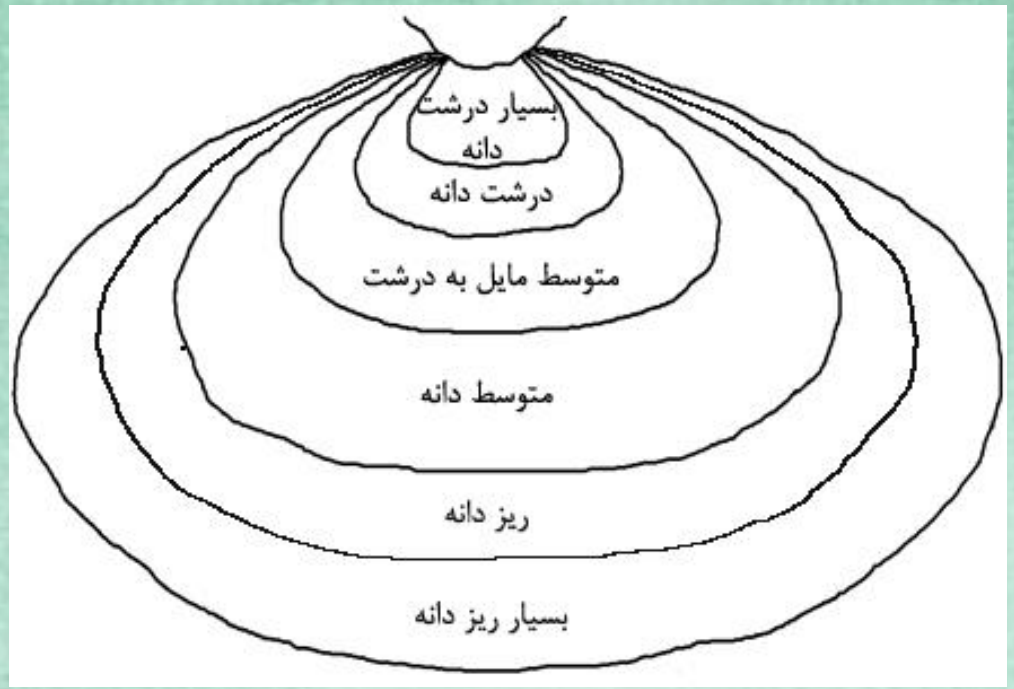
مناطق مناسب
منطقه نامناسب
منطقه نامناسب
منطقه نامناسب

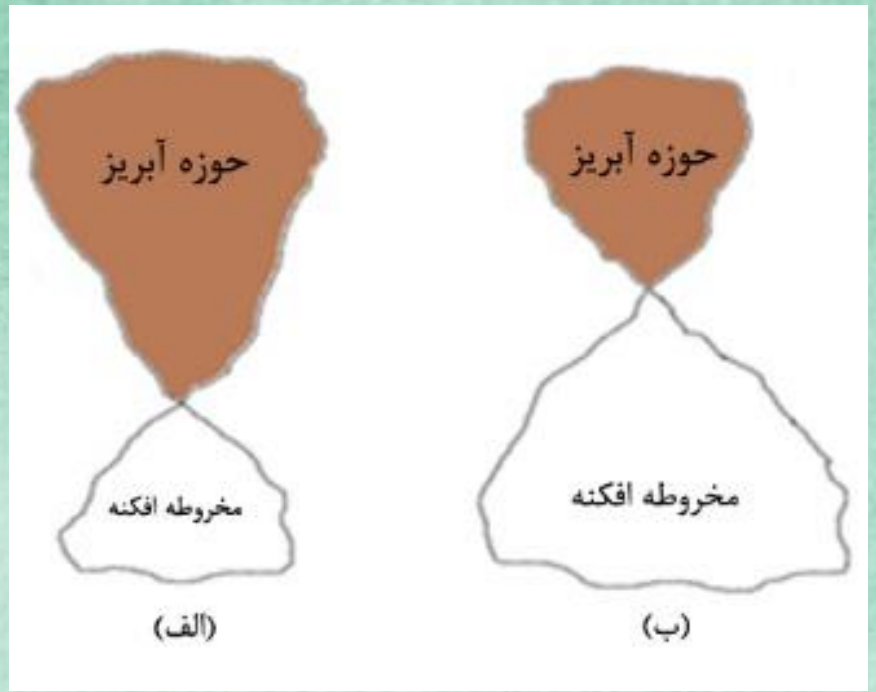
شهر ایوانکی
چشمه نادی


کانال های جریان رودخانه ای
نهشته واریزه های خاکریزی
خرده رسوبات جریانی
رسوبات سیلابی و ریز نهشته های قدیمی
رسوبات غربالی
مقطع عرضی
قسمت راسی مخروطه
قسمت میانی مخروطه
قسمت انتهایی مخروطه

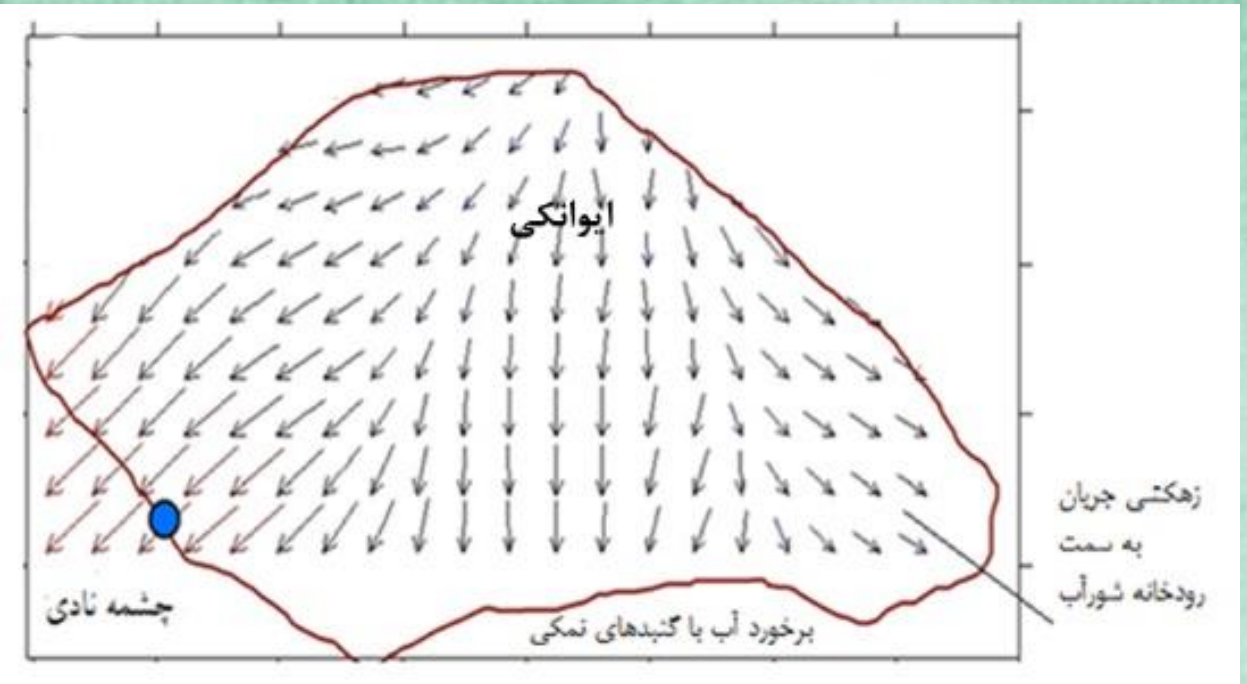

ارتفاعات
دره سیلابی
A
B
ارتفاعات
دشت سیلابی
قسمت راسی با
ذرات درشت
قسمت میانی با ذرات
تقریبا متوسط
قسمت انتهایی مخروط افکنه
ذرات ریز دانه
ذرات در حد
رس
A
B

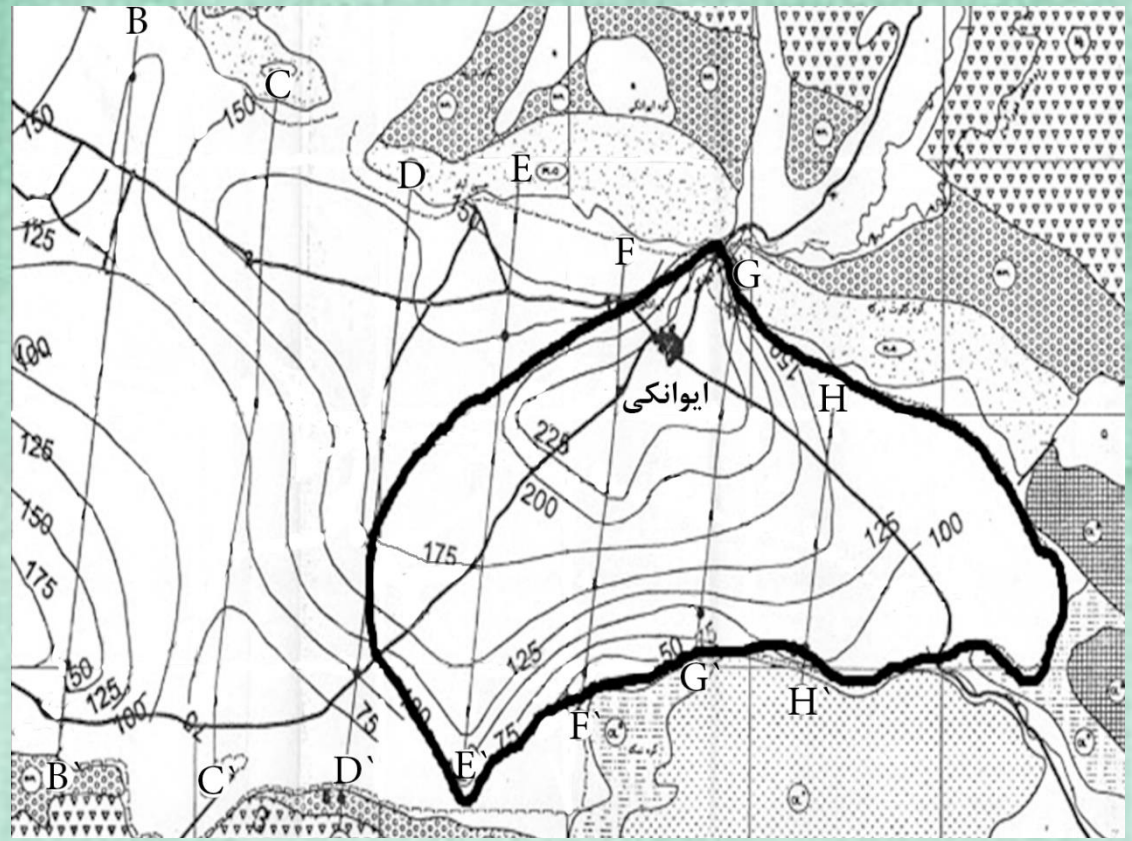
❑ سازندهای آبدار





❑ سازندهای آبدار





خواص خاک و سنگ موثر بر آب زیرزمینی

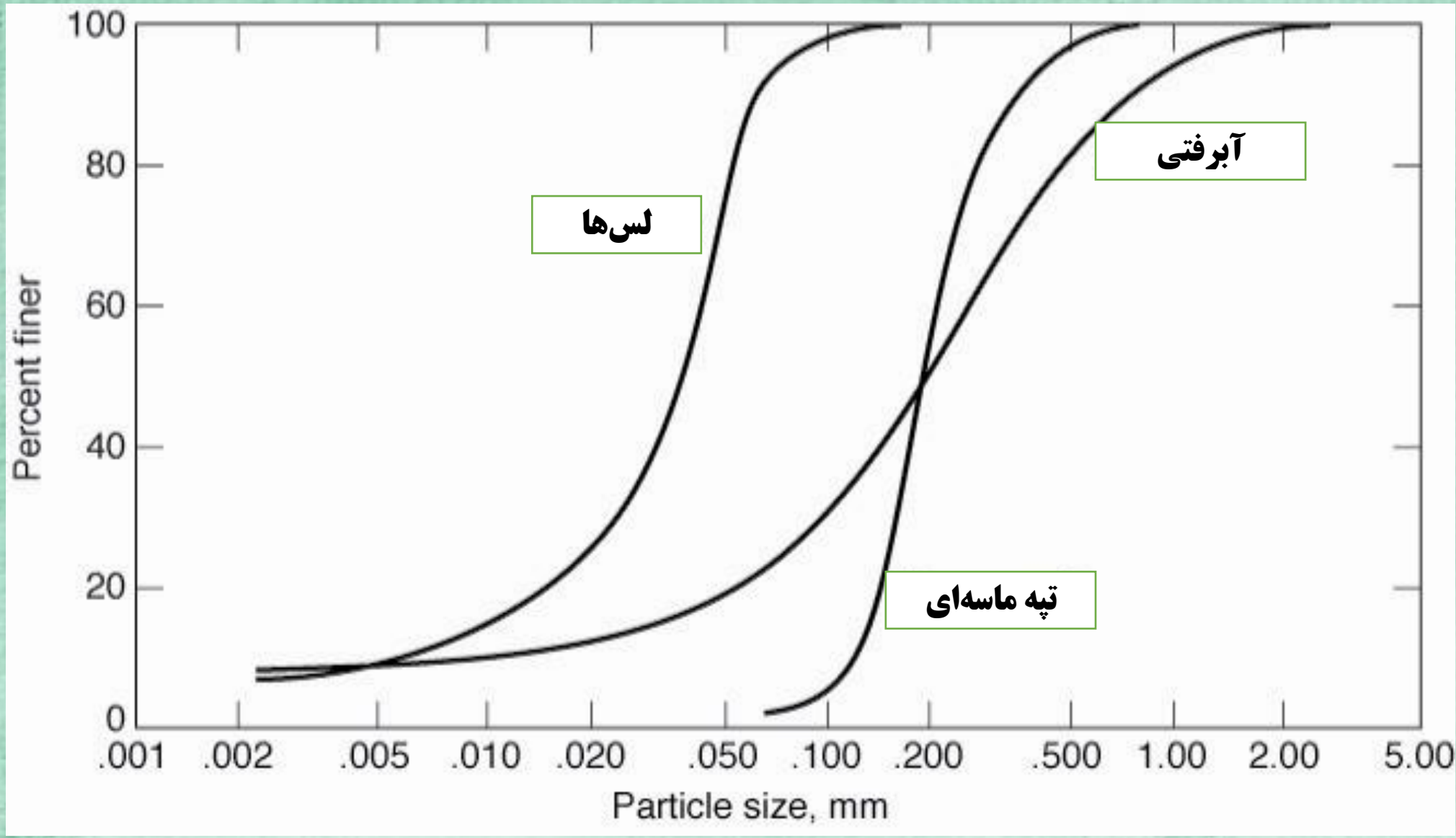
- **طبقه‌بندی خاک‌ها**
  - طبقه بندی بر اساس اندازه دانه ها.
  - منحنی دانه‌بندی خاک برای طبقه‌بندی خاک‌ها استفاده می‌شود. برای این کار از الک‌های استاندارد استفاده می‌شود.
  - d_{10}: اندازه موثر داده‌ها.

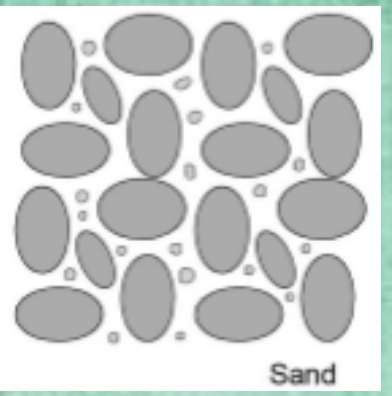
  - ضریب یکنواختی:
  - (U_c بزرگتر از ۶: خاک خوب دانه‌بندی شده است.)
  - بافت خاک را می‌توان از نمودار مثلثی بدست آورد.

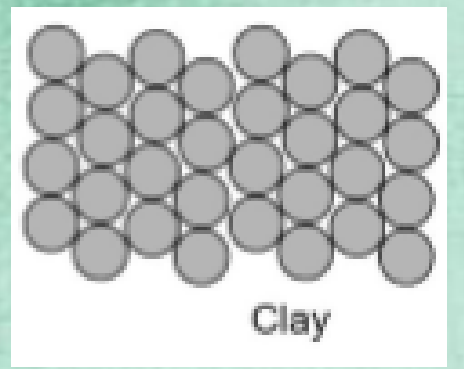
$$Uc = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

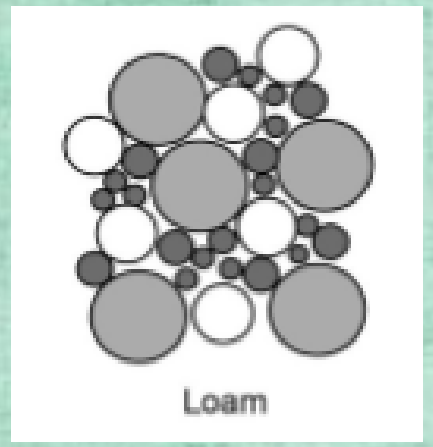
Table 2.2.2 Soil Classification Based on Particle Size (after Morris and Johnson[45])

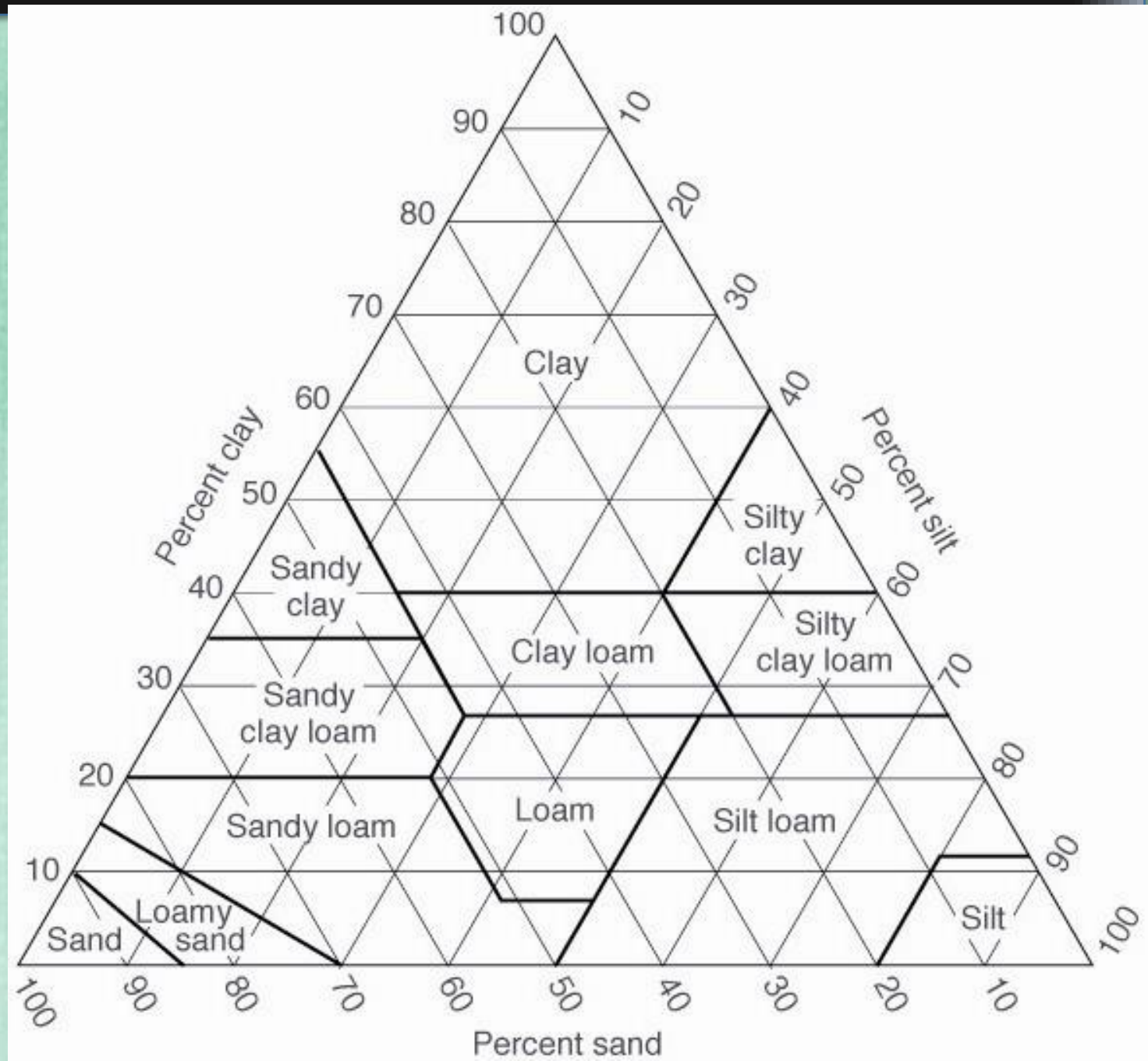
Material	Particle size, mm
Clay	<0.004
Silt	0.004 – 0.062
Very fine sand	0.062 – 0.125
Fine sand	0.125 – 0.25
Medium sand	0.25 – 0.5
Coarse sand	0.5 – 1.0
Very coarse sand	1.0 – 2.0
Very fine gravel	2.0 – 4.0
Fine gravel	4.0 – 8.0
Medium gravel	8.0 – 16.0
Coarse gravel	16.0 – 32.0
Very coarse gravel	32.0 – 64.0


100
80
60
40
20
0
Percent finer
.001
.002
.005
.010
.020
.050
.100
.200
.500
1.00
2.00
5.00
Particle size, mm
لس‌ها
آبرفتی
تپه ماسه‌ای


Sand


Clay


Loam


Percent clay
Percent silt
Percent sand
Clay
Silty clay
Sandy clay
Clay loam
Silty clay loam
Sandy clay loam
Loam
Silt loam
Sandy loam
Loamy sand
Sand
Silt

تخلخل

- عبارت است از در صد حجم فضاهای خالی موجود در یک سنگ به حجم کل آن

$$n = \alpha = \frac{V_v}{V_t}$$

n : تخلخل

V_v : حجم فضای خالی

V_t : حجم کل

عوامل مؤثر بر تخلخل در رسوبات سخت نشده

- ✓ درجه جور شدگی و شکل دانه ها
- ✓ آرایش دانه ها

الف : تخلخل بالا - دانه های گرد شده - با جور شدگی خوب

ب : تخلخل کم : دانه های گرد شده - باجور شدگی ضعیف

ج - تخلخل متوسط : دانه های گوشه دار - با جور شدگی خوب

د - تخلخل خیلی کم : دانه های گوشه دار - با جور شدگی ضعیف

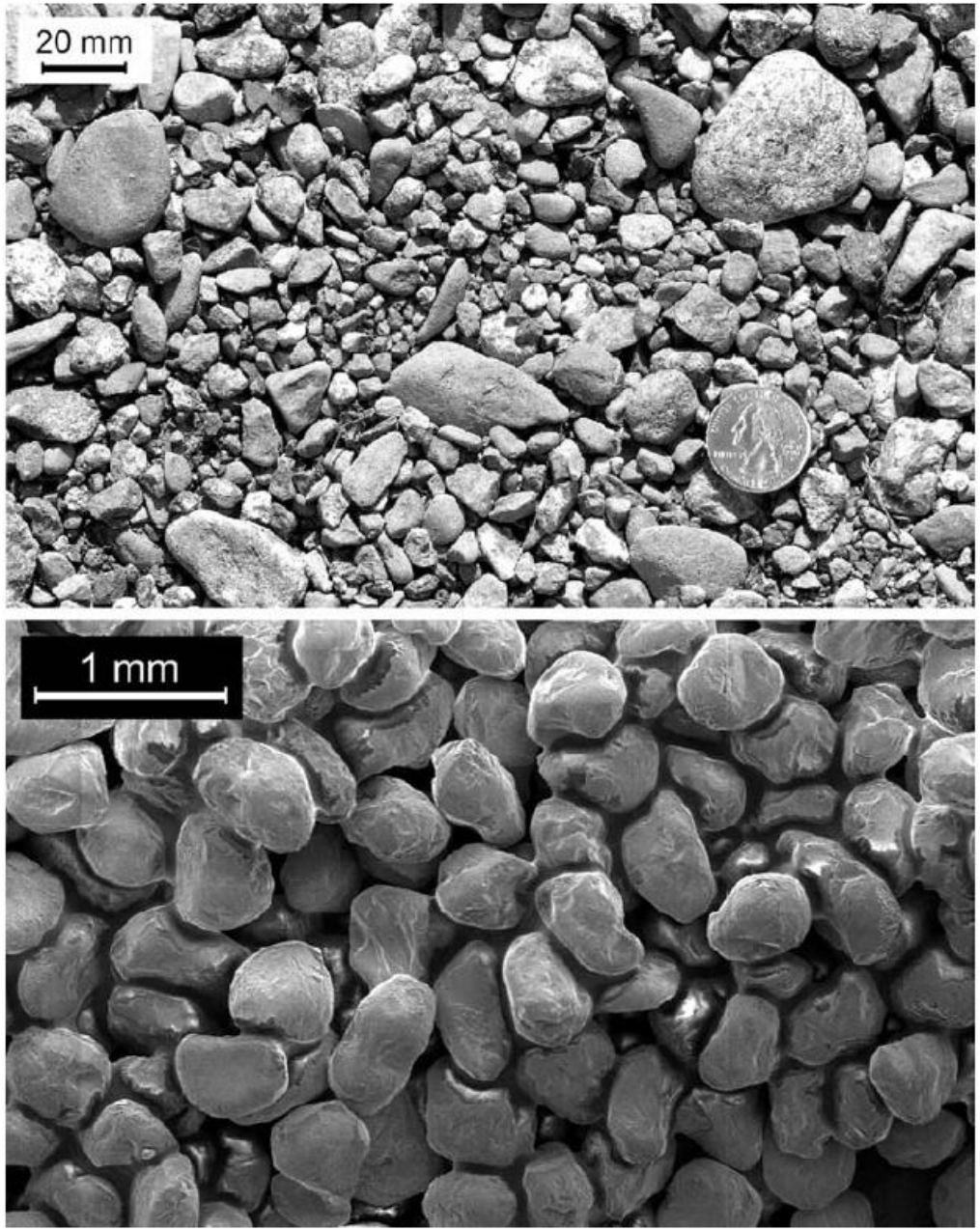


FIGURE 1.11 *Top*: Photograph of coarse alluvial gravel. *Bottom*: ESM (electron scanning microscope) image of uniform, pure quartz sand. (ESM courtesy of Dr. Scott Chumbley, Iowa State University.)

(Ref.: Hydrogeology and Groundwater Modeling, Kresic, 2007)

آبرفت

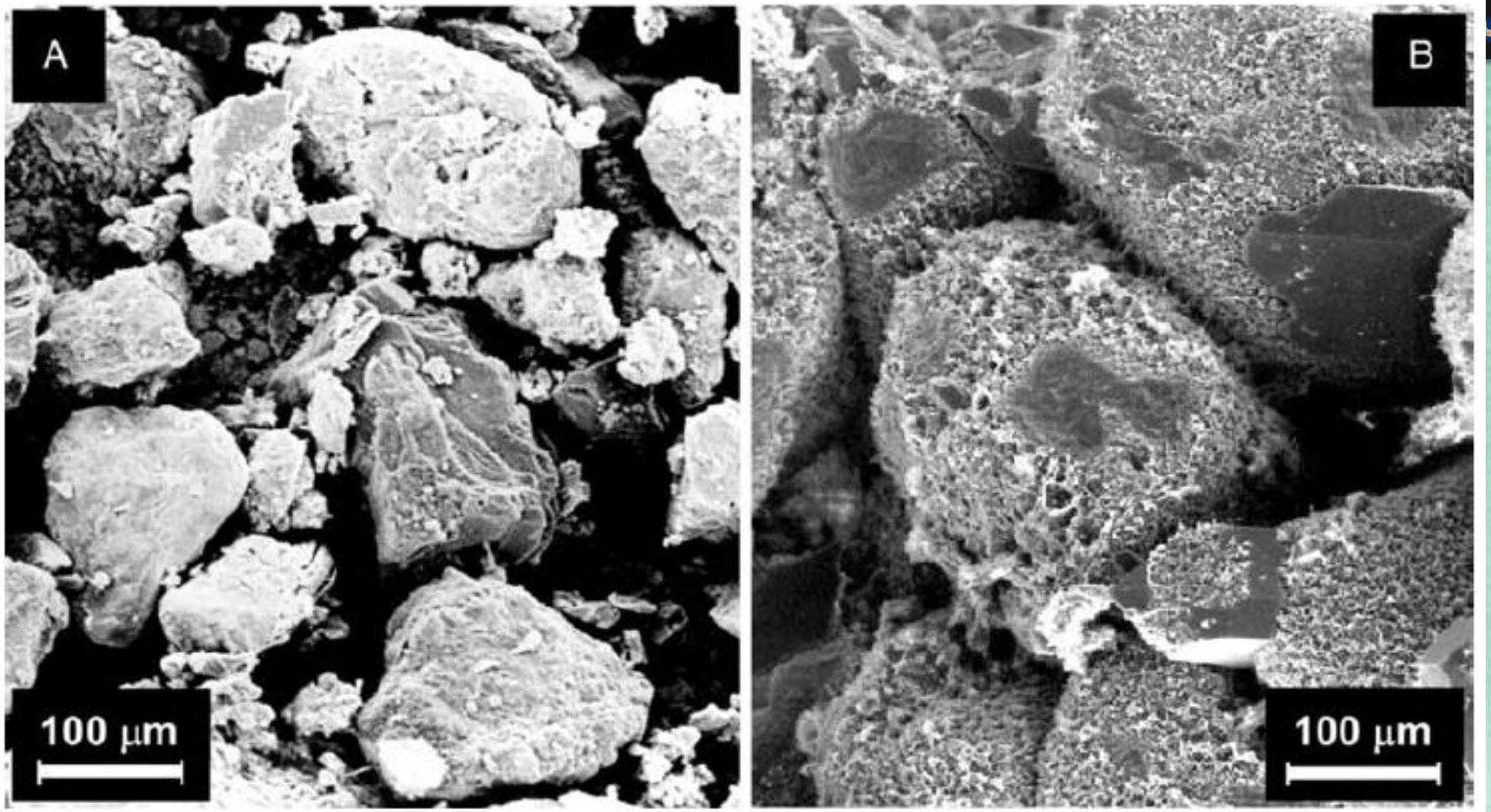


FIGURE 1.12 ESM images of two different types of sandstone. (a) Loosely cemented sandstone with high porosity. (Courtesy of Dr. Fred Longstaffe, The University of Western Ontario, Canada. With permission.) (b) Quartz grains and maybe feldspar grains coated with clay minerals; the clay minerals are likely illite or chlorite. (Courtesy of James Talbot. Copyright 2000, James Talbot, K/T GeoServices, Inc. With permission.)

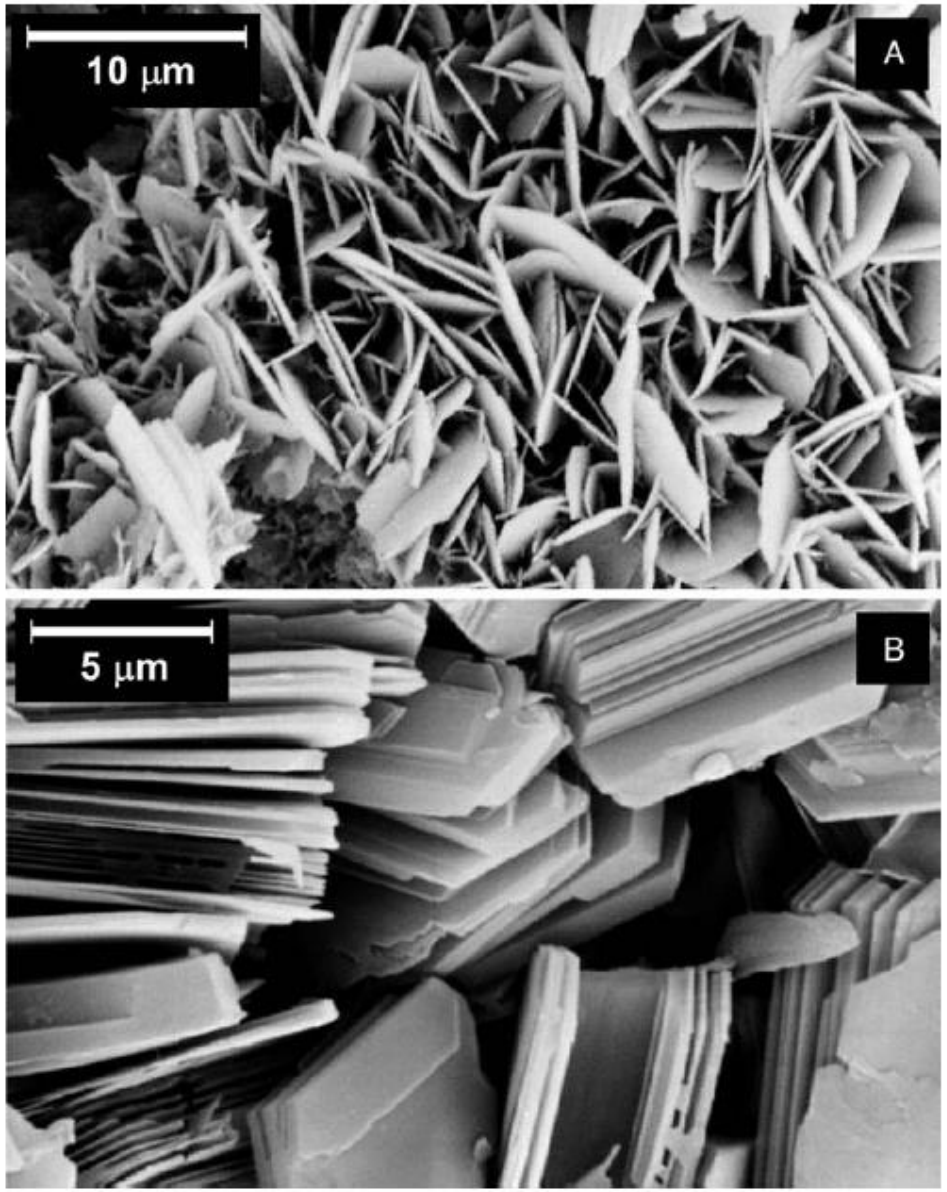


FIGURE 1.13 ESM images of clay minerals. *Top*: Authigenic chlorite in pore space of Lower Cretaceous Viking B sandstone, Alberta, Canada, showing house-of-cards texture. *Bottom*: Booklets and stacks of kaolinite filling pores space of the same sandstone. Chaotic arrangement of clay minerals like these result in high porosity and very low permeability of clay deposits due to prevalence of dead-end minute pores. (Courtesy of Dr. Fred Longstaffe, The University of Western Ontario, Canada; originally published in Schwartz and Longstaffe, 1988. Copyright The Geological Society of America, printed with permission.)

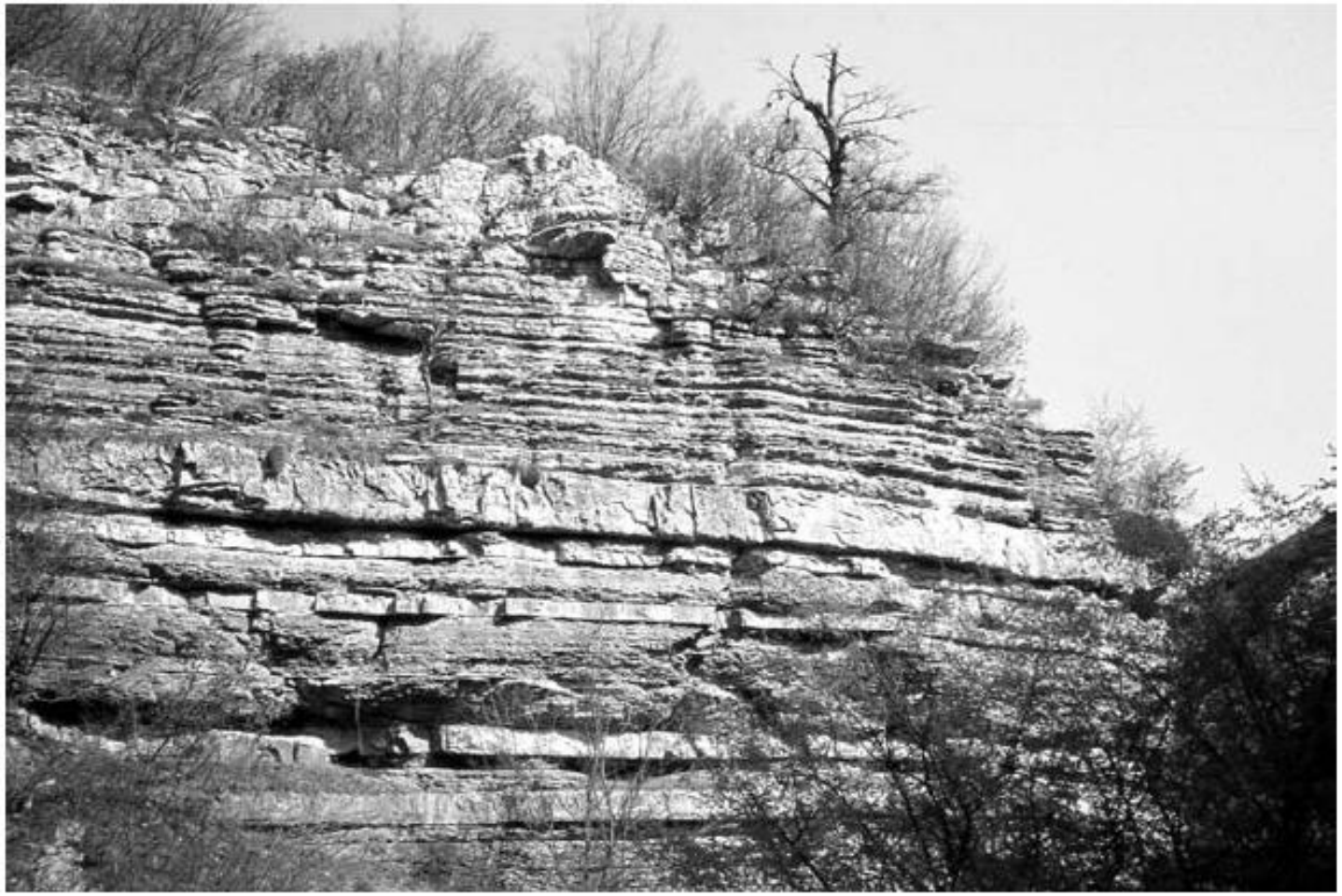


FIGURE 1.15 Bedding planes, short vertical fractures connecting bedding planes, and fractures intersecting multiple bedding planes in limestone and other sedimentary rocks provide for high interconnectivity of secondary porosity. Limestone and marly limestone beds in the Djerdap National Park, Serbia.

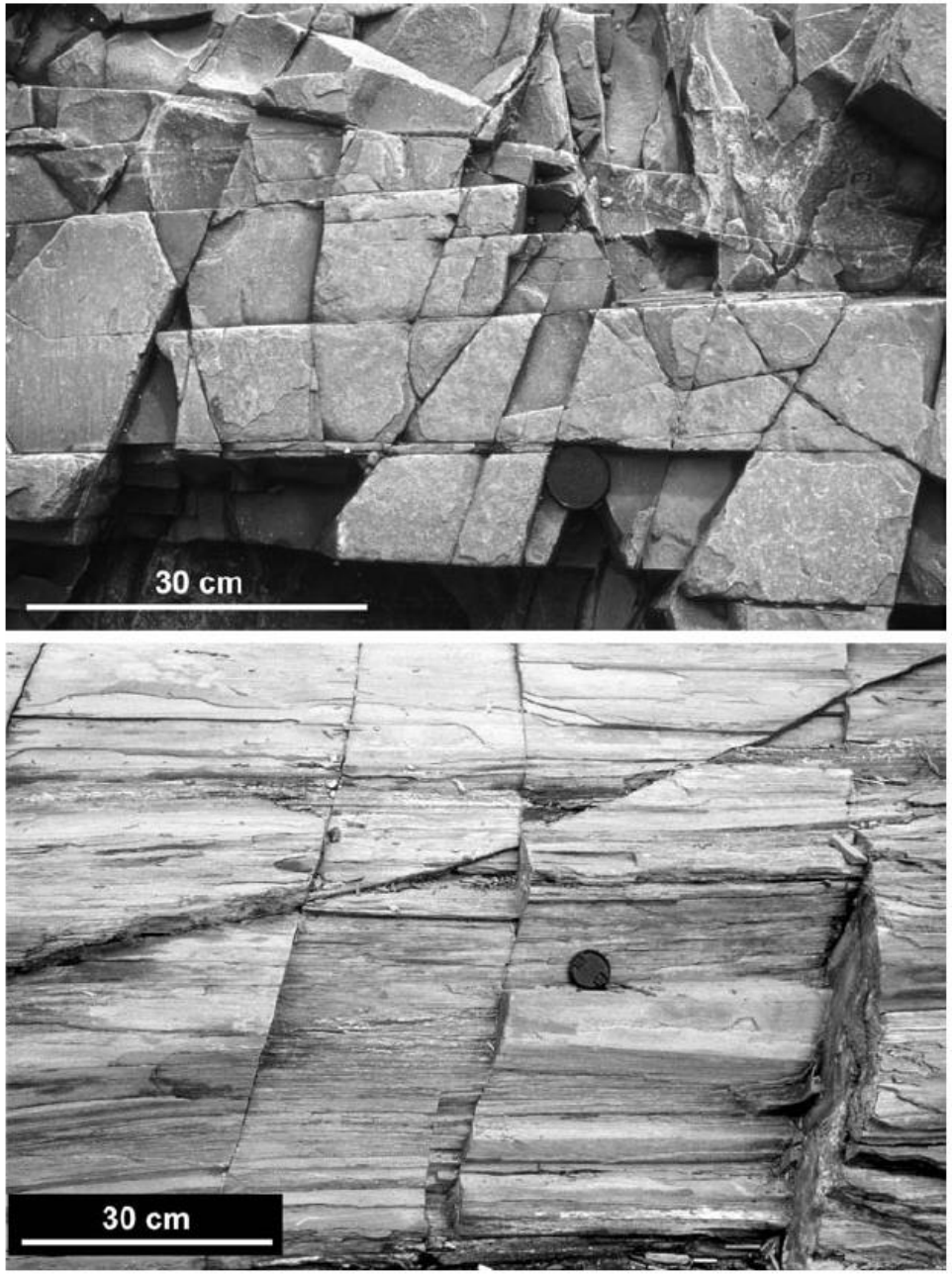


FIGURE 1.16 Examples of secondary fracture porosity in granite (top) and slate (bottom).

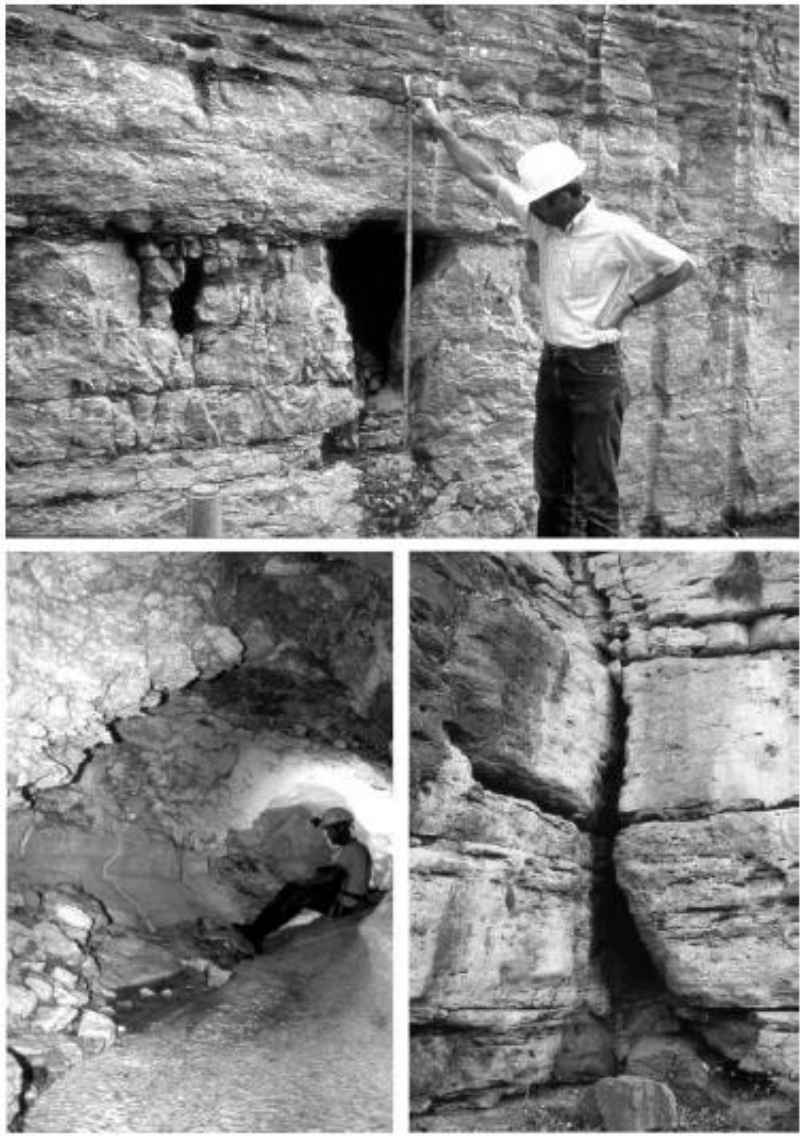


FIGURE 1.17 Voids of widely varying shapes and sizes, formed by dissolution of carbonate sediments such as limestone, dolomite, and gypsum, are the main characteristics of karst aquifers. Limestones in general have the highest variability of total porosity of all rocks: some old compacted and nonkartified limestones have porosity of less than 1%, while young oolitic karstified limestones may have dissolution-enhanced matrix porosity as high as 65%. (Top photo by George Sowers; printed with kind permission of Francis Sowers.)

Table 2.2.1 Representative Values of Porosity (after Morris and Johnson[45])

Material	Porosity, percent	Material	Porosity, percent
Gravel, coarse	28[a]	Loess	49
Gravel, medium	32[a]	Peat	92
Gravel, fine	34[a]	Schist	38
Sand, coarse	39	Siltstone	35
Sand, medium	39	Claystone	43
Sand, fine	43	Shale	6
Silt	46	Till, predominantly silt	34
Clay	42	Till, predominantly sand	31
Sandstone, fine grained	33	Tuff	41
Sandstone, medium grained	37	Basalt	17
Limestone	30	Gabbro, weathered	43
Dolomite	26	Granite, weathered	45
Dune sand	45		

[a]These values are for repacked samples; all others are undisturbed.

مقادیر نمونه تخلخل در خاک‌ها وسنگ‌ها

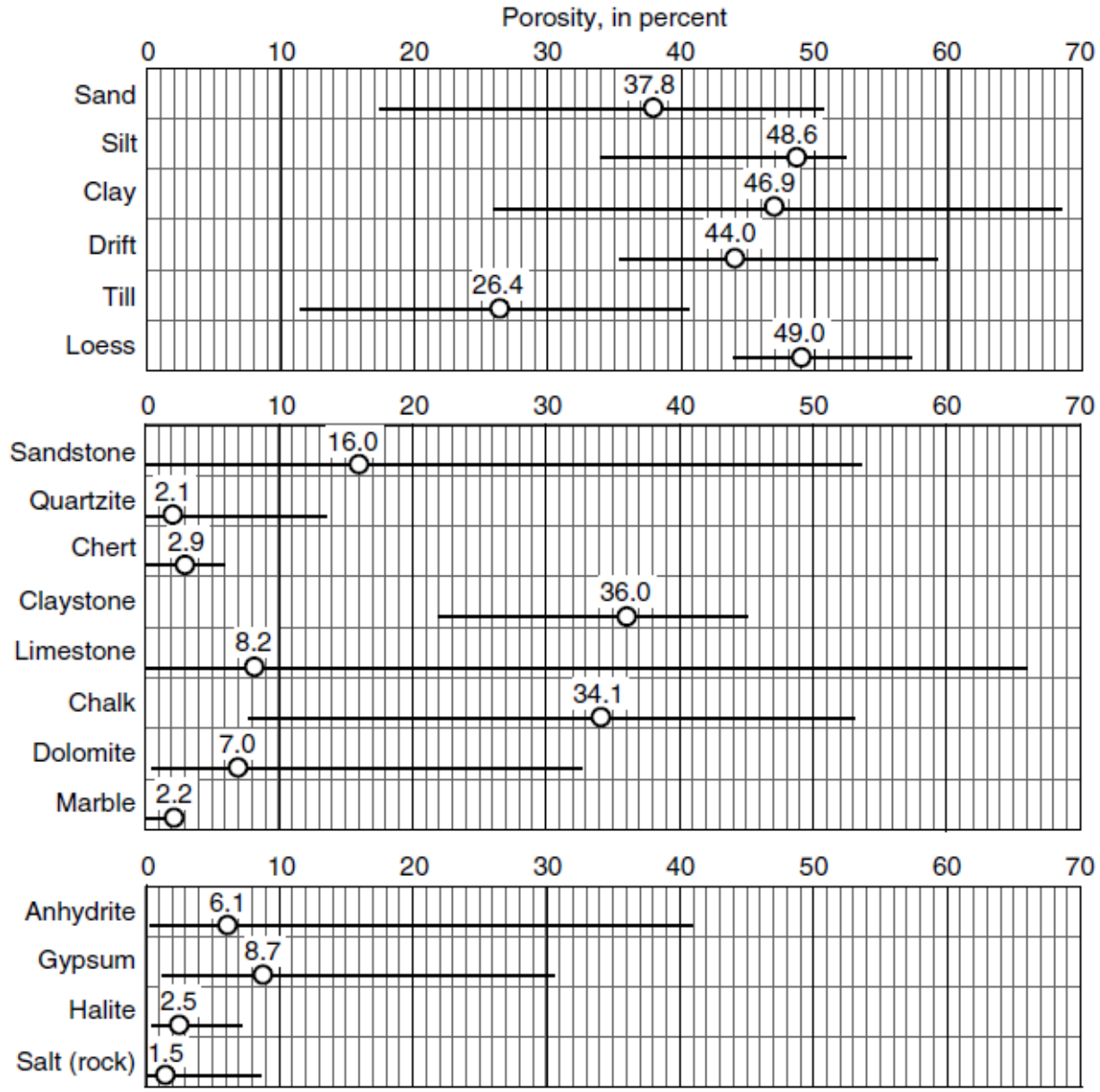


FIGURE 1.19 Porosity range (horizontal bars) and average porosities (circles) of unconsolidated and consolidated sedimentary rocks.

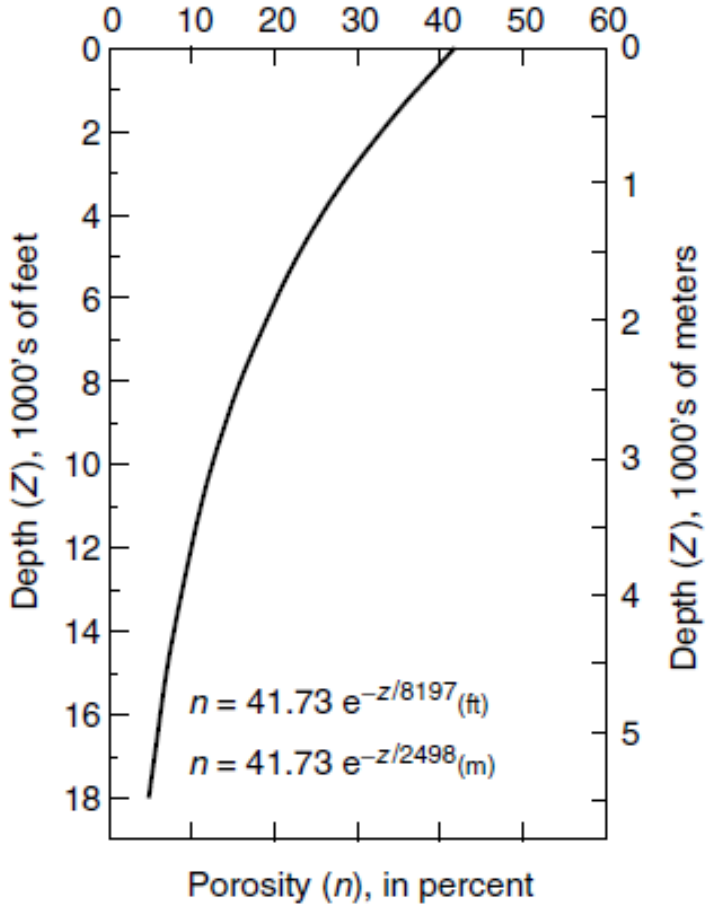
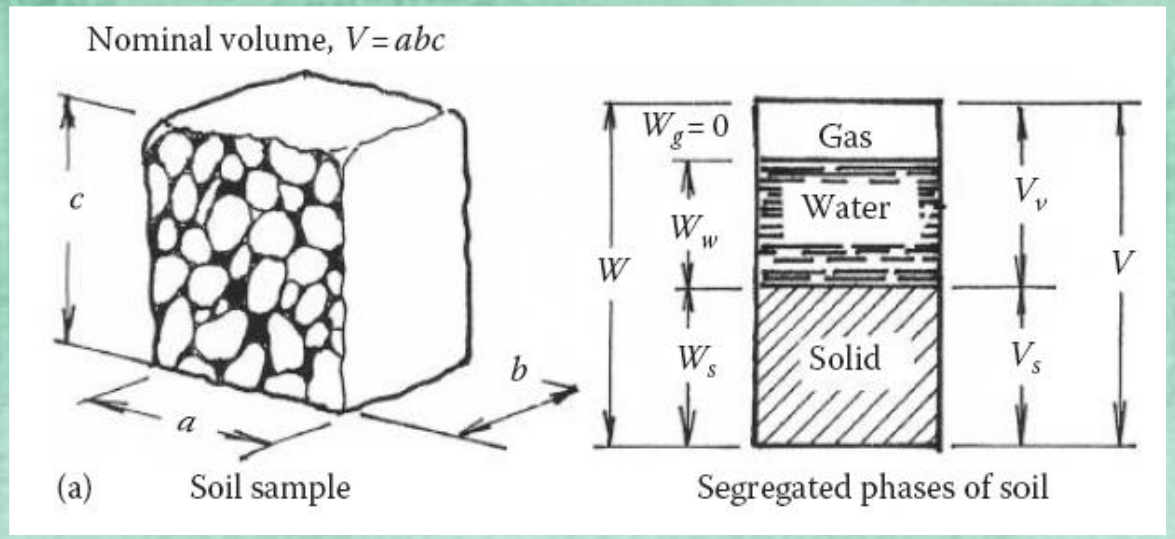
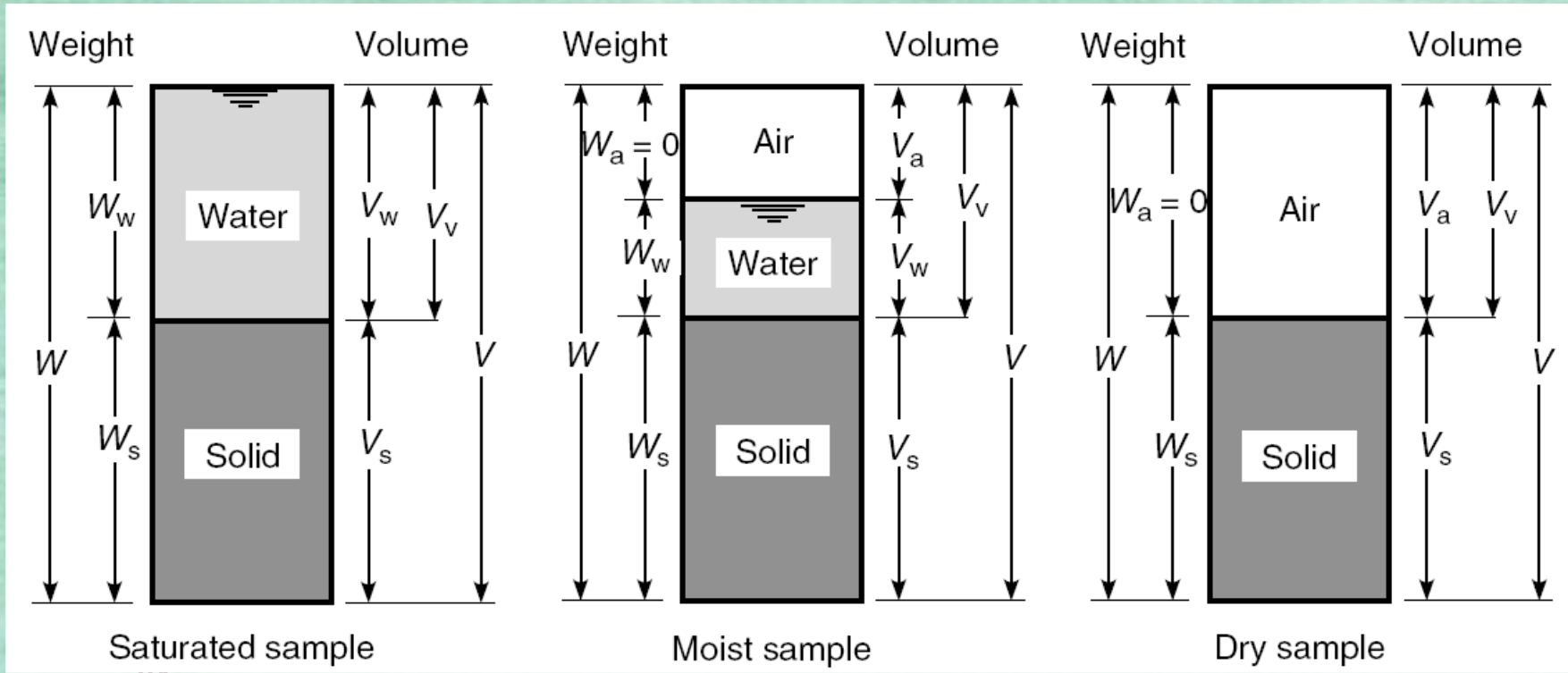


FIGURE 1.23 Least-square exponential fit for the porosity versus depth data, south Florida carbonates. (Simplified from Schmoker and Halley, 1982. Copyright AAPG 1982; reprinted with permission of the AAPG whose permission is required for further use.)

تخلخل با عمق خاک (زمین) کاهش می یابد.



دیاگرام سه فازی



The dry density of soil sample with porosity 0.4 is found to be 1650 kg/m³. Find the void ratio and the specific gravity of the sample.

Solution: The void ratio is defined as

$$\text{Void ratio, } e = \frac{\text{Volume of voids}}{\text{Volume of soil skeleton}} = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_v}{V - V_v} \qquad \text{(IP.2.3.1)}$$

or

$$e = \frac{V_v/V}{1 - V_v/V} = \frac{n}{1-n} \qquad \text{(IP.2.3.2)}$$

where n is the porosity. Substituting the value of n, we obtain the following:

$$e = \frac{0.4}{1.0 - 0.4} = 0.6667 \qquad \text{(IP.2.3.3)}$$

Referring to the following figure, the dry density is given by the following expression:

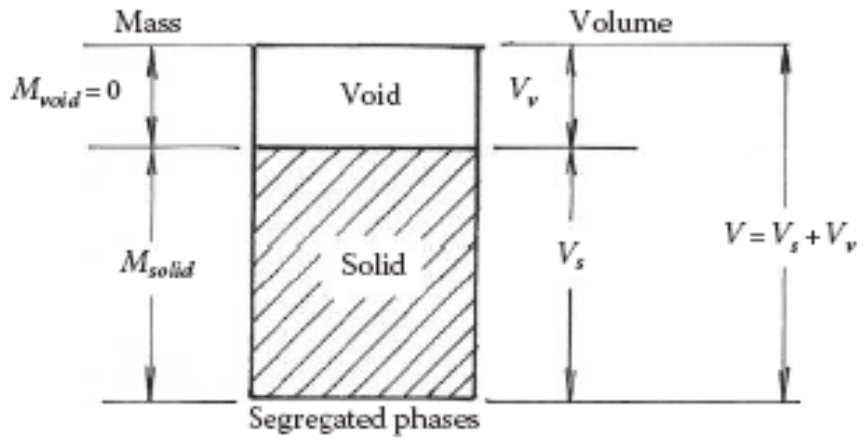
$$\rho_d = \frac{M_{solid}}{V} = \frac{M_{solid}}{V_s(1+e)} \qquad \text{(IP.2.3.4)}$$

e = نسبت خلاء

حجم خالی

به

حجم جامد



Thus, the mass of solid, M_{solid}, is given by the following expression:

$$M_{solid} = V_s(1+e)\,\rho_d \qquad \text{(IP.2.3.5)}$$

Likewise, the mass of water occupying the space V_s is given by the following:

$$M_{water} = V_s\rho_w \qquad \text{(IP.2.3.6)}$$

Thus, by definition, the specific gravity of the solid grains is given by the ratio of the two masses, as follows:

$$G_s = (1+e)\frac{\rho_d}{\rho_w} \qquad \text{(IP.2.3.7)}$$

where G_s stands for the specific gravity of the solid grains. Substituting the values in the preceding equation yields

$$G_s = (1+0.6667)\frac{1650\ \text{kg/m}^3}{1000\ \text{kg/m}^3} = 2.75 \qquad \text{(IP2.3.8)}$$

گوی‌های جامد یکنواخت با شعاع R در یک مکعب با ابعاد 20R قرار داده شده است. شکل قرار گرفتن گوی‌ها به صورت ردیفی است، به‌طوری که گوی‌های هر ردیف در وسط گوی‌های ردیفی مجاور قرار گرفته است (بسته‌بندی مکعبی) تخلخل را محاسبه کنید.

تعداد گوی‌های هر ردیف = ۱۰ در ۱۰

تعداد ردیف‌ها ۱۰

تعداد گوی‌ها = ۱۰۰۰

حجم گوی‌ها = ۱۰۰۰*(۴/۳)(Π R^3)

حجم مکعب = $(۲۰R)^3$

حجم فضای خالی = $(۲۰R)^۳$ -(۱۰۰۰) ($۴/۳\Pi R^3$)

تخلخل =حجم فضای خالی به حجم مکعب = ۰.۴۷۶

تمرین: ظرفی به حجم ۵۰ سانتی‌متر مکعب از ماسه نچسبید پر شده است. هنگام قرار گیری در استوانه مدرج، که قسمتی از آن از آب پر شده، قرار می‌گیرد به اندازه ۲۵.۷ سانتی‌متر حجم آب جابجا می‌شود. تخلخل ماسه را برآورد کنید.

●●●

خواص خاک و سنگ موثر بر آب زیرزمینی

- تخلخل و المان حجمی شاخص

المان حجمی شاخص

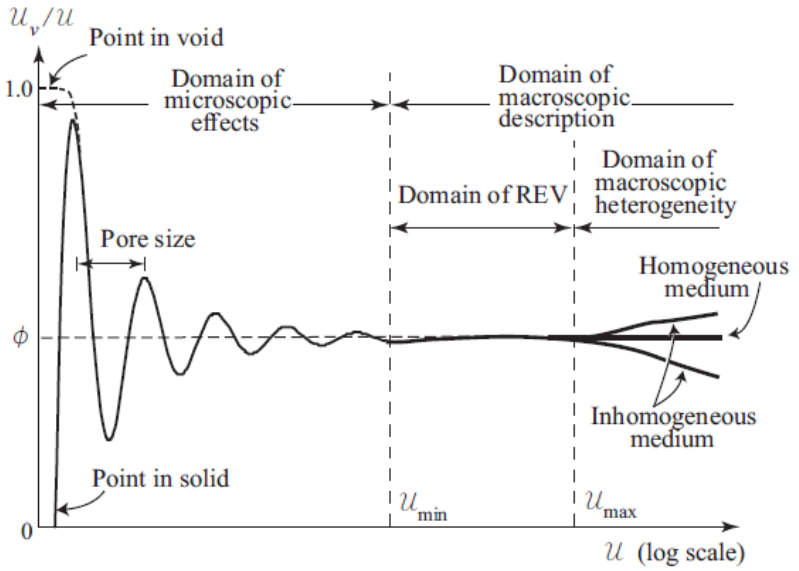
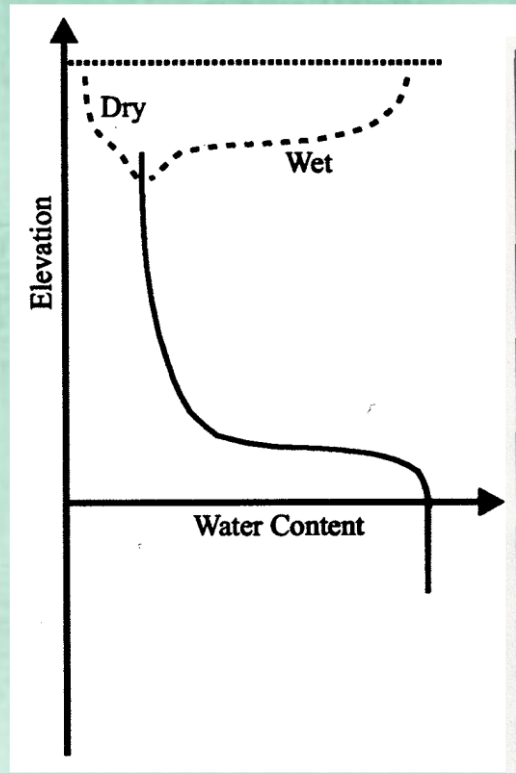


Figure 1.3.2: Variation of $\mathcal{U}_v/\mathcal{U}$ in the neighborhood of a point as a function of the averaging volume.

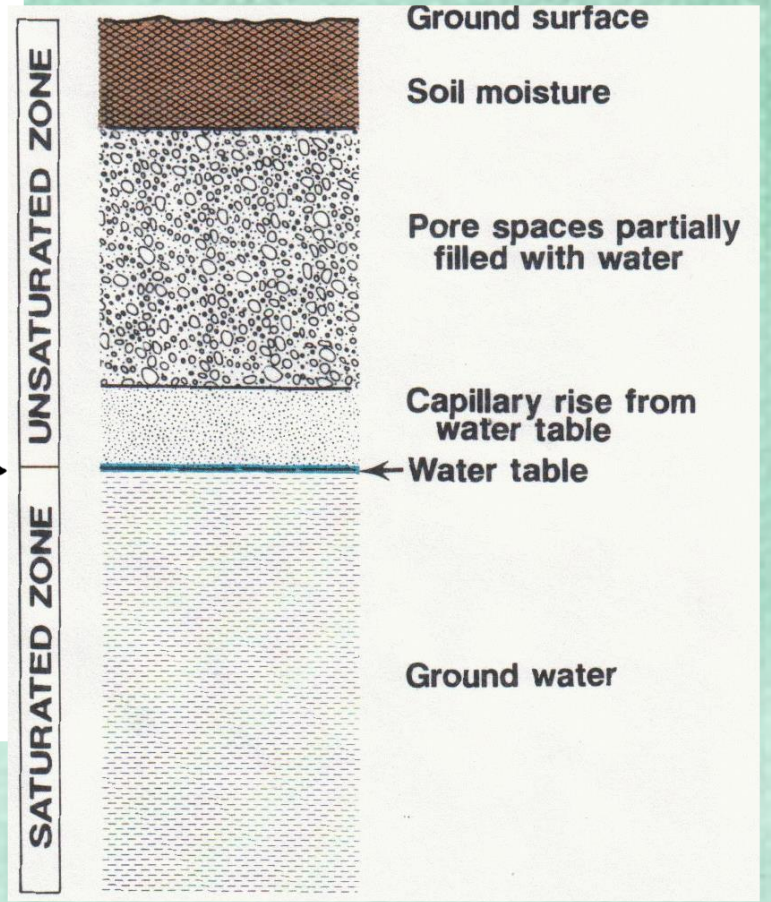
(Ref.: Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport; Bear and Chang, 2010)

پروفیل آب در زیر زمین (تغییرات رطوبت خاک با عمق)

Moisture Profile



Soil Profile



Description

Ground surface

Soil moisture

Pore spaces partially filled with water

Capillary rise from water table

Water table

Ground water

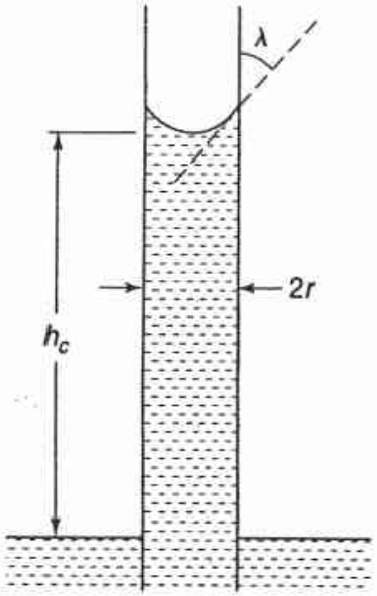


Figure 2.4.2. Rise of water in a capillary tube.

$P_c=\gamma.h_c$

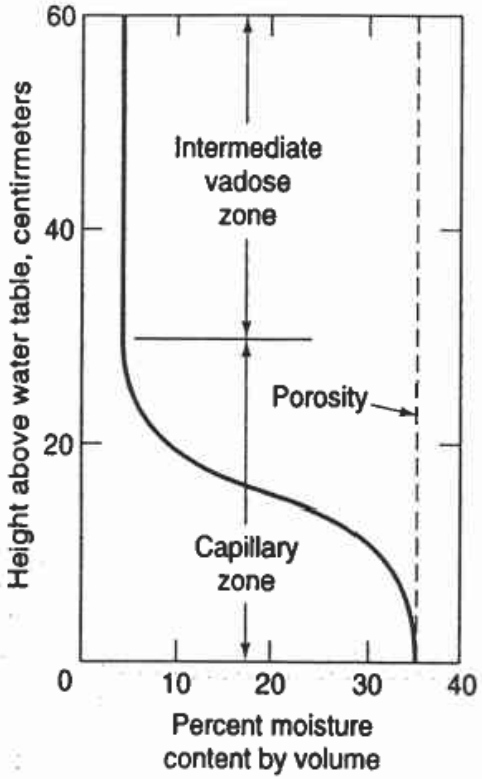


Figure 2.4.3. Distribution of water in a coarse sand above the water table after drainage (after Prill[47]).

Table 2.4.1 Capillary Rise in Samples of Unconsolidated Materials (after Lohman[34])

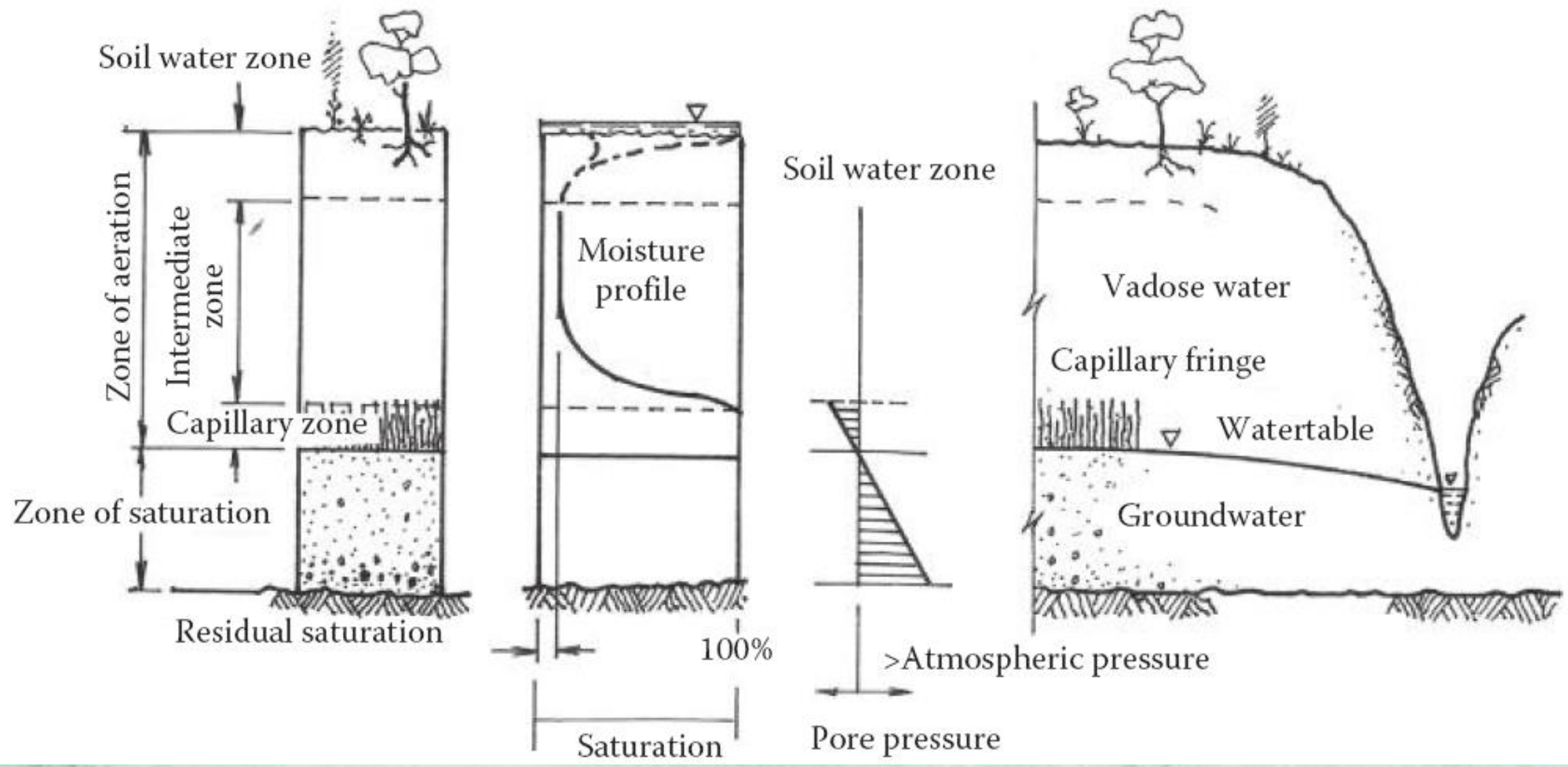
Material	Grain size (mm)	Capillary rise (cm)
Fine gravel	5–2	2.5
Very coarse sand	2–1	6.5
Coarse sand	1–0.5	13.5
Medium sand	0.5–0.2	24.6
Fine sand	0.2–0.1	42.8
Silt	0.1–0.05	105.5
Silt	0.05–0.02	200[a]

Note: Capillary rise measured after 72 days; all samples have virtually the same porosity of 41 percent.

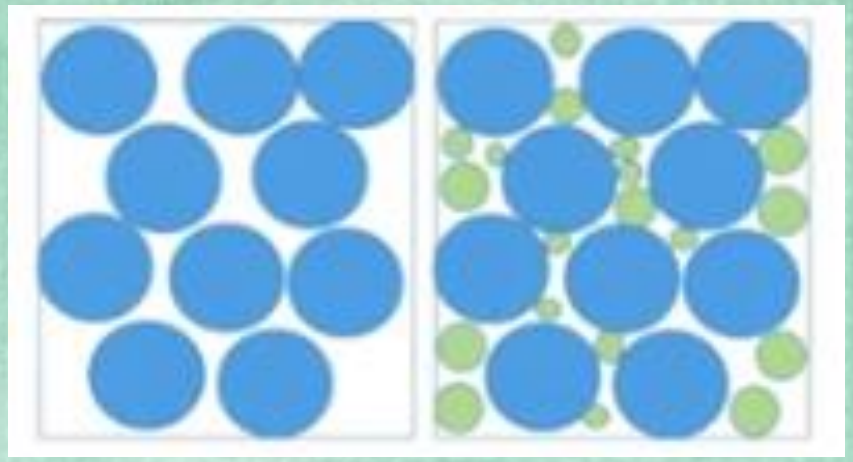
[a]Still rising after 72 days.

ناحیه ی مویینگی

نگهداشت ویژه



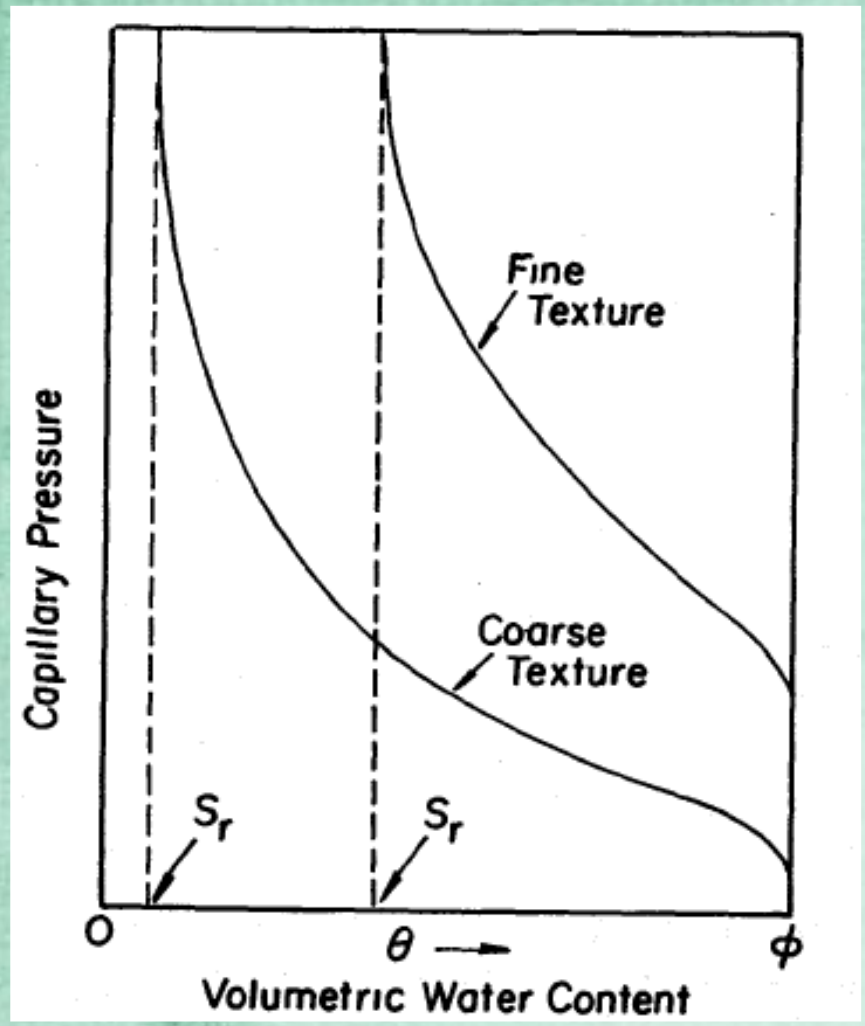
توزیع عمودی آب زیرزمینی

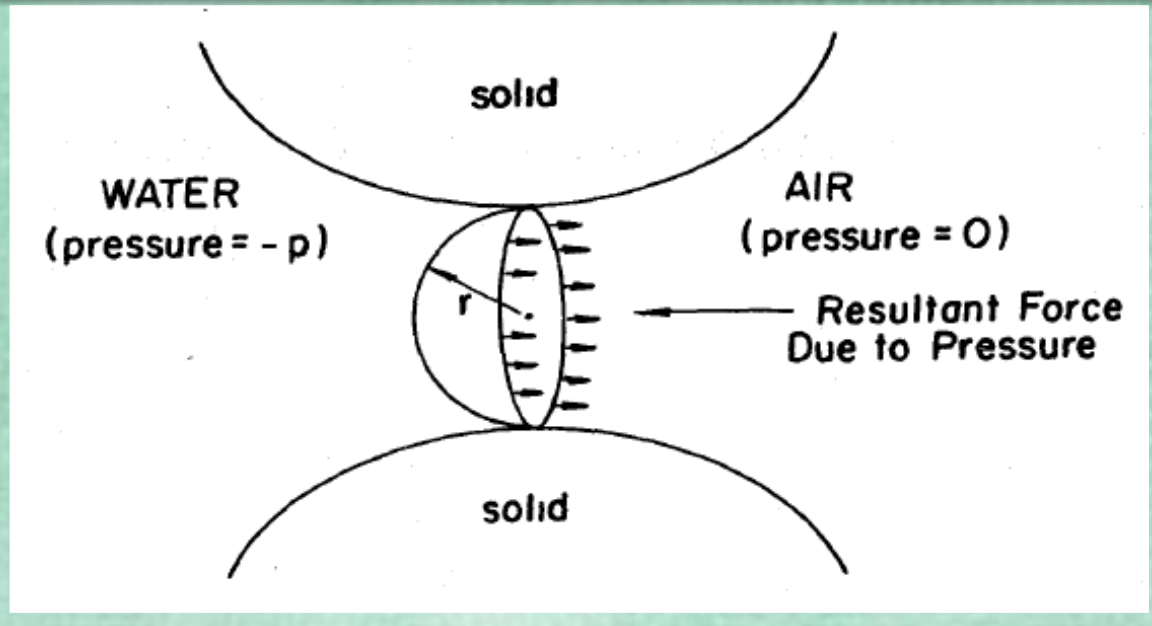


Soil Property	Porosity (%)	Specific Yield (%)
Clay	45-55	1-10
Silt	35-50	5-10
Gravel	30-40	15-30
Sand Stone	10-20	5-15
Lime Stone	1-10	0.5-5

مقدار آبی که در برابر گرانش مقاومت کرده و در خاک باقی خواهد ماند معرف نگه‌داشت ویژه هست.

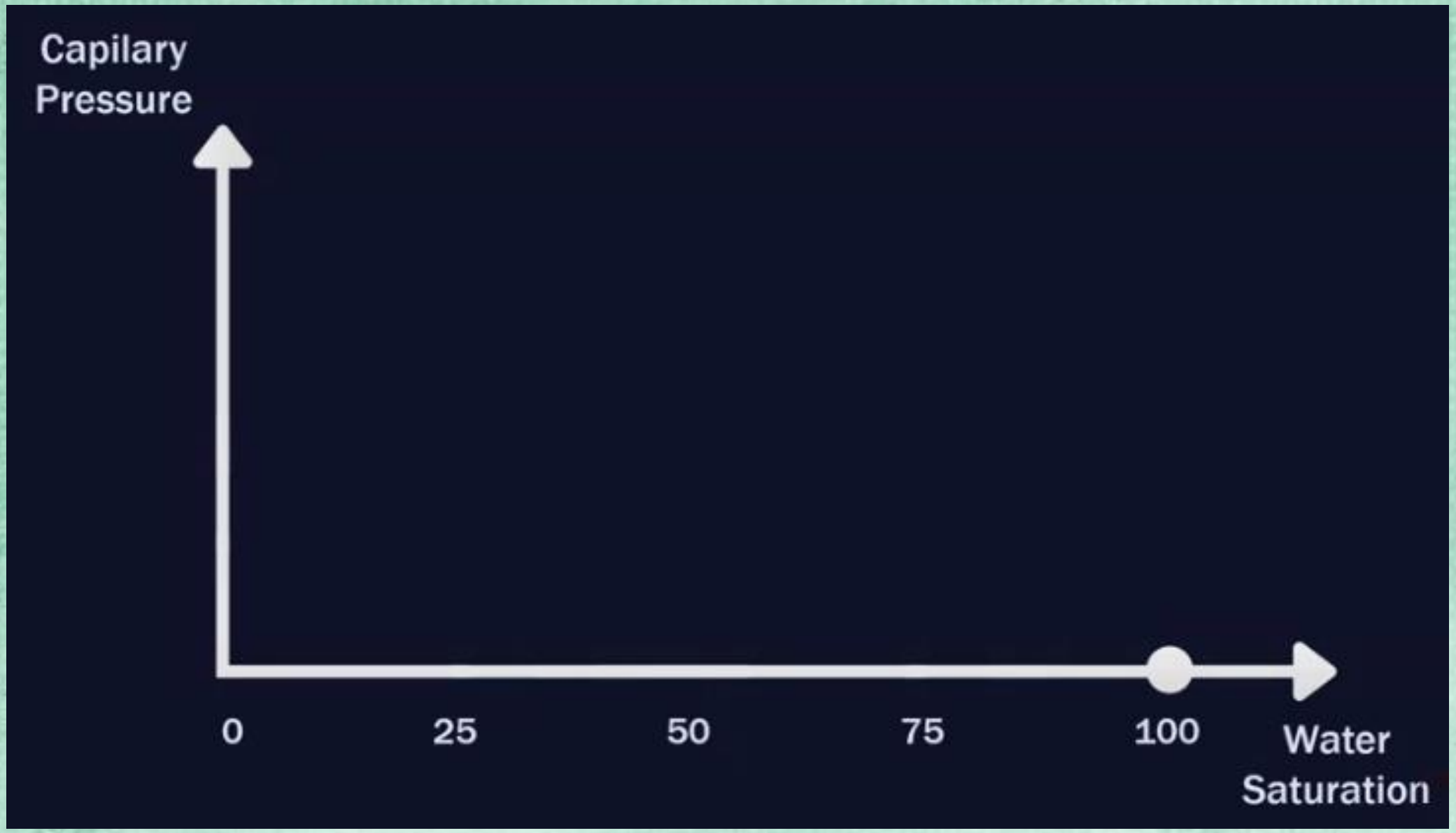
منحنی نگهداشت آب

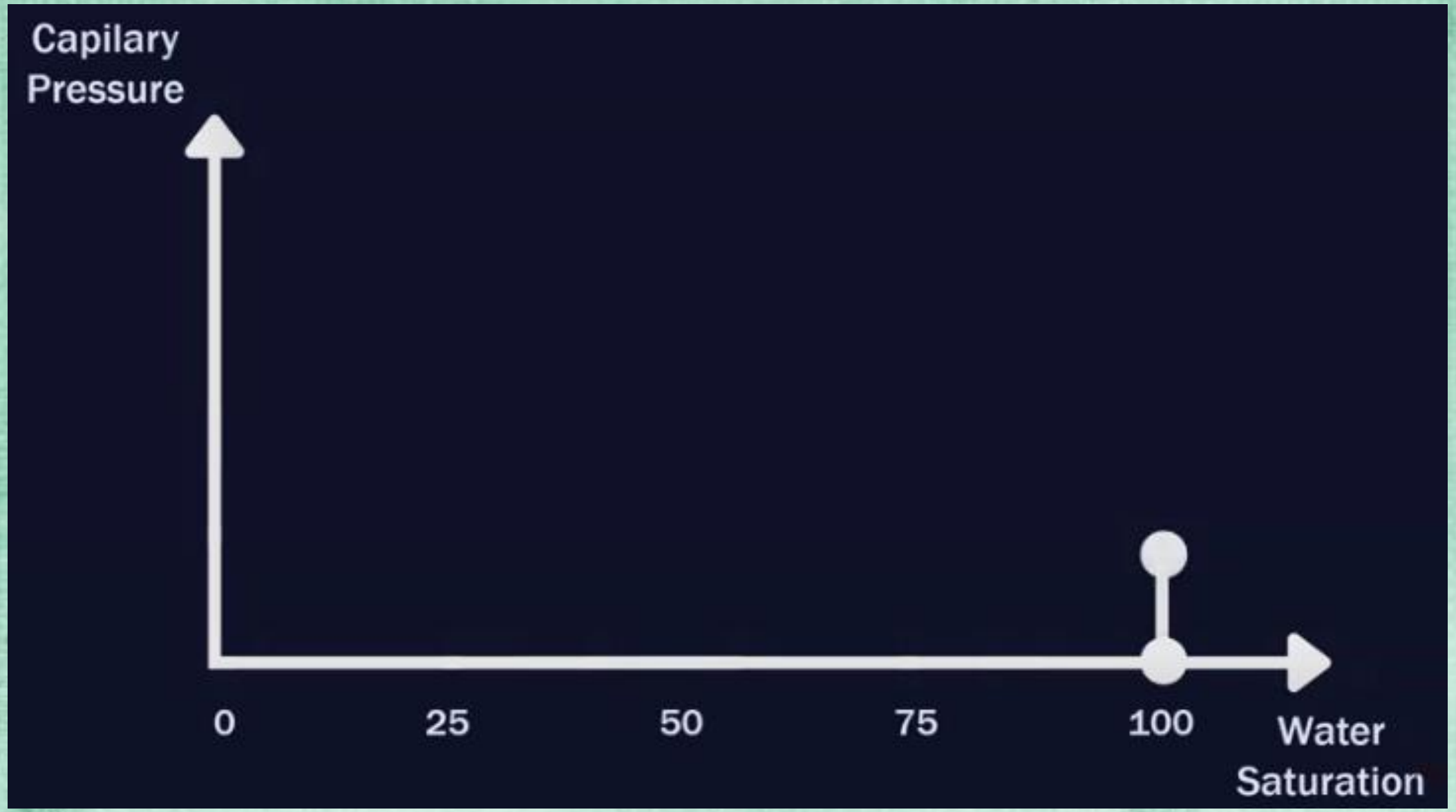


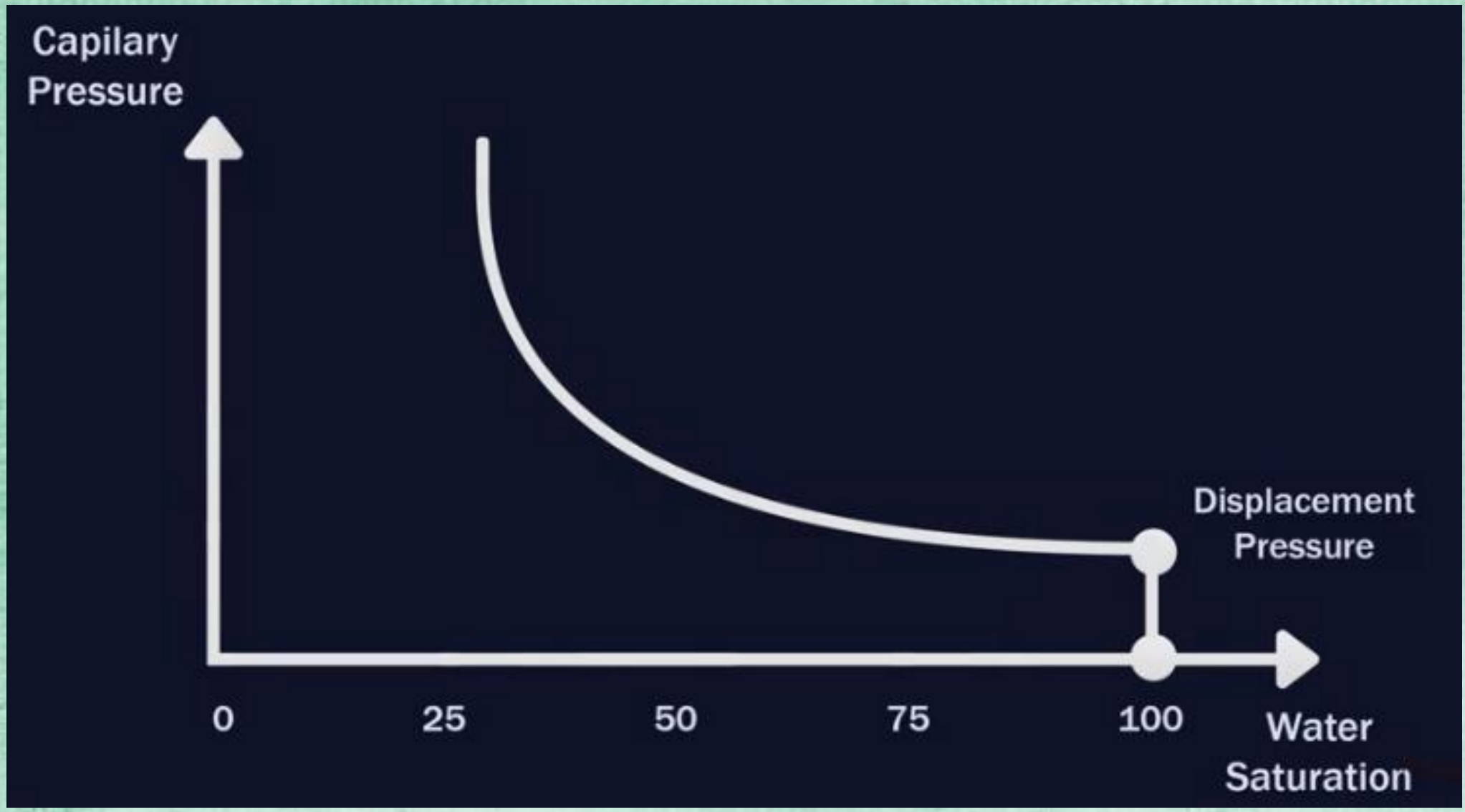


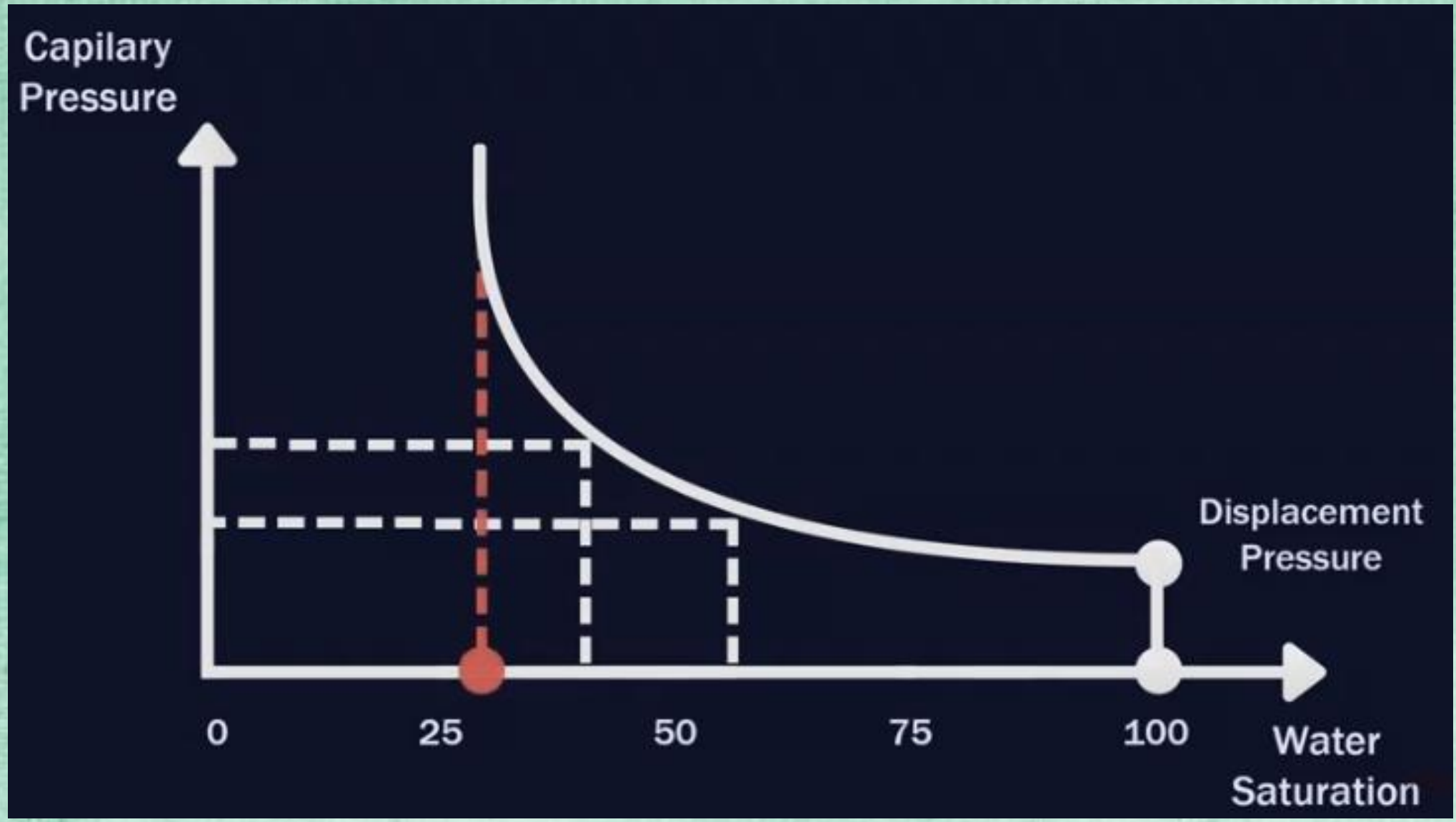
$$r = \frac{2\sigma}{p_c}$$

When Pc→0 then θ → ϕ


Capilary
Pressure
0
25
50
75
100
Water
Saturation


Capilary
Pressure
0
25
50
75
100
Water
Saturation


Capilary
Pressure
Displacement
Pressure
0
25
50
75
100
Water
Saturation


Capilary
Pressure
Displacement
Pressure
0
25
50
75
100
Water
Saturation

آبدهی ویژه
Specific Yield (S_y)

مقدار آبی که با گرانش از خاک خارج خواهد شد.

تخلخل کل

نگه‌داشت ویژه
Specific Retention (S_r)

مقدار آبی که در برابر گرانش مقاومت کرده و در خاک باقی خواهد ماند.

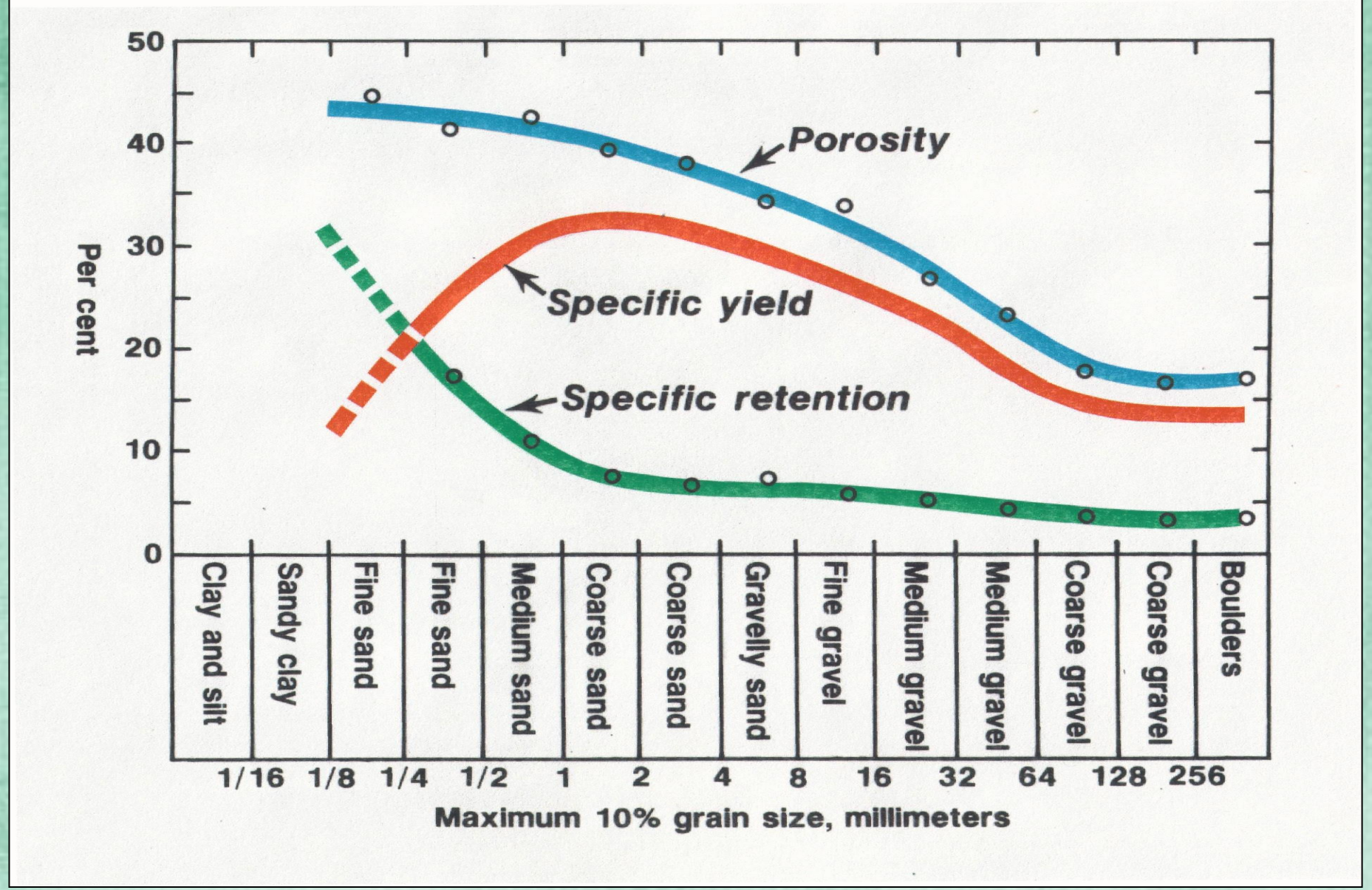
تخلخل کل

Table 2.5.1 Representative Values of Specific Yield (after Johnson[25])

Material	Specific yield (percent)
Gravel, coarse	23
Gravel, medium	24
Gravel, fine	25
Sand, coarse	27
Sand, medium	28
Sand, fine	23
Silt	8
Clay	3
Sandstone, fine grained	21
Sandstone, medium grained	27
Limestone	14
Dune sand	38
Loess	18
Peat	44
Schist	26
Siltstone	12
Till, predominantly silt	6
Till, predominantly sand	16
Till, predominantly gravel	16
Tuff	21

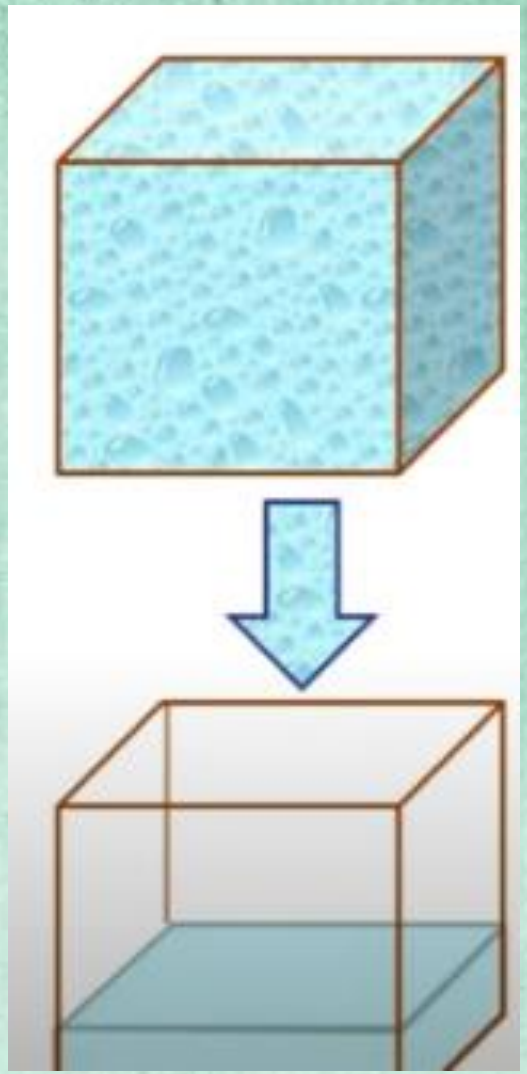
مقادیر نمونه آبدهی ویژه خاکها

دانشگاه علم و صنعت ایران



مقادیر نمونه تخلخل، آبدهی ویژه و نگهداشت ویژه در انواع خاکها

$$S_y + S_r = n$$



آبدهی ویژه ظاهری، به عنوان حجم آب اضافه شده یا خارج شده، به طور مستقیم، از آبخوان اشباع در نتیجه تغییر در حجم آبخوان در زیر سطح ایستابی تعریف می‌شود.

آبدهی ویژه ظاهری، هنگامی که مستقیما از روی تعریف آن و اندازه‌گیری صحرایی تعیین شود، یک پارامتر کلی است که اثرات عواملی از قبیل هوای گیر افتاده در نزدیکی سطح ایستابی و مواردی دیگر که معرف تغییرات در مکان و زمان هست را در بر خواهد گرفت.

حد بالایی آبدهی ویژه ظاهری، آبدهی ویژه است.

$$S_{ya} < S_y$$

آبدهی ویژه ظاهری حدوداً یک سوم آبدهی ویژه است.

n

S_r

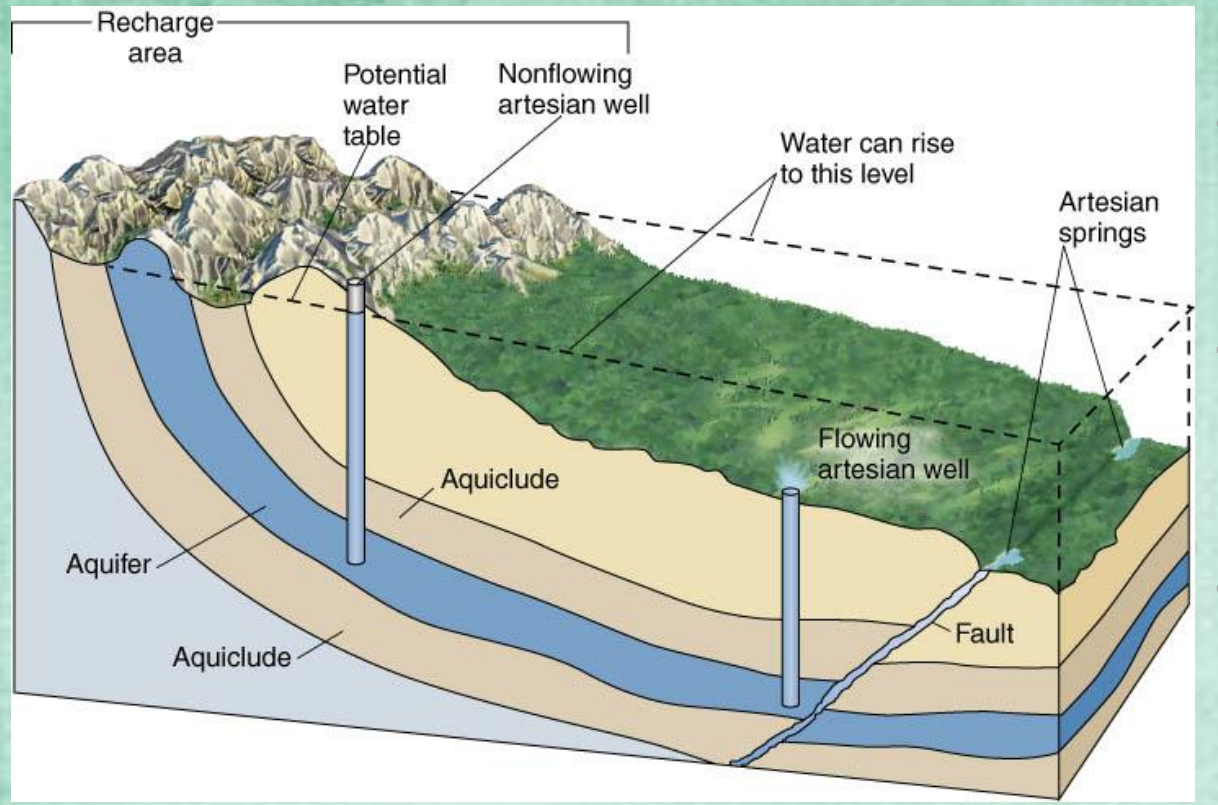
S_y

سازندهای زمین شناسی مرتبط با آبخوان

آبخوان

- آبخوان (Aquifer): بنا به تعریف ساختاری زمین شناسی است حاوی مواد تحکیم نیافته (خاک) یا تحکیم یافته (سنگ) با تخلخل و هدایت هیدرولیکی کافی به گونه‌ای که امکان ذخیره و انتقال آب را دارا باشد و بتوان با حفر چاه یا قنات، از آن آب بیرون کشید.
- آکیوکلود (Aquiclude): ساختاری که آب را ذخیره می کند اما انتقال نمی دهد. مثل رس.
- آکیوتارد (Aqiutard): ساختاری که آب را ذخیره نمی کند ولی انتقال می دهد. مثل رس ماسه دار.
- آکیوفیوژ (Aquifuge): ساختاری که آب را ذخیره نمی کند و انتقال هم نمی دهد. مثل سنگ‌ها و صخره های بدون درز و شکاف.

سازندهای زمین شناسی به عنوان آبخوان



- **Aquifer**
  - Store & transmit water
  - Unconsolidated deposits sand and gravel, sandstones etc.
- **Aquiclude**
  - Store, don't transmit water
  - Clays and less shale
  - Impervious boundaries of aquifers
- **Aquitard**
  - Transmit don't store water
  - Shales and less clay
  - Leaky confining layers of aquifers

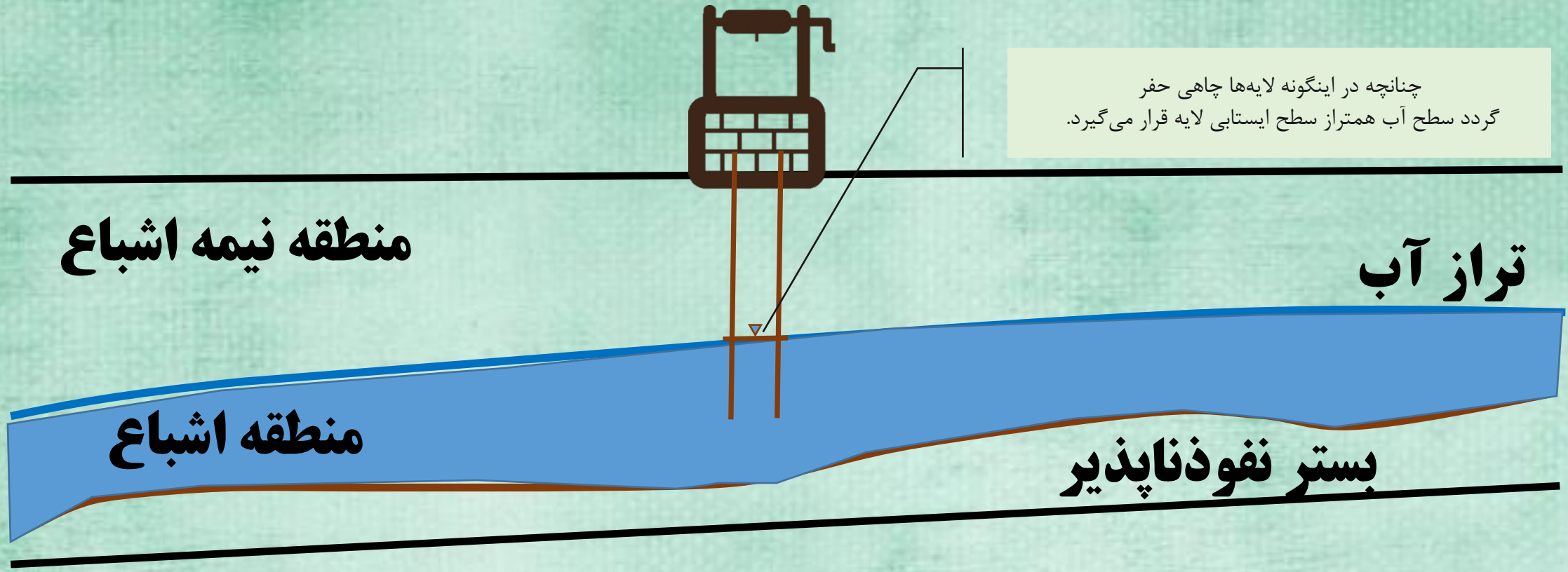
- **Confined aquifer**
  - Under pressure
  - Bounded by impervious layers
- **Unconfined aquifer**
  - Phreatic or water table
  - Bounded by a water table

انواع آبخوان

- **آبخوان آزاد** (Unconfined Aquifer)
- **آبخوان تحت فشار** (Confined Aquifer)
- **آبخوان نشتی یا نیمه–تحت فشار** (Leaky Aquifer)
- **آبخوان موضعی یا معلق** (Perched Aquifer)

❑ آبخوان‌ها

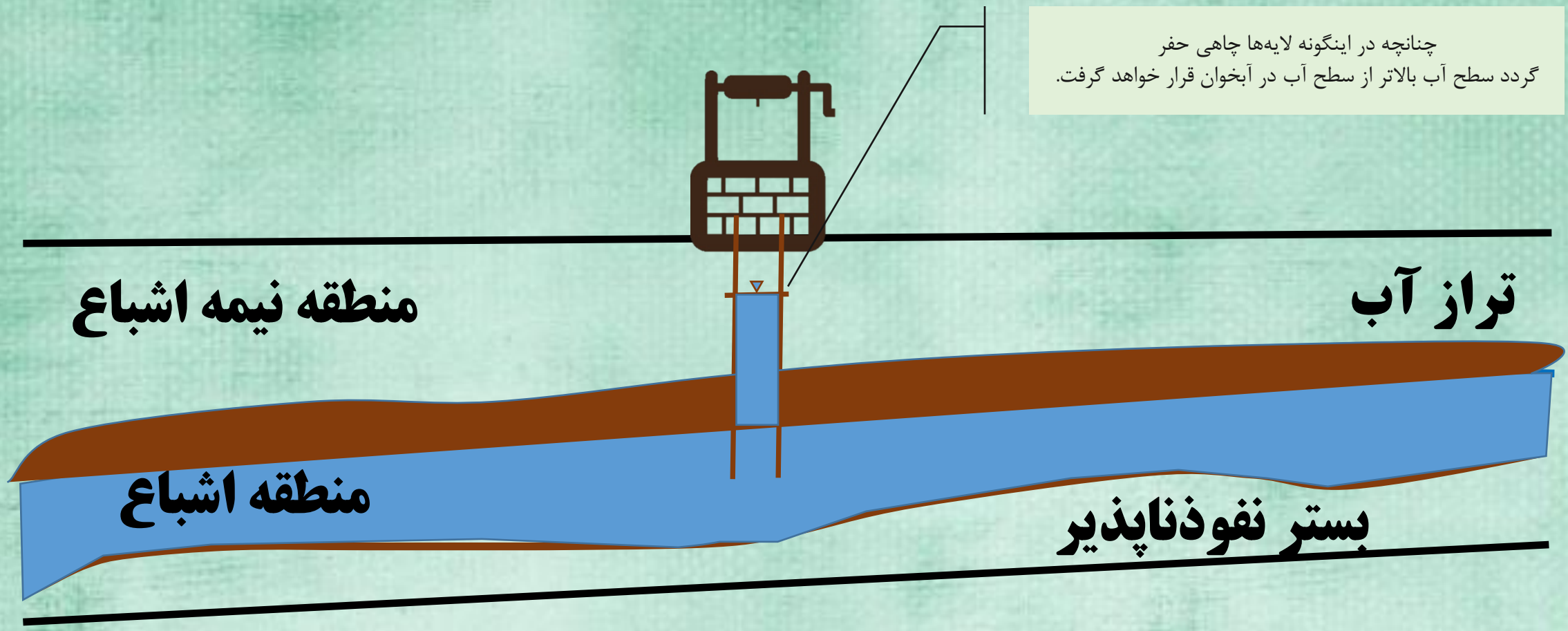
هرگاه لایه های نفوذپذیر مرتبط با سطح زمین به روی یک لایه غیرقابل نفوذ عمقی قرار گرفته باشد تشکیل لایه آبدار آزاد را می‌دهد.



❑ آبخوان‌ها

اگر چنانچه لایهٔ آبدار آب زیرزمینی توسط دو لایه غیرقابل نفوذ (رس، شیل یا سنگ آهک) و یا نیمه قابل نفوذ از بالا و پائین احاطه شده باشد، تشکیل سفرهٔ آب تحت فشار را می دهد.

چنانچه در اینگونه لایه‌ها چاهی حفر گردد سطح آب بالاتر از سطح آب در آبخوان قرار خواهد گرفت.



آبدهی ویژه (در آبخوان آزاد)

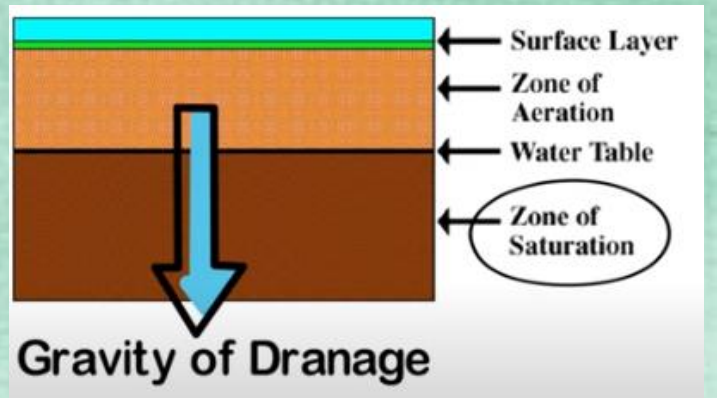
- نگهداشت ویژه: نسبتی از حجم آب که پس از زهکشی یا پمپاژ یک خاک در آن باقی می ماند و قابل جدا شدن نیست.

$$S_r = \frac{w_r}{V_t}$$

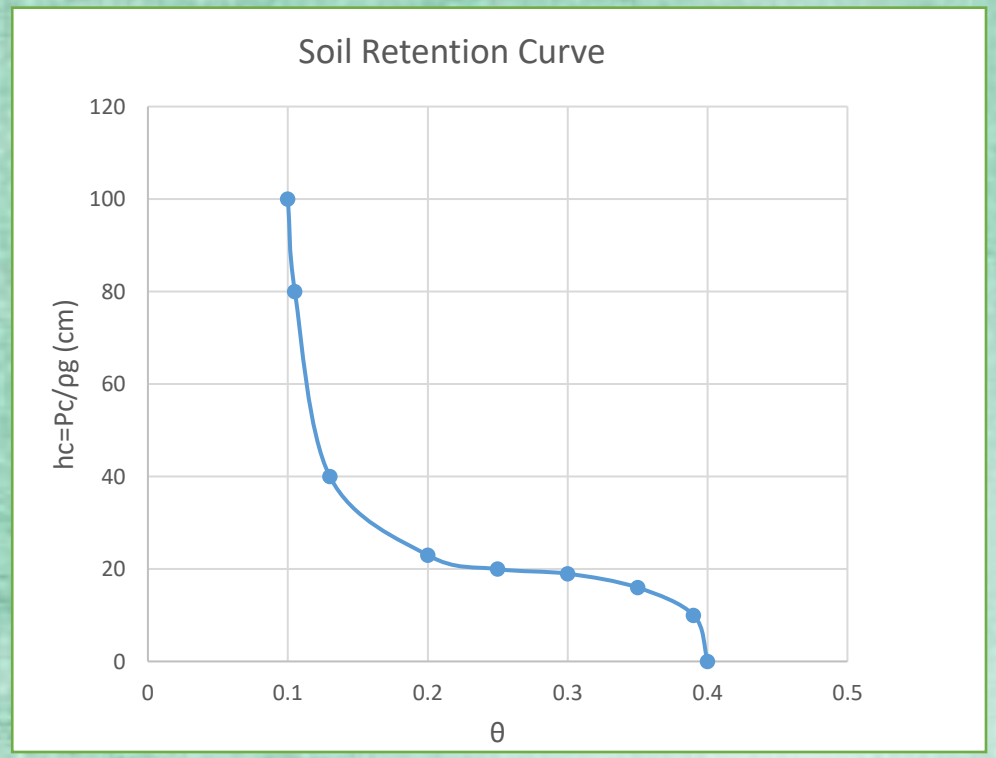
- آبدهی ویژه (یا ضریب ذخیره): نسبتی از حجم آب که پس از زهکشی یا پمپاژ یک خاک کاملاً از آن جدا می شود.

$$S_y = \frac{w_y}{V_t}$$

$$S_r + S_y = \phi$$



مثال: منحنی نگهداشت ویژه خاک یک آبخوان مطابق زیر است. اگر افت متوسط آبخوان طی یک سال یک متر باشد، چه میزان آب از هر مترمربع آن خارج شده است؟



حل:

از شکل داریم:

Sr=0.1, ϕ=0.4 => Sy=0.3

از معادله ۱-۶ داریم:

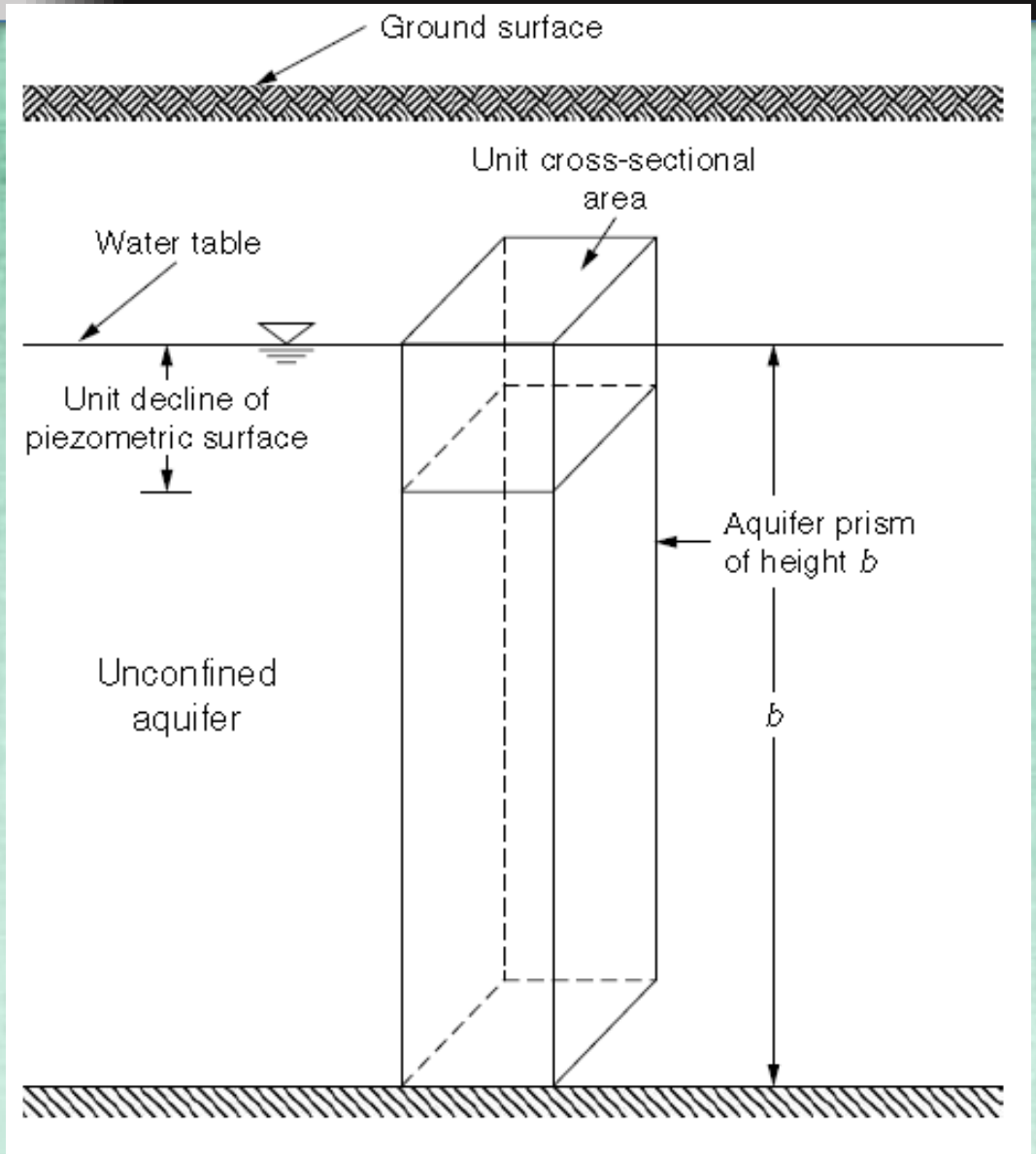
$\Delta S=(H1-H2).A.Sy$

$H1-H2=1, A=1$

$\Delta S=1\times1\times0.3=0.3\ m^3/m^2$

بنابراین آبدهی ویژه عبارتست از حجم آب خارج شده از آبخوان آزاد به ازای افتی واحد در تراز ب در یک منشوری از آبخوان با سطح واحد.

$$S_y = \frac{\Delta V_g}{(\Delta A)(\Delta h)}$$



مفهوم آبدهی ویژه در آبخوان آزاد

ضریب ذخیره، ذخیره ویژه (آبخوان تحت فشار)

از موارد مهم در بررسی آبخوان تحت فشار، میزان آب خارج شده از آبخوان تحت فشار به دلیل یک واحد افت فشار است. تراکم آبخوان و چگای آب هردو در حجم آب خارج شده سهم دارند.

بنابراین، نه موازنه حجم بلکه موازنه جرم باید مورد توجه قرار گیرد.

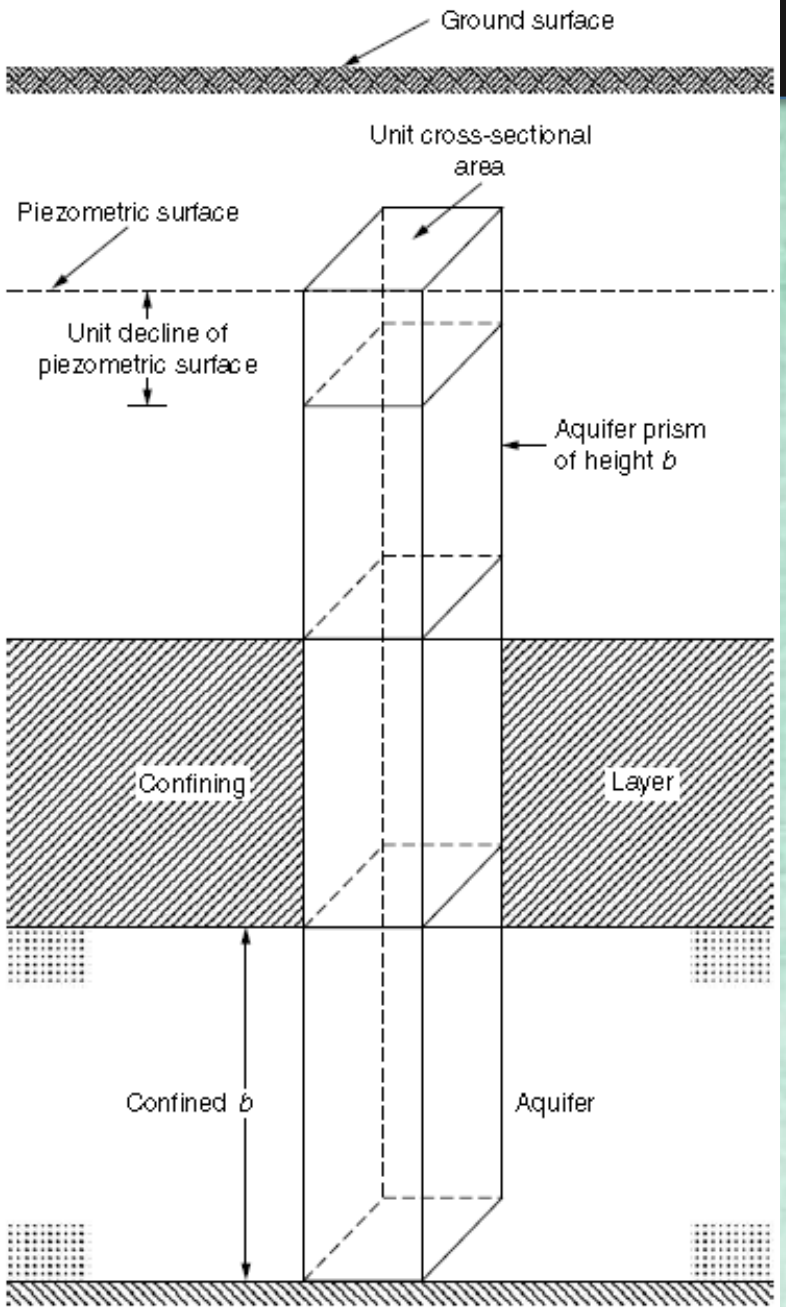
با رویکرد فوق خواهیم داشت.

$$S_s = \rho g \varphi \, (\alpha_p + \beta)$$

پارامتر Ss ذخیره ویژه هست. Ss حجم آبی هست که از واحد آبخوان به ازای یک واجد افت در ارتفاع فشاری از ذخیره خارج می‌شود و بعد آن L^{-1} است.

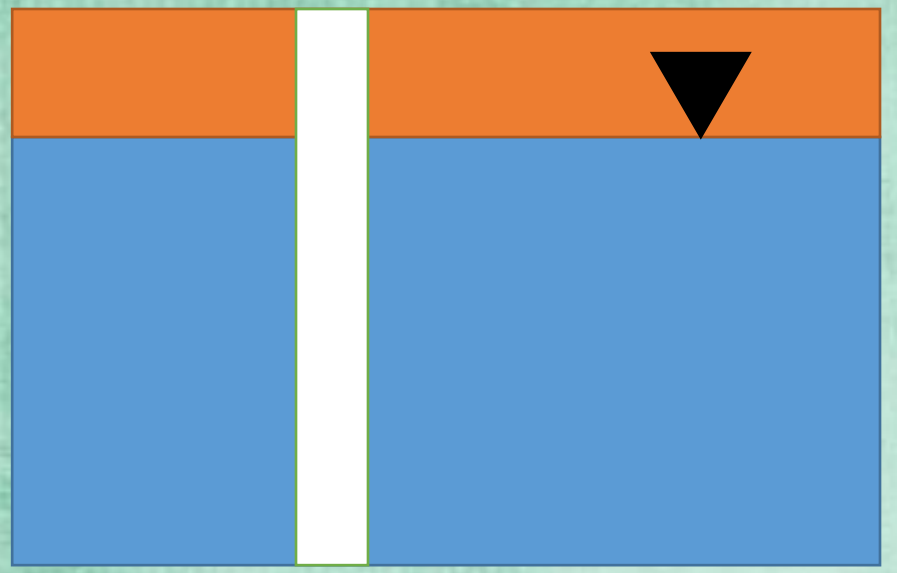
α_p تعریف آن تغییر در حجم فضای تهی به ازاء یک واحد تغییر در تنش عمودی هست و β میزان تراکم پذیری آب است.

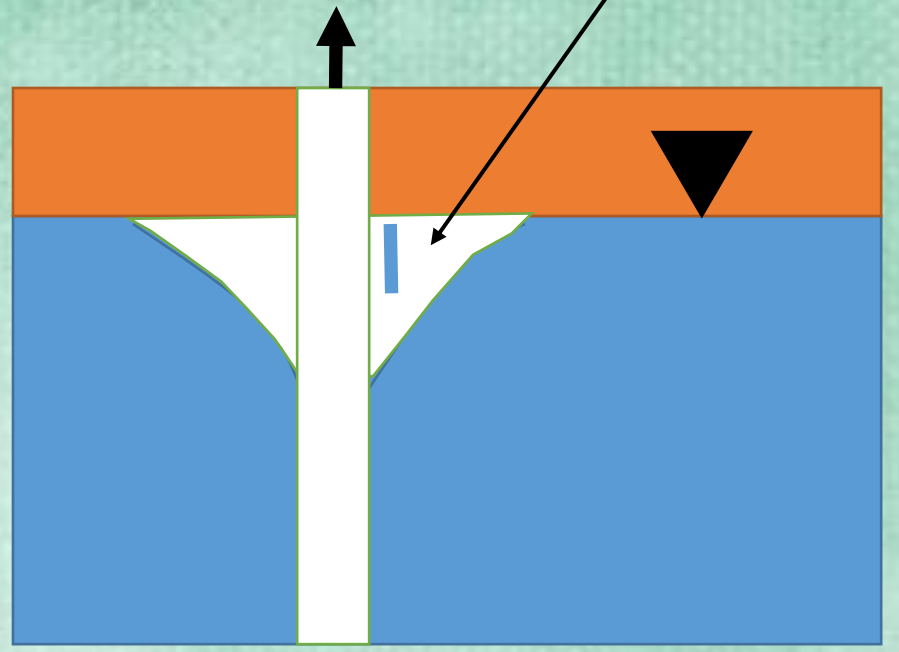
$$S = \frac{\Delta V}{(\Delta A)(\Delta h)}$$



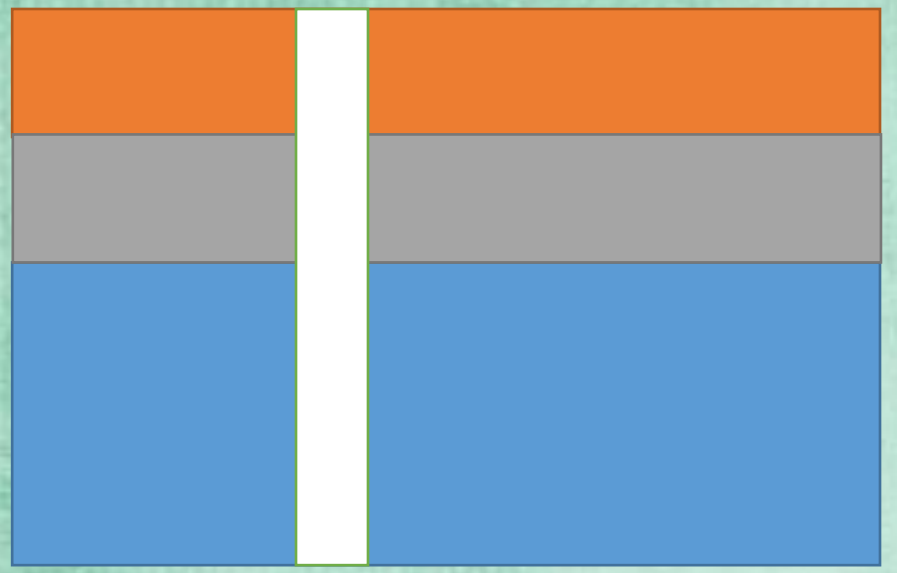
مفهوم ضریب ذخیره در آبخوان تحت فشار

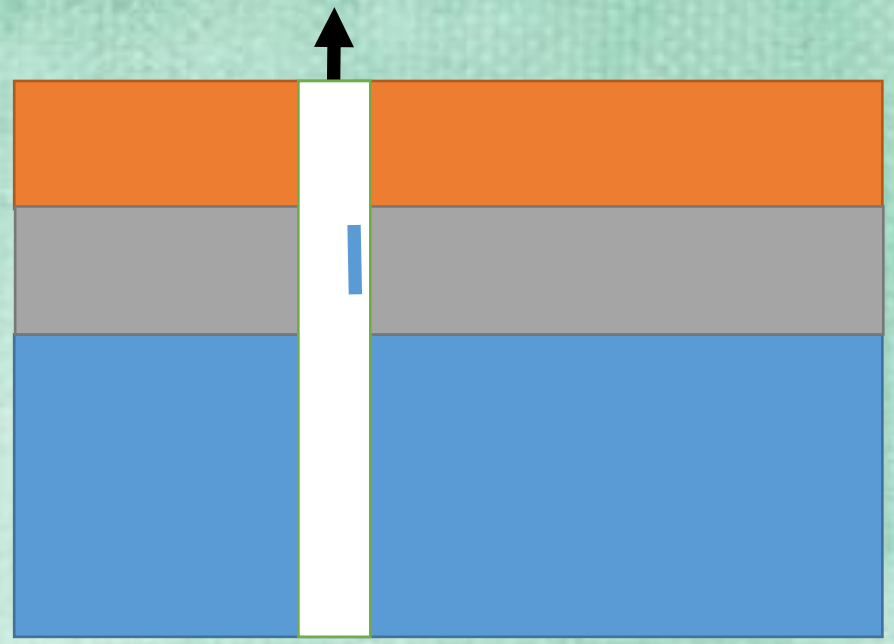
آبخوان تحت فشار یا آزاد کدام بیشتر آب دهی خواهد داشت؟



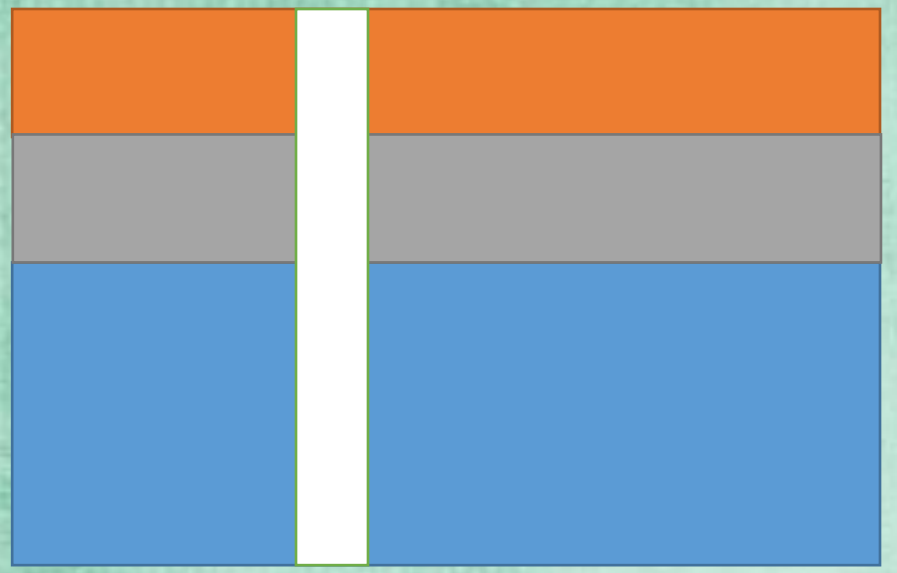


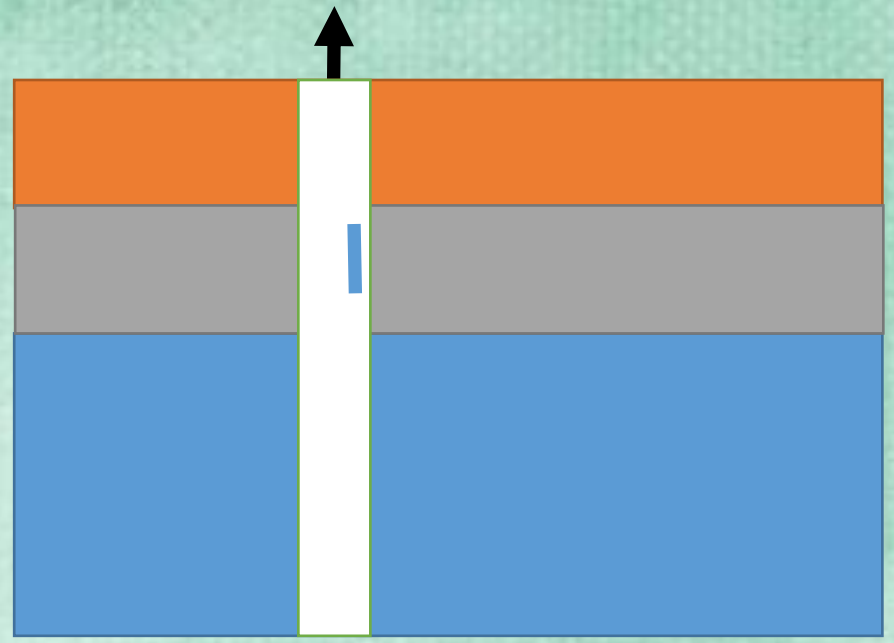
با برداشت آب از آبخوان آزاد، میزان فشار در آبخوان تغییر نمی‌کند بلکه سطح آب افت می‌کند.



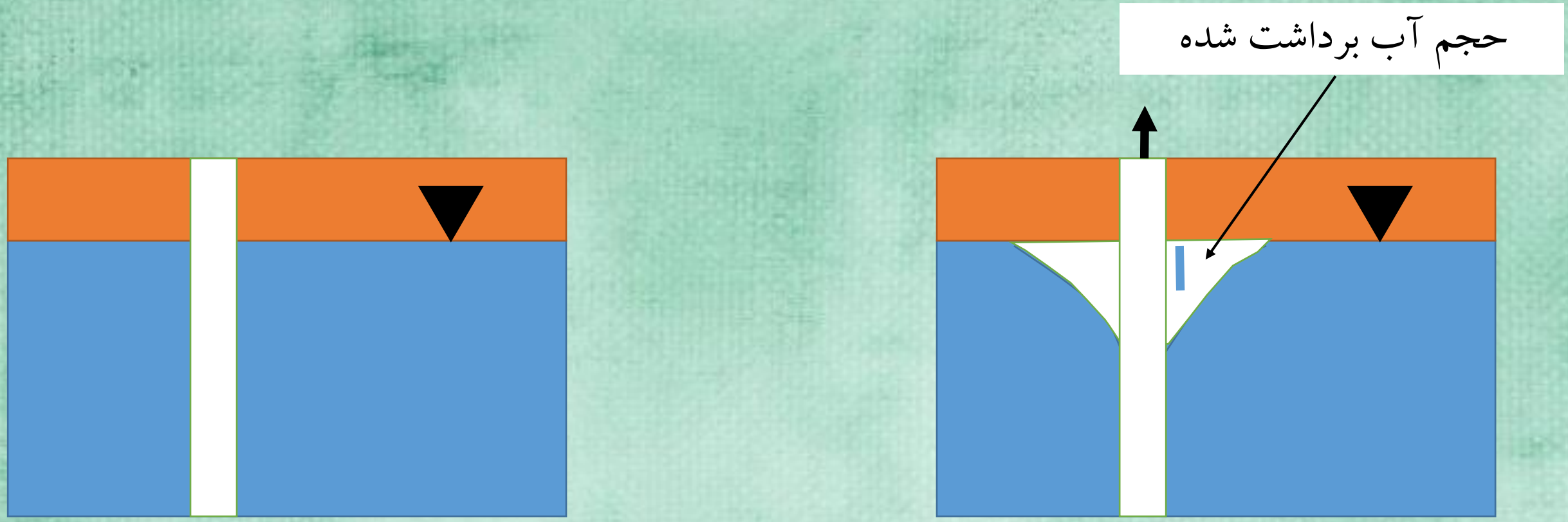


با برداشت آب از آبخوان تحت فشار، میزان فشار کاهش می‌یابد ولی سطح ایستابی ثابت هست.





$$S = b\,S_s$$



$$S = b\,(S_s + S_y)$$

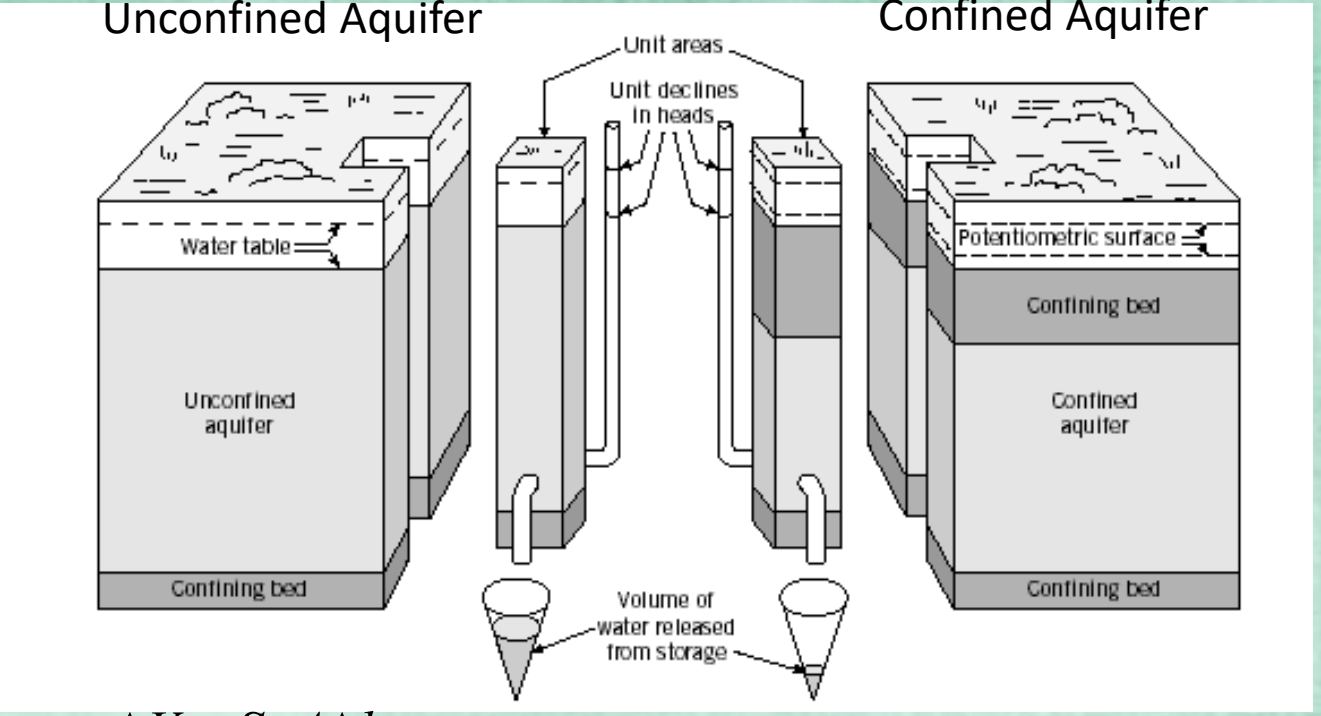
Storativity (S) is a dimensionless measure of the volume of water that will be discharged from an aquifer per unit area of the aquifer and per unit reduction in hydraulic head.

$S \sim 10^{-2}$ to 0.3

آبخوان آزاد

$S \sim 10^{-5}$ to 10^{-3}

آبخوان تحت فشار



$$\Delta V = S_y A \Delta h$$

$$\Delta V = S A \Delta h$$

مقایسه ضریب ذخیره در آبخوان‌های آزاد و تحت فشار