تاریخچه

- بهره برداری از آبهای زیرزمینی برای رفع نیازهای روزمره به گذشته های دور برمی گردد.
- بهره برداری از آبهای زیرزمینی بخصوص در مناطق خشک آسیا سابقه طولانی دارد.
- اولین راه بهره برداری به احتمال زیاد چاه بوده است. قدیمی ترین چاه آبی که تاکنون به جای مانده در دره رود سند است که به ۶۰۰۰ سال پیش مربوط می باشد.
- مصریان در ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در حفر چاه در زمین های سنگی مهارت داشته اند.
- چینیان قدیم با روش حفاری آهسته که به آن حفاری ضربه ای می گویند چاه هایی با عمق ۱۵۰۰ متر حفر کرده اند.

ویژگی های آب زیرزمینی در مقایسه با آبهای سطحی

- امکان آلودگی کمتری دارد.
- عاری از میکروارگانیسم های بیماری زا می باشند.
- میزان تبخیر از آبهای زیرزمینی بسیار ناچیز است.
- امکان استفاده از آبهای زیرزمینی معمولاً در اغلب مناطق وجود دارد.
- عموماً دارای ترکیب شیمایی ثابتی هستند.
- نیازی به تصفیه فیزیکی برای مصارف مختلف نمی باشند.
- غالباً بی رنگ و فاقد مواد تیره کننده می باشند.
- دمای آبهای زیرزمینی در طول سال تغییرات زیادی ندارند.
- آبهای زیرزمینی کمت تحت تأثیر خشکسالی های کوتاه مدت قرار می گیرند.

منشاء آبهای زیرزمینی

- **۱) آبهای جوی – نزولات جوی (Meteoric Water)**
  - نفوذ مستقیم آب از طریق نزولات جوی و بارش ها
  - نفوذ از طریق ذوب برف و یخ در فصول گرم سال
  - نفوذ از بستر و کناره های رودخانه ها و انهار طبیعی
  - نفوذ آب به لایه های زیرزمین از طریق آبهای ساکن مانند دریاها و اقیانوس ها
- **۲) آبهای اولیه**
  - **۲-۱) آبهای محبوس یا فسیلی: (Metamorphic Water)**

آبهای محبوس شده در فضاهای خالی لایه های زیرزمین در هنگام رسوبگذاری

- **آبهای محبوس (فسیلی) در اعماق زمین وجود دارند واستخراج آنها دارای صرفه اقتصادی نمی باشد.**
- **دارای کیفیت نامناسب بوده و معمولاً شور هستند.**
- معمولاً همراه با مخازن نفت یافت می شوند.

منشاء آبهای زیرزمینی (ادامه)

- ۲-۲) آبهای آتشفشانی (Volcanic Water)
  - این آبها به همراه مواد آتشفشانی خارج شده و در جایی تجمع می یابند.
  - حاوی مواد زیادی املاح و مواد معدنی می باشند.
  - بخشی از آبهای معدنی و چشمه های اطراف کوه های آتشفشانی مانند دماوند و سبلان از این نوع آبها محسوب می شوند.
- ۲-۳) آبهای ماگمایی: (Magmatic Water)
  - این آبها در اثر سرد شدن مواد مذاب و گداخته زمین بوجود می آیند.
  - حاوی مواد زیادی املاح و مواد معدنی می باشند و دارای کیفیت خوبی نمی باشند.
  - بخشی از آبهای معدنی وچشمه های اطراف کوه های آتشفشانی مانند دماوند و سبلان از این نوع آبها محسوب می شوند.
- ۲- ۴) آبهای سماوی: (Cosmic Water)
  - این آبها همراه با سنگ های آسمانی به زمین منتقل شده اند.

آب در زمین
و لایه های آبدار

تخلخل

نسبت حجم فضاهای خالی در لایه آبدار به حجم کل مواد تشکیل دهنده آن لایه را تخلخل گویند. شاخص تخلخل دارای بعد نیست و بصورت درصد بیان می شود.

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

- α : تخلخل
- V_t : حجم کل
- V_v : حجم فضای خالی

سئوال ۱: حداکثر تخلخل موجود در محیط های متخلخل چقدر است؟

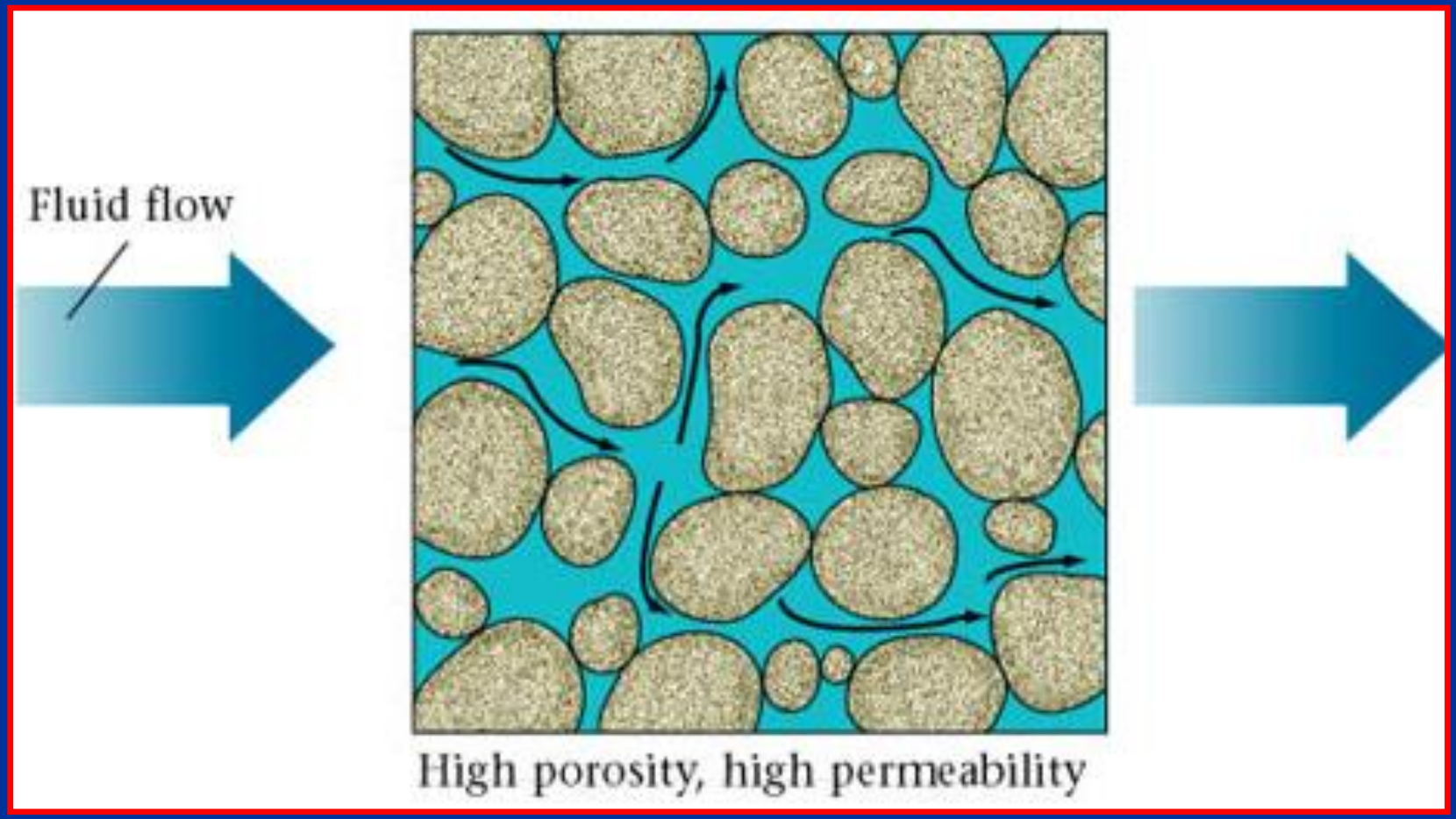
سئوال ۲: آیا شاخص تخلخل برای قضاوت در مورد مناسب بودن یک محیط متخلخل برای تشکیل آبهای زیرزمینی است؟

انواع تخلخل

- **تخلخل مفید (موثر) (Effective Porosity)**
  - نسبت حجم فضاهای خالی مرتبط به هم به حجم کل نمونه متخلخل اطلاق می شود.

$$\alpha_e = \frac{V_e}{V_T} \times 100$$

  - نسبت حجم آب قابل استخراج از محیط متخلخل اشباع شده در اثر نیروی ثقل به حجم کل نمونه متخلخل (**آبدهی ویژه– Specific Yield**) یا تخلخل مفید گویند.


Fluid flow
High porosity, high permeability

مقادیر تخلخل کل و تخلخل مفید در برخی از مواد رسوبی

نوع مواد رسوبی	تخلخل کل(درصد)	تخلخل مفید (درصد)
رس	۵۰-۴۰	۵-۱
سیلت	۴۵-۳۵	۱۰-۱
ماسه	۴۰-۳۵	۳۰-۱۵
شن	۴۰-۳۰	۳۰-۱۰
شن و ماسه	۳۵-۲۰	۲۵-۱۰
ماسه سنگ	۲۰-۱۰	۱۵-۵
آهک	۱۰-۱	۵-۵/۰

انواع تخلخل

- تخلخل غیرموثر (Non-effective Porosity)
  - حجم فضاهای خالی در محیط خاک یا سنگ که بدون ارتباط با هم باشند.

انواع تخلخل از نظر منشاء

تخلخل اولیه (primary Porosity)

- به آن دسته از فضاهای خالی که در هنگام رسوبگذاری بوجود می اید.

تخلخل ثانویه (Secondary porosity)

- تخلخل ثانویه به آن دسته از فضاهای خالی گفته می شود که پس از رسوبگذاری و در اثر فرآیندهای دیگر زمین شناسی بوجود می آید.

عوامل موثر در تخلخل

۱) شکل دانه های جامد

- دانه های کروی شکل نسبت به دانه های دارای گوشه و زاویه محیط متخلخل تری ایجاد می کنند.

۲) یکنواختی اندازه دانه ها

- دانه ها با اندازه یکسان و هم اندازه دارای تخلخل بیشتری نسبت به دانه هایی با اندازه های مخلف می باشند.

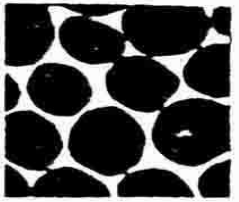
۳) نحوه قرار گیری دانه ها (چینش یا چیدمان دانه ها)

- دانه ها با چینش قائم تخلخل بیشتری نسبت به چینش مایل دارند.

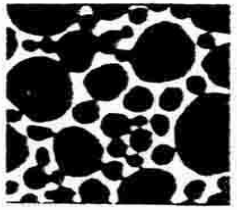
۴) به پیوستگی دانه ها (سیمانته شدن)

- هر چقدر به پیوستگی دانه بیشتر باشد میزان تخلخل کاهش می یابد.

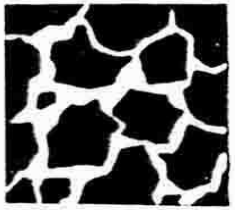
عوامل مؤثر بر تخلخل در رسوبات سخت نشده



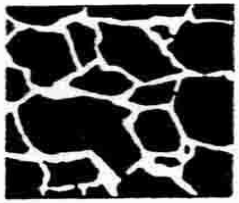
الف : تخلخل بالا – دانه های گرد شده – با جور شدگی خوب



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



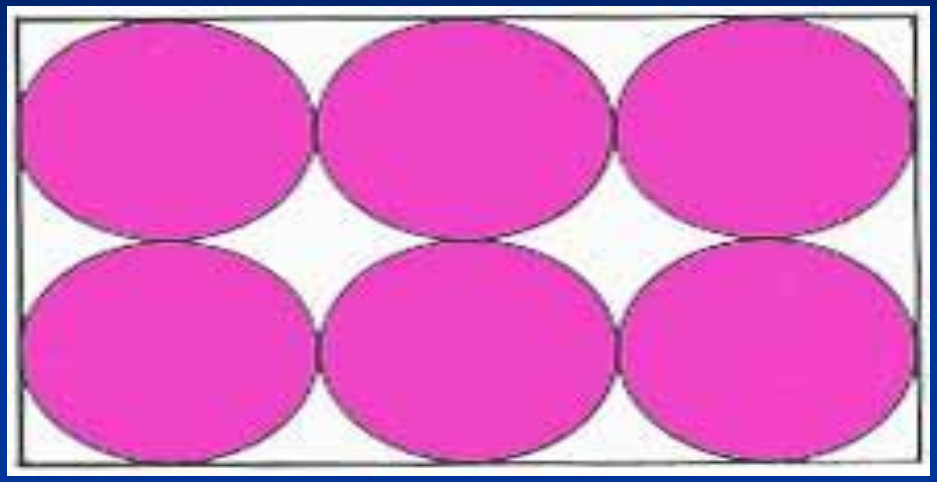
ج – تخلخل متوسط : دانه های گوشه دار – با جور شدگی خوب

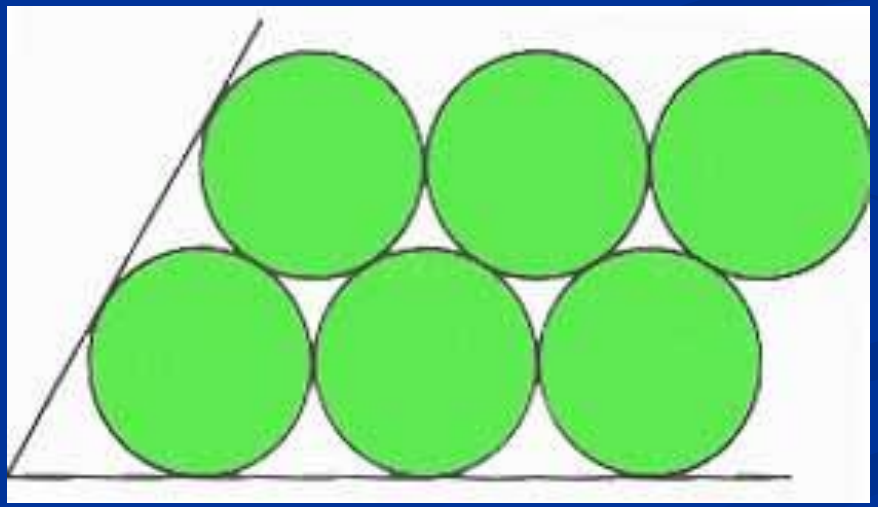


د – تخلخل خیلی کم : دانه های گوشه دار – با جور شدگی ضعیف

شکل ۲–۱– تخلخل در رسوبات سخت نشده با جور شدگی و شکل دانه‌ها ارتباط دارد.

نقش چیدمان دانه ها در میزان تخلخل





عوامل مؤثر بر تخلخل در سنگ ها

- شکستگی ها
- هوا زدگی
- انحلال

نسبت پوکی

عبارت است از نسبت بین حجم فضاهای خالی به حجم قسمت جامد.

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

- e نسبت پوکی
- V_v : حجم فضای خالی
- V_S : حجم قسمت جامد

نسبت بین تخلخل و نسبت پوکی

$$\alpha = \frac{e}{e+1}$$

چگالی ظاهری

* **عبارت است از چگالی مجموع مواد جامد و فضاهای خالی آن پس از خشک شدن**

$$\rho_A = \frac{W_d}{V_t}$$

- ✓ ρ_A چگالی ظاهری
- ✓ W_d : وزن (جرم) خشک نمونه
- ✓ V_t : حجم کل نمونه

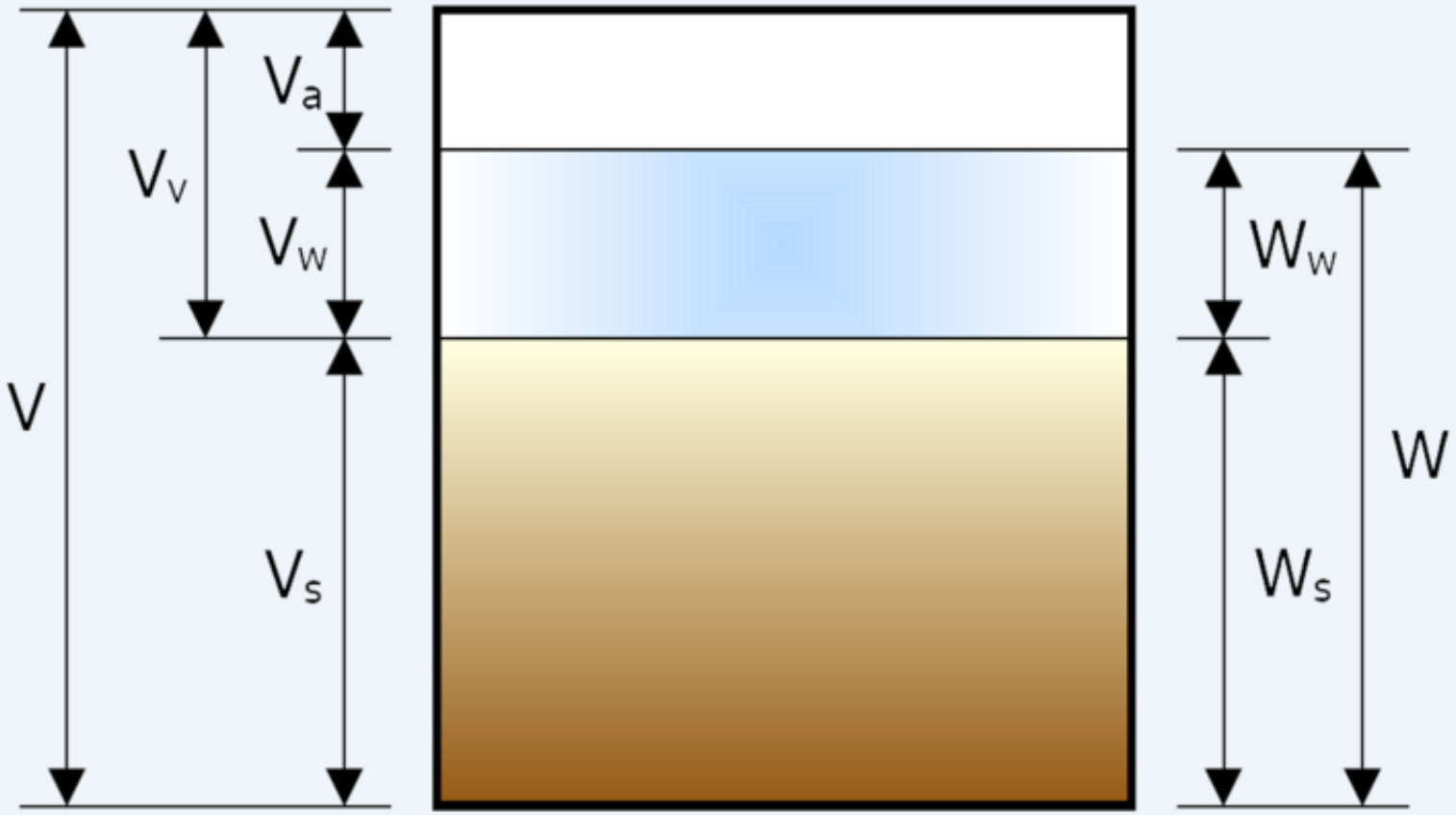
نسبت بین تخلخل و چگالی ظاهری

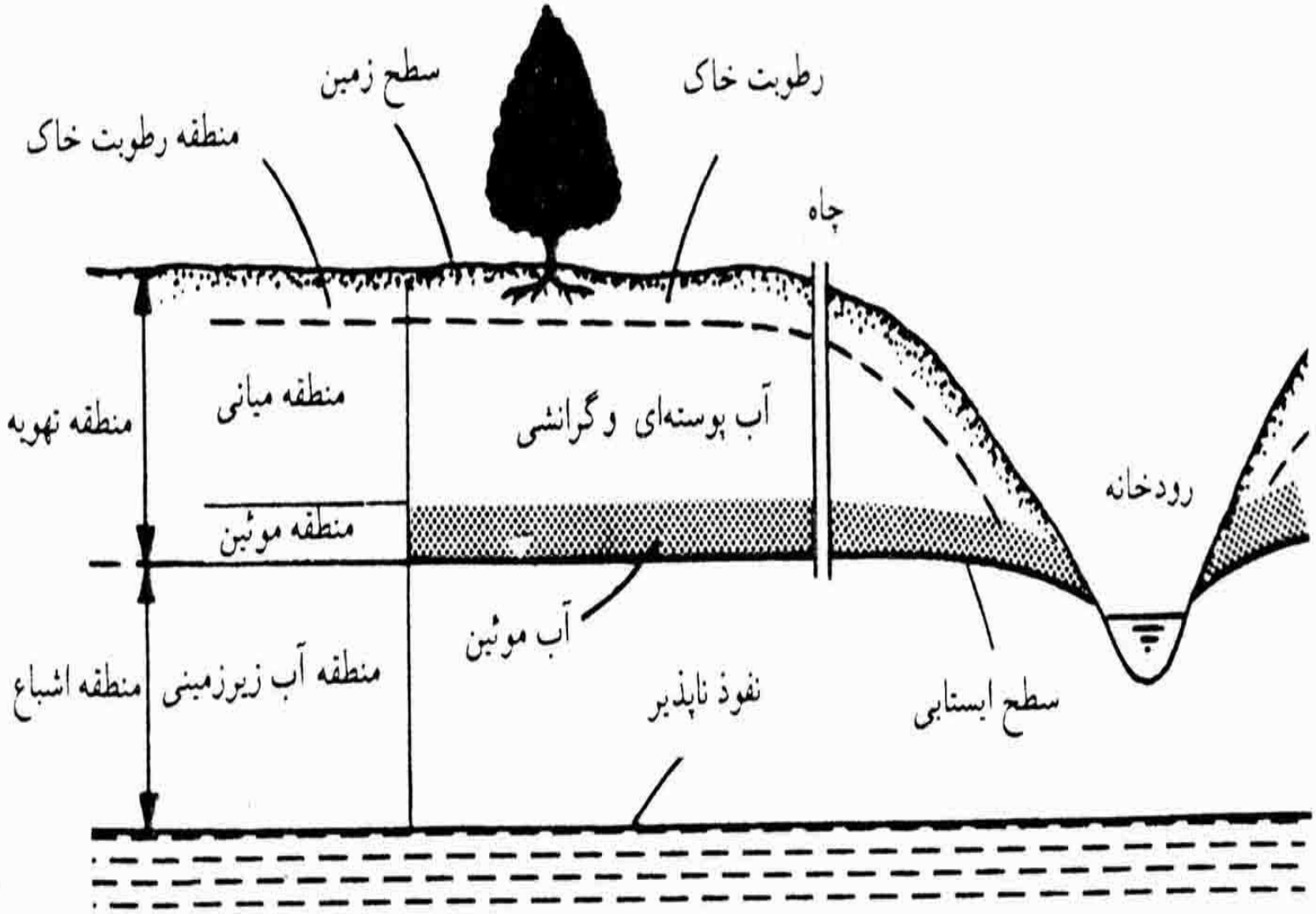
$$\boldsymbol{\rho_A = (1 - \alpha)\rho}$$

پخش آب در زمین

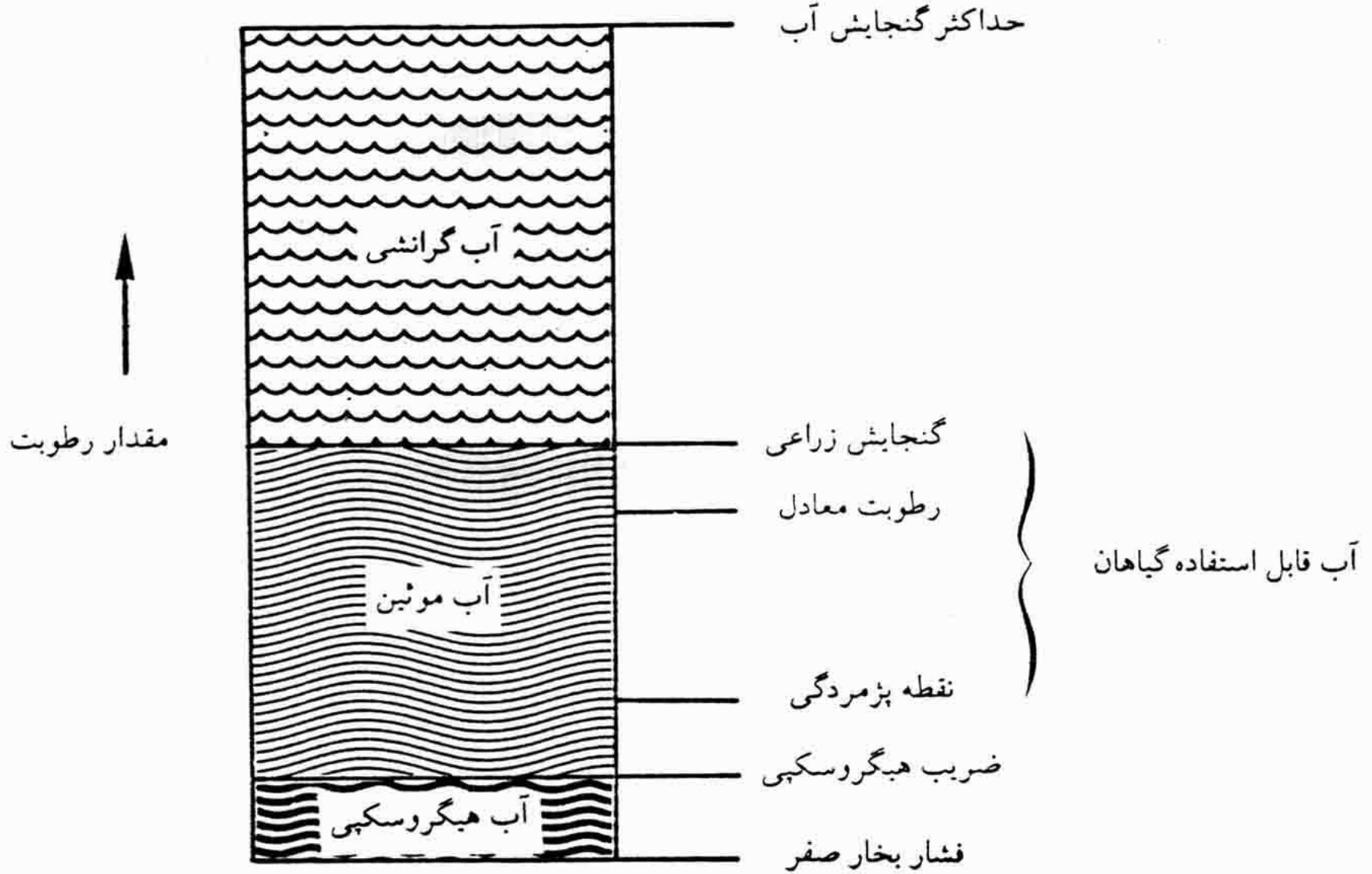
- منطقه تهویه یا غیر اشباع: بخشی از زمین است که از سطح فوقانی تا منطقه اشباع ادامه دارد .
- منطقه اشباع :در زیر منطقه تهویه قرار دارد ودر آن تمام منافذ به وسیله آب اشغال شده است .

فازهای مختلف در محیط های متخلخل





شکل ۲-۵ پخش رطوبت در نیمرخ قائمی از زمین



شکل ۲-۶- نقاط تعادلی و رده‌های مختلف آب در منطقه رطوبت خاک

مقدار رطوبت خاک

$$\text{درصد وزنی رطوبت} = \frac{W_w - W_d}{W_d} \times 100$$

$$\text{درصد حجمی رطوبت} = \frac{W_w - W_d}{V_t} \times 100$$

$$\text{درصد اشباع} = \frac{V_w}{V_v} \times 100$$

منطقه مویین

از سطح ایستابی تا حد بالا رفتن آب ادامه دارد.
آب تا ارتفاعی بالا می رود که دو نیروی مویین و گرانی برابر شوند.

$$h_c = \frac{2\tau}{r\gamma}\cos\lambda = \frac{0.15}{r}\cos\lambda$$

h_c : ارتفاع بالا رفتن آب مویین
τ : کشش سطحی آب
r : شعاع لوله
γ : وزن مخصوص آب
λ : زاویه تماس

منطقه اشباع

نگهداشت ویژه

منطقه اشباع

- در منطقه اشباع آب تمام منافذ سنگ یا خاک را پر می کند
- آب قابل زهکشی : حجم آبی که می تواند از یک نمونه اشباع از آب بر اثر نیروی گرانی خارج گردد.
- آب نگهداری شده : آبی است که در مقابل نیروی گرانی در این منطقه نگهداری می شود .

نگهداشت ویژه

- نگهداشت ویژه(S_r):عبارت است از نسبت بین حجم آبی که یک سنگ یا خاک ، پس از اشباع شدن ،می تواند در مقابل نیروی گرانی در خود نگهدارد به حجم کل آن که به صورت درصد بیان می شود.

منطقه اشباع

- در منطقه اشباع آب تمام منافذ سنگ یا خاک را پر می کند
- آب قابل زهکشی : حجم آبی که می تواند از یک نمونه اشباع از آب بر اثر نیروی گرانی خارج گردد.
- آب نگهداری شده : آبی است که در مقابل نیروی گرانی در این منطقه نگهداری می شود .

نگهداشت ویژه

- نگهداشت ویژه(S_r):عبارت است از نسبت بین حجم آبی که یک سنگ یا خاک ، پس از اشباع شدن ،می تواند در مقابل نیروی گرانی در خود نگهدارد به حجم کل آن که به صورت درصد بیان می شود.

نگهداشت ویژه

$$S_r = \frac{V_r}{V_t} \times 100$$

S_r : نگهداشت ویژه

V_r : حجمی که توسط آب نگهداری شده اشغال شده است.

V_t : حجم کل نمونه

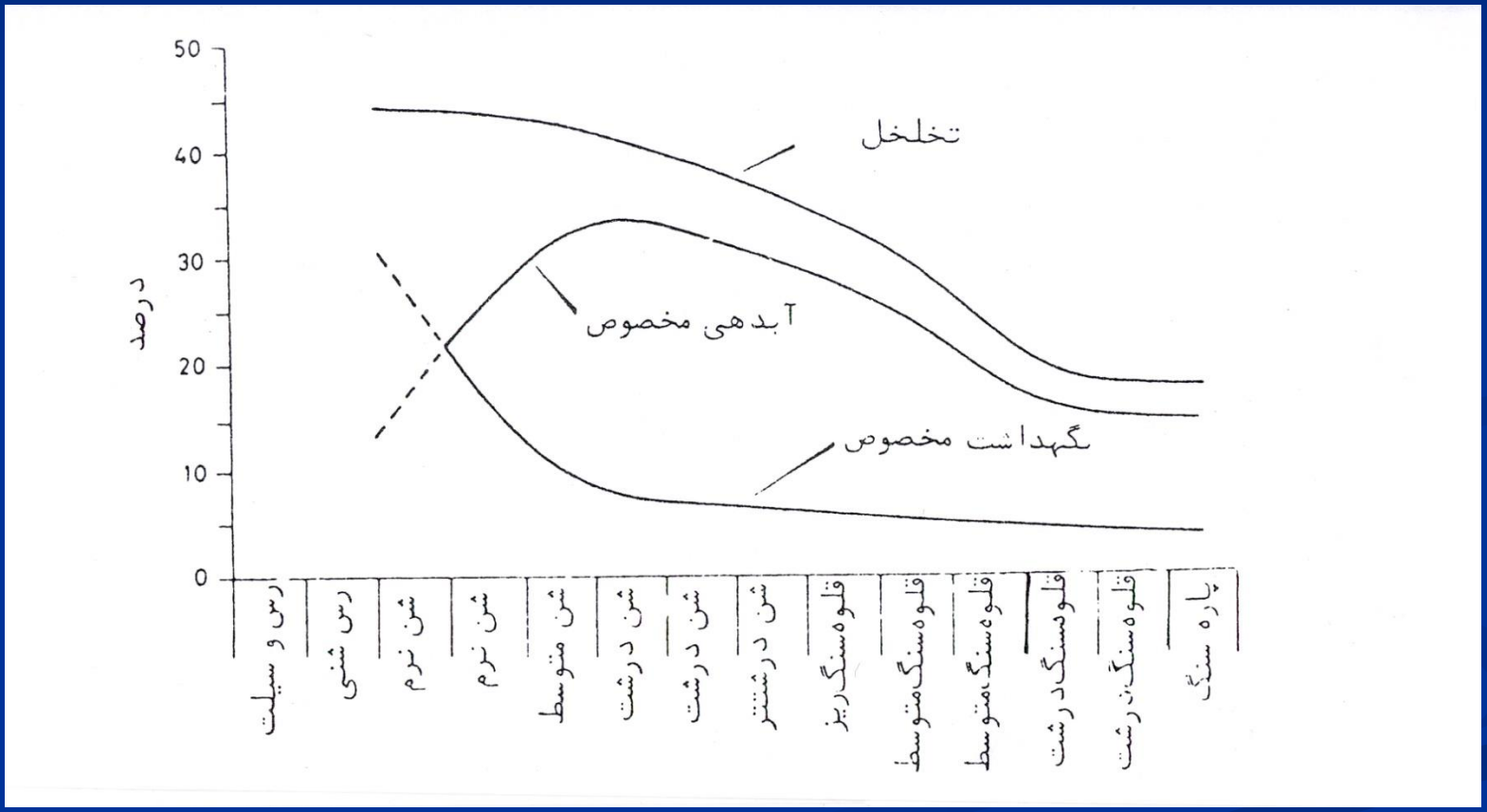
آبدهی ویژه

عبارت است از نسبت در صد حجم آبی که می توان از یک نمونه اشباع از آب بر اثر نیروی گرانی خارج شود به حجم کل آن نمونه .

عوامل مؤثر بر آبدهی ویژه در یک لایه رسوبی :

- اندازه دانه ها
- شکل وتوزیع منافذ
- تراکم لایه ها

رابطه بین تخلخل کل، آبدهی ویژه(مفید) و نگهداشت ویژه با اندازه دانه های محیط متخلخل



مسئله

یک نمونه استوانه ای به ارتفاع ۱۰.۲ و قطر ۵ سانتی متر از رسوبات ماسه ای نزدیک به سطح ایستابی به دست آمده است. وزن نمونه قبل از خشک شدن ۴۱۹ گرم و بعد از خشک کردن ۳۷۱ گرم است. پارامترهای زیر را حساب کنید: تخلخل، نسبت پوکی، چگالی ظاهری، درصد وزنی رطوبت، درصد حجمی رطوبت و درصد اشباع (چگالی دانه های ماسه ۲.۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب است).

مسئله

از ۵ متر مکعب حجم یک آبخوان ۱۲۰۰ لیتر آب استخراج شده است اگر تخلخل کل این آبخوان ۰.۴ باشد تخلخل مفید و غیر مفید آن را حساب کنید.

سطح ایستابی

- سطحی است فرضی که در تمام نقاط آن فشار برابر فشـار اتمسـفر است و بطور قرار دادی آن را معادل صفر در نظر می گیرند.
- بار فشار آب زیر زمینی در نقطـه معینـی از منطقـه اشـباع ،عبـارت است از ارتفاع بالا آمدن آب در یک لوله قائم که تا آن نقطه فرو رفته باشد. چنین لوله ای را پیزومتر می گویند.

سطح پیزومتریک

- مرز بالایی منطقه اشباع را ممکن است یک لایه نفوذ ناپذیر تشکیل دهد که در این صورت فشار در سطح فوقانی منطقه اشباع بیش از فشار اتمسفر است که در این صورت آن را سطح پیزومتریک می گویند.

عوامل موثر در عمق سطح ایستابی

- مقدار بارندگی
- مقدار تبخیر
- میزان تخلیه طبیعی و مصنوعی
- خصوصیات زمین شناسی محل
- توپو گرافی زمین

انواع لایه از نظر آبدهی

* **لایه آبدار یا سفره آب زیر زمینی یا آبخوان (Aquifer)**

✓ لایه یا سازند که حاوی آب باشد و اجازه حرکت مقادیر قابل توجه آب را در شرایط معمولی صحرایی بدهد (رسوبات آبرفتی، شن و ماسه).

* **لایه نیمه تراوا (Aquitard)**

✓ لایه نیمه تراوا یا سازند نشتی لایه ای است که ماهیت نیمه نفوذ پذیر دارد ودر مقایسه با یک لایه آبدار ،آب خیلی کمی از خود عبور می دهد(سیلت) .

انواع لایه ها از نظر آبدهی

لایه کم تراوا (Aquiclud)

سازندی است که گرچه توانایی جذب آب را به آهستگی دارد و حتی ممکن است حاوی مقدار زیادی آب باشد ولی، در شرایط معمولی صحرایی قادر به انتقال قابل توجه نیست واساساً نفوذ ناپزیر است مانند یک لایه رسی.

لایه نا تراوا یا آب گریزیا بسته سازند (Aquifuge)

لایه آب گریز لایه نفوذ ناپذیری است که قادر به جذب و انتقال آب نیست مانند بازالت متراکم فاقد حفره های مرتبط به هم یا گرانیت

خصوصیات سنگها از نظر آبدار بودن

- رسوبات سخت نشده

* **سنگهای رسوبی**

- ✓ سنگهای آهکی حفره دار: از نظر تشکیل لایه های آبدار بهترین پتانسیل را در بین سنگهای رسوبی نشان می دهد و تکامل نهایی سازند های آهکی ، ایجاد نواحی کارستی است.
- ✓ شیلها: معمولاً لایه های آبدار خوبی تشکیل نمی دهند.

خصوصیات سنگها از نظر آبدار بودن

سنگ های آتشفشانی

سنگهای آتشفشانی از نظر تشکیل حفره های آب زیر زمینی بسیار متفاوتند. بعضی از گدازه های بازالتی جدید فوق العاده نفوذ پذیرند و می توان چاههایی با آبدهی زیاد در آنها حفر کرد. از طرف دیگر توفها و ریولیت ها گرچه متخلخل اند، ولی معمولاً نفوذ پذیری خیلی کمی دارند.

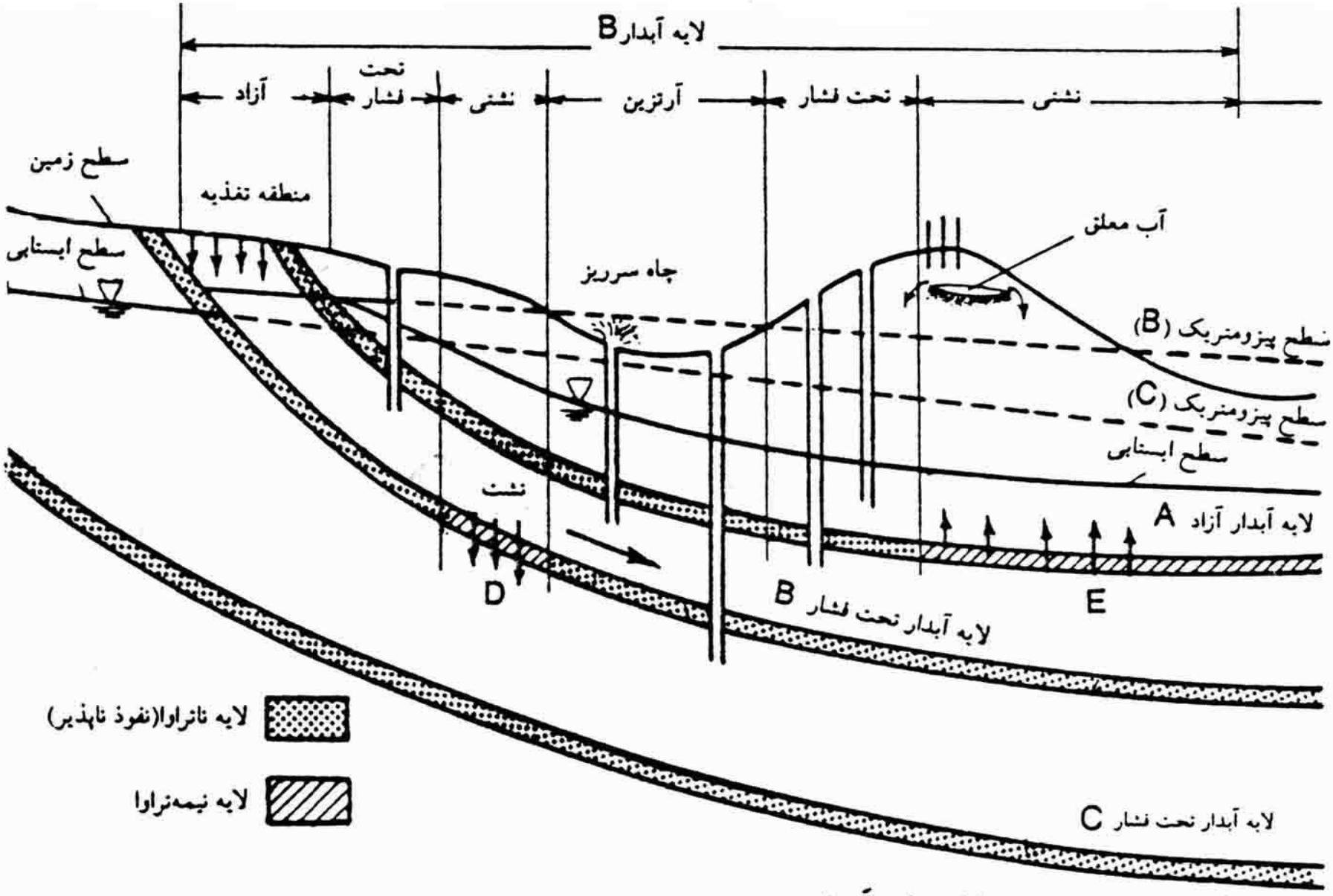
خصوصیات سنگها از نظر آبدار بودن

سنگهای متبلور

سنگهای آذرین و دگرگونی مثل گرانیتها و گنیسها اساساً نفوذ ناپذیرند و اگر خرد شدگی داشته باشند آبدهی کمی دارند . به همین دلیل منابع آب زیرزمینی خوبی نیستند.

انواع لایه آبدار

- آزاد
- تحت فشار
- معلق
- نیمه تراوا



شکل ۲-۱۳ - انواع لایه‌های آبدار

آبدهی لایه های آبدار تحت فشار عمدتاً نتیجه مکانیسمهای زیر است

- تراکم یا فشردگی لایه آبدار و لایه های محصور کننده
- نشست از لایه های آبدار دیگر
- زهکشی از منافذ لایه آبدار در محل بیرون زدگی خود در سطح زمین

ضریب ذخیره

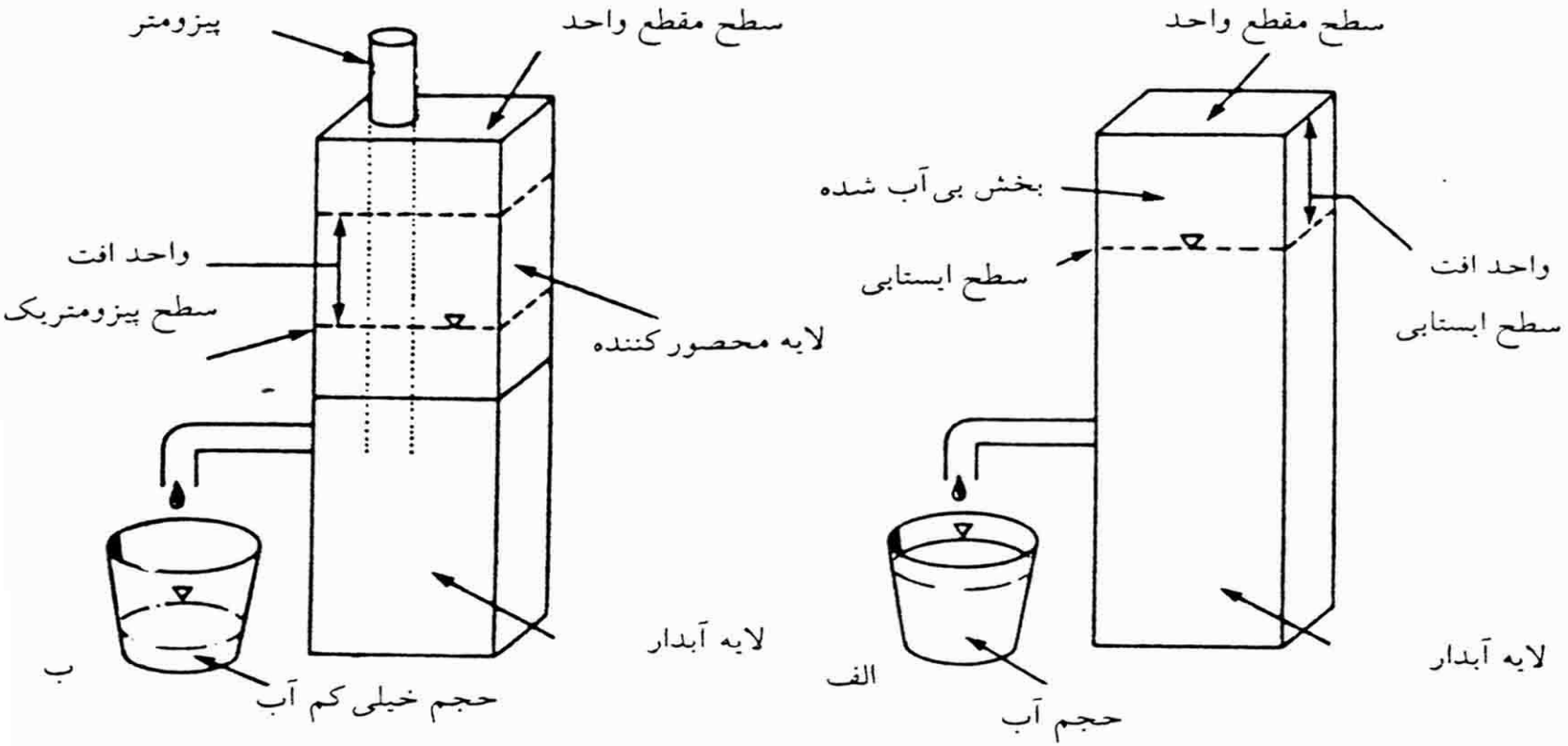
* حجم آبی است که در واحد از سطح افقی سفره ، به ازای واحد افت سطح ایستابی یا سطح پیزومتریک می تواند آزاد کند. ضریب ذخیره همان آبدهی ویژه یا تخلخل مؤثر است در سفره های آزاد است .

$$S = \frac{V_y}{V_t} \times 100$$

S: ضریب ذخیره

V_y : حجم آب آزاد شده

V_t : حجم منطقه زهکشی شده



شکل ۲-۱۵ - نموداری برای نمایش مفهوم ضریب ذخیره در ستون قائمی از سفره به سطح مقطع واحد. الف: در لایه‌های آبدار آزاد یا پایین رفتن سطح ایستابی به اندازه واحد، مقداری آب تولید می‌شود که معادل آبدهی ویژه یا ضریب ذخیره است. در نتیجه یک واحد از حجم لایه آبدار بی‌آب می‌شود. ب: در لایه‌های آبدار تحت فشار با پایین رفتن سطح پیزومتریک به اندازهٔ واحد، مقدار خیلی کمتری آب آزاد می‌شود و لایه آبدار همچنان مملو از آب باقی می‌ماند.

آبدهی مجاز

- مقدار آبی است که سالانه می توان از یک حوضه آب زیر زمینی برداشت کرد بدون آنکه نتیجه نا مطلوبی به بار آورد.

پایان