

فصل هشتم: آبهای زیرزمینی

۸-۱- آب زیرزمینی و لایه آبدار

آب زیرزمینی^۱ آن قسمت از آب زیر سطح زمین است که توسط چاه‌ها، قنات‌ها و یا کانال‌های زهکشی قابل جمع‌آوری و استحصال و برداشت است و یا به طور طبیعی از طریق نشست به داخل خاک و زمین نفوذ می‌کند و یا از طریق تراوش در سطح زمین به صورت چشمه جریان پیدا می‌کند.

همه آبهای موجود در زیر زمین به عنوان آب زیرزمینی تلقی نمی‌شود. اگر حفره‌ای در زمین کنده شود به خاک مرطوب و حتی خاک اشباع شده برخورد می‌شود که چون آب آزادانه به داخل حفره تراوش نمی‌کند، به این رطوبت آب زیرزمینی گفته نمی‌شود و تا زمانی که آب شروع به جریان به داخل حفره نکند، آب زیرزمینی حقیقی به حساب نمی‌آید. زیرا هوای داخل این حفره دارای فشار اتمسفری است. برای اینکه آب زیرزمینی به طور آزاد به داخل حفره جریان پیدا کند باید فشار بیشتری از فشار اتمسفری داشته باشد. به این ترتیب تشخیص آب زیرزمینی از بقیه آب زیر پوسته زمین در این است که باید فشاری

¹ Ground water

بیشتر از فشار اتمسفری داشته باشد. چنین آبی که بطور آزاد و تحت تأثیر نیروی ثقل وارد چاه می‌شود، آب آزاد یا آب ثقلی گفته می‌شود.

فاصله بین سطح زمین تا حد بالای سطح سفره آب زیر زمینی ناحیه آب ثقلی یا منطقه غیر اشباع نامیده می‌شود. آب بوسیله نیروی کاپیلاری یا شعریه توسط ذرات خاک و سایر مواد زیر زمینی نگهداری می‌شود حتی اگر فشار آب پائین‌تر از فشار اتمسفر باشد حرکت کاپیلاری یا موئیتی یا شعریه ادامه خواهد داشت.

منطقه موئینه‌ای بالای آب زیرزمینی و در قسمت بالای خاک اشباع قرار دارد. معمولاً ناحیه ثقلی و منطقه آب زیر زمینی بیشتر از منطقه غیر اشباع و اشباع بکار می‌رود.

فشار اتمسفر خط تقسیم کننده بین این دو منطقه است یعنی فشار آب ثقلی کمتر از فشار اتمسفر و فشار آب زیر زمینی بیشتر از فشار اتمسفر می‌باشد.

۸-۲- لایه آبدار و مشخصات آن

۸-۲-۱- لایه آبدار

لایه آبدار یا سفره آب زیرزمینی یا آبخوان (Aquifer) عبارت از لایه یا سازندی است که اولاً حاوی آب باشد و ثانیاً اجازه دهد که مقادیر قابل توجه آب در شرایط معمولی در آن حرکت کند. این لایه را لایه تراوا می‌گویند. لایه ناتراوا یا ریز سازند، سازندی است که گرچه توانایی جذب آب را به آهستگی دارد و حتی ممکن است دارای مقدار زیادی آب باشد ولی در شرایط معمولی قادر به انتقال مقادیر قابل توجه آب نمی‌باشد و یا اصولاً نفوذ ناپذیر است مانند سازه های رسی.

لایه کم تراوا یا نیمه تراوا، لایه ای است که ماهیت نیمه نفوذ پذیر دارد و در مقایسه با یک لایه آبدار، آب خیلی کمی از آن عبور میکند. لایه کم تراوا را سازند نشتی هم می‌گویند.

لایه غیر قابل نفوذ را لایه آب گریز یا لایه بسته هم می‌گویند که قادر به جذب و انتقال آب نمی‌باشد. به این ترتیب لایه آبدار، لایه تراوایی در زیرزمین است که میتواند مقدار قابل توجه و کافی آب از آن به صورت اقتصادی برداشت کرد. لایه های آبدار از نظر سنگ شناسی و مواد تشکیل دهنده ممکن است به یکی از صور زیر باشد:

۸-۲-۱-۱- رسوبات سخت نشده

بیشتر سفره های آب زیرزمینی، آبخوان و یا لایه های آبدار را رسوبات متراکم نشده متشکل از ماسه، شن، قلوه سنگ و غیره می‌باشند. 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 می‌باشند و چاه‌هایی که در آنها حفر میشود دارای آبدهی خوبی هستند.

رسوبات آبرفتی و یخچالی در دوره های مدفون شده یا رودخانه های قدیمی هم پتانسیل زیادی برای تشکیل لایه آبدار دارند. این نوع رسوبات بیشتر از ماسه و گراول تشکیل شده اند.

مخروطه های افکنه هم که در اطراف دره های آبرفتی یافت میشوند دارای رسوبات با نفوذ پذیری زیادی هستند و محلهای خوبی برای نفوذ باران و روانابهای جاری شده در مناطق کوهستانی را دارند. مخروطه افکنه ها از نظر تشکیل سفره آب زیرزمینی ارزش زیادی دارند. همانگونه که قبلاً توضیح داده شد، مادر چاه قنات‌ها در نواحی کوهپایه ای در همین مخروطه افکنه ها حفر میشود.

تلماسه ای مناطق ساحلی و نهشته های بادی محلهای مناسبی برای تشکیل لایه آبدار و سفره آب زیرزمینی می‌باشند. تلماسه ها از ماسه های نسبتاً یکتواخت با نفوذپذیری زیاد می‌باشند.

در مناطق یخچالی با یخ برقه‌ای یکتواخت و با نفوذ پذیری زیاد دیده میشود که پتانسیل آبی آنها زیاد می‌باشد.

۸-۲-۱-۲- سنگهای رسوبی

سنگهای آهکی حفره دار از نظر تشکیل لایه آبدار پتانسیل خوبی را در بین سنگهای رسوبی دارند. مجاری و حفره هایی که در اثر حل شدن کربنات کلسیم توسط اسیدهایی مثل دی اکسید کربن و اسیدهای آلی موجود در آبهای جاری بوجود می‌آیند،

فضاهایی هستند که بصورت لایه آبدار عمل میکنند. این حفره ها 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 میشود. فضاهای خالی سنگهای آهکی از منافذ ریز تا حفرات و غارهای بزرگ که تشکیل رودخانه‌های زیرزمینی را میدهد، متغییر است. در سنگهای آهکی گاهی چشمه های بزرگی دیده میشود که دارای آب خیلی زیادی هستند مانند چشمه هایی که در سر شاخه های کارون و یا چشمه های گاماسیاب و شاخه های کرخه از ایندست می باشند.

۸-۲-۱- ۳- سنگ های آتشفشانی

این گونه سنگ ها از نظر تشکیل سفره های آب زیرزمینی بسیار متفاوت هستند. بعضی از گدازه های بازالتی جدید فوق العاده نفوذ پذیر هستند و می توانند لایه آبدار خوبی را تشکیل دهند. توف ها و ریولیت ها اگرچه دارای تخلخل زیاد هستند ولی معمولاً نفوذ پذیری خیلی کمی دارند. برعکس بعضی از گدازه های متخلخل بقدری نفوذ پذیرند که فقط در صورت موانعی مانند سد میتوانند در آنها آب نگهدارند. در طبیعت ممکن است وجود لایه های خاکستر آتشفشانی و یا مناطق با نفوذ پذیری کم در کنار این سازندها به صورت موانع عمل کرده و سفره آب زیرزمینی تشکیل دهند.

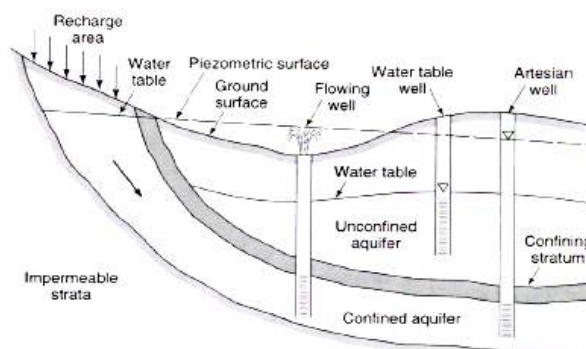
۸-۲-۲- انواع لایه های آبدار

دو نوع لایه آبدار وجود دارد. یکی لایه آبدار آزاد و دیگری لایه آبدار محبوس یا تحت فشار.

۸-۲-۲-۱- لایه آبدار آزاد

لایه آبدار آزاد یا نامحصور^۱ مانند یک دریاچه زیرزمینی در مواد متخلخل می باشد. در این گونه سفره ها معمولاً هیچگونه لایه محصور کننده ای در بالای منطقه اشباع وجود ندارد و در واقع سطح بالایی آن همان سطح ایستایی است که میتواند آزادانه نوسان داشته باشد و در اثر تغذیه بالا بیاید و یا در اثر تخلیه سطح آن پائین برود. مرز پائینی سفره آزاد را لایه ای نفوذ ناپذیر یا کم تراوا تشکیل می دهد که معمولاً از جتس رس و یا مواد دانه ریز، شیل، سنگ آهک متراکم، سنگ آذرین و یا انواع دیگر سنگ بستر (سنگ کف) می باشد.

سفره آزاد معمولاً در آب رفته ها، تلماسه ها یا نهشته های یخچالی دیده می شود. ضخامت لایه های آبدار آزاد از چند متر تا چند صد متر تغییر میکند. همانگونه که در منشاء آبهای زیرزمینی به آن اشاره شد، منبع اصلی تغذیه آب زیرزمینی در لایه های آبدار آزاد بارش و آبهای سطحی حاصل از بارش و ذوب برف و یخ می باشند که یا مستقیماً از خاک بالای سفره در آن نفوذ می کند و یا غیر مستقیم از طریق نشت از رودخانه ها و دریاچه ها وارد سفره میگردد. قسمتی از آبهایی که در مزارع و باغات به مصرف آب آبیاری میرسند نیز میتوانند در تغذیه این سفره ها شرکت داشته باشند. شکل (۱-۱۳) اینگونه سفره های آبدار آزاد را بصورت شماتیک نشان میدهد. همانگونه که ملاحظه می شود سطح ایستایی در این سفره ها با تراز تعادلی آب در چاه مطابقت دارد.



شکل (۱-۱۳) مقطع عرضی از لایه های آبدار آزاد و تحت فشار

^۱ Unconfined Aquifer

لایه آبدار تحت فشار یا محبوس^۱ بین دو لایه با نفوذ پذیری خیلی کم واقع شده است مثل وجود یک لایه ماسه ای که در بین دو لایه رسی واقع شده است و یا یک لایه ماسه سنگ که بین دو لایه از جنس شیل و یا سنگ آهک متراکم محصور شده باشد.

در جاهایی که لایه های محصور به سطح زمین می‌رسند و حفره تحت فشار بصورت یک سفره آزاد در می‌آید، آب میتواند وارد سفره شود و در واقع این محلها را منطقه تغذیه یا آگیری سفره تحت فشار می‌نامند. راه دیگری که برای تغذیه سفره های تحت فشار وجود دارد ترلوش سفره های آزاد بالای آنها از طریق لایه های کم ترلواایی بالای سفره تحت فشار می باشد. معمولاً لایه های آبدار تحت فشار از آب پر میباشند و بنابراین سطح فوقانی آنها را سطح ایستایی تشکیل نمی دهد. در این سفره ها بجای سطح ایستایی سطح پیزومتريک وجود دارد. سطح پیزومتريک یا سطح فشار^۲ یک سطح فرضی است که ارتفاع آن در هر نقطه برابر ارتفاع نظیر فشار آب یا بار فشار در سفره است.

در چاه های پیزومتريک که تا سفره تحت فشار پائین رفته باشد، آب از زیر لایه محصور کننده بالایی، بالاتر می‌آید. دلیل آنهم اینست که سطح ایستایی محل تغذیه سفره تحت فشار در ارتفاعی بالاتر از لایه محصور کننده بالایی در محل چاه پیزومتريک است.

ارتفاع آب در پیزومترها نشان دهنده فشار آب در هر نقطه است. بنابراین تراز آب در تعدادی از پیزومترها که تا سفره معینی نفوذ کرده باشند، مشخص کننده سطح پیزومتريک آن لایه آبدار تحت فشار می باشد. اگر سطح پیزومتريک بالاتر از سطح زمین باشد، آب چاه خود به خود و بدون پمپاژ فوران می کند. اینگونه چاه ها را چاه آرتزین^۳ یا چاه سر ریز می گویند. اصطلاح چاه آرتزین گاهی در مورد هر چاهی که در لایه آبدار تحت فشار حفر شود و یا حفر این نوع لایه های آبدار و گاهی تنها در مورد چاهها و لایه های آبدار که آب آنها بتواند به سطح زمین راه پیدا کند هم بکار می رود. آبهای سفره های آرتزین میتوانند بصورت مجاری طبیعی مثل گسل ها به سطح زمین راه پیدا کنند و چشمه ها را بوجود بیاورند.

سفره های تحت فشار در یک منطقه ممکن است شامل تعدادی لایه های آبدار روی هم باشند که با لایه های ناتراوا و با کم تراوا از هم جدا شده باشند. بالاترین این لایه ها معمولاً یک لایه سفره آزاد است. کیفیت آب و میزان نفوذ پذیری این سفره ها با توجه به جنس لایه های کم تراوا ممکن است با یکدیگر تفاوت داشته باشد.

۸-۳- لایه آبدار ایده آل^۴

برای محاسبه ذخیره آب زیرزمینی و مباحث مربوط به حرکت آبهای زیرزمینی، لایه های آبدار یا آبخوان ها را به صورت یکنواخت^۵ یا همگن و همچنین هم گاشت یا تک گاشت^۶ فرض می کنند.

یک لایه آبدار همگن محیطی است که در همه نقاط آن ویژگی های هیدرولوژیکی یکسانی برای آن فرض می شود. در یک لایه هم گاشت، ویژگی های آن مستقل از جهت می باشد یعنی در جهات مختلف مشخصات هیدرولیکی آن تفاوت ندارد.

¹ Confined Aquifer

² Piezometric surface

³ Artesian

⁴ Idealized Aquifer

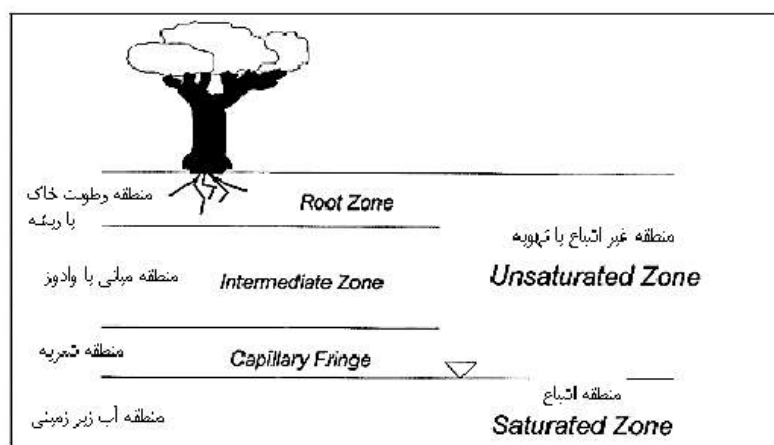
⁵ Homogeneous

⁶ Isotropic

مسئله چنين لايه‌هاي آبداري همگن و تگ‌گاشت وجود ندارد ولي براي حل مسائل آبهاي زيرزميني ناچار به قبول چنين فرضيائي هستيم، البته اين محاسبات نتيجه قابل قبولي كه تقريباً با واقعيت تطابق داشته باشد را بدست مي دهد و بعنوان يك حد متوسط از وضعيت آبخوان به حساب مي آيد.

۸-۴- انتشار آب در لايه آبدار

از نظر آبهاي زيرزميني دو منطقه در لايه آبدار قابل تشخيص است. يكي منطقه تهويه^۱ يا منطقه غير اشباع كه در بالاي سطح آب قرار دارد و در آن منافذ سنگها و يا تخلخل خاكها توسط آب و هوا اشغال شده است. لايه دوم را لايه اشباع^۲ مي‌گويند كه در زير لايه تهويه قرار دارد و تمام منافذ آن از آب اشغال شده است. اين دو منطقه در شكل (۸-۲) نشان داده شده است.



شكل (۸-۲) شماتيك انتشار آب در مناطق مختلف لايه آبدار

۸-۴-۱- منطقه تهويه در لايه آبدار

منطقه تهويه قسمتي از لايه زمين است كه از سطح زمين تا سطح بالايي منطقه اشباع ادامه دارد. در اين منطقه به علت نيروهاي جاذبه مولكولي بين ذرات آب و سنگ، تمام آبي كه به زمين نفوذ مي كند به پايين نمي رود بلكه قسمتي از آب در اطراف ذرات خاك و سنگ به صورت معلق باقي مي ماند. اين آب را آب معلق يا آب^۳ مي‌گويند. در بيشتر وقت‌ها منطقه تهويه بر روي منطقه اشباع قرار دارد. ضخامت اين لايه متغير است و گاهي به صد متر هم مي‌رسد. وقتي مقدار نفوذ آب در سطح زمين زياد باشد آب مازاد از منطقه عبور مي كند و به منطقه اشباع مي‌رسد.

۸-۴-۲- منطقه اشباع لايه آبدار

در منطقه اشباع^۴ آب تمام منافذ سنگ و خاك را پر مي كند و بنابراین تخلخل بيان كننده آب موجود در واحد حجم خاك مي‌باشد. تمام آبهاي موجود در منطقه اشباع را نمي‌توان با زهكشي و با پمپاژ از آن خارج كرد زيرا نيروهاي مولكولي و كشش سطحي قسمتي از آب را در محل نگهداري مي كند. بنابراین آب نگهداري شده آبي است كه در تقابل نيروي ثقل در اين منطقه

¹ Aeration

² Zone of Saturation

³ Vadose

⁴ Zone of Saturated

نگهداری می‌شود و به نگهداشت ویژه^۱ (Sr) یا ضریب ذخیره لایه آبدار موسوم است. نگهداشت ویژه عبارت است از نسبت بین حجم آبی که در یک سنگ یا خاک بعد از اشباع شدن، می‌تواند در مقابل نیروهای ثقل نگهداری شود به حجم کل نمونه خاک.

$$Sr = \frac{V_r}{V_t} \times 100 \quad (۱-۸)$$

V_r = حجم آب قابل نگهداری و V_t = حجم کل نمونه خاک

۴-۸ حرکت آبهای زیر زمینی

۱-۴-۸ قانون دارسی^۲

اولین قانون حرکت آبهای زیر زمینی به قانون دارسی (Darcy's Law) معروف است که به صورت زیر بیان شده است.

$$Q = -KA \frac{dh}{dl} \quad (۲-۸)$$

در این معادله:

A سطح مقطع جریان

$\frac{dh}{dl}$ گرادیان یا شیب هیدرولیکی آب در لایه آبدار

K هم در واقع یک ثابت نسبی یا ضریب تناسب است که با مشخصات لایه آبدار بستگی دارد و به آن ضریب نفوذپذیری یا ضریب ترلواپی می‌گویند. ولی بیشتر به آن هدایت هیدرولیکی^۳ گفته می‌شود. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مقدار ضریب نفوذپذیری به صورت صحرایی و یا آزمایشگاهی وجود دارد. هر اندازه خاک یا نمونه خاک از لایه آبدار دست نخورده‌تر باشد، اندازه‌گیری دقیق خواهد بود.

۲-۴-۸ ضرایب هیدرودینامیک سفره‌ها

۱-۲-۴-۸ هدایت هیدرولیکی

همانگونه که در بالا اشاره شد مقدار ضریب تناسبی K با مشخصات لایه آبدار بستگی دارد و به آن هدایت هیدرولیکی و یا ضریب نفوذپذیری یا ضریب ترلواپی می‌گویند. روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری مقدار ضریب نفوذپذیری به صورت صحرایی و یا آزمایشگاهی وجود دارد. هر اندازه خاک یا نمونه خاک از لایه آبدار دست نخورده‌تر باشد، اندازه‌گیری دقیق خواهد بود.

۲-۲-۴-۸ آبدهی ویژه

آبدهی ویژه^۴ عبارت است از نسبت درصد حجم آبی که می‌تواند از یک نمونه اشباع شده از آب در اثر نیروی ثقل خارج شود به کل حجم نمونه

¹ Specific Retention

² Darcy's Law

³ Hydraulic conductivity

⁴ Specific Yield

$$Sy = \frac{V_y}{V_t} \times 100 \quad (3-8)$$

V_y = حجم آب قابل زهکشی

V_t = حجم کل نمونه خاک =

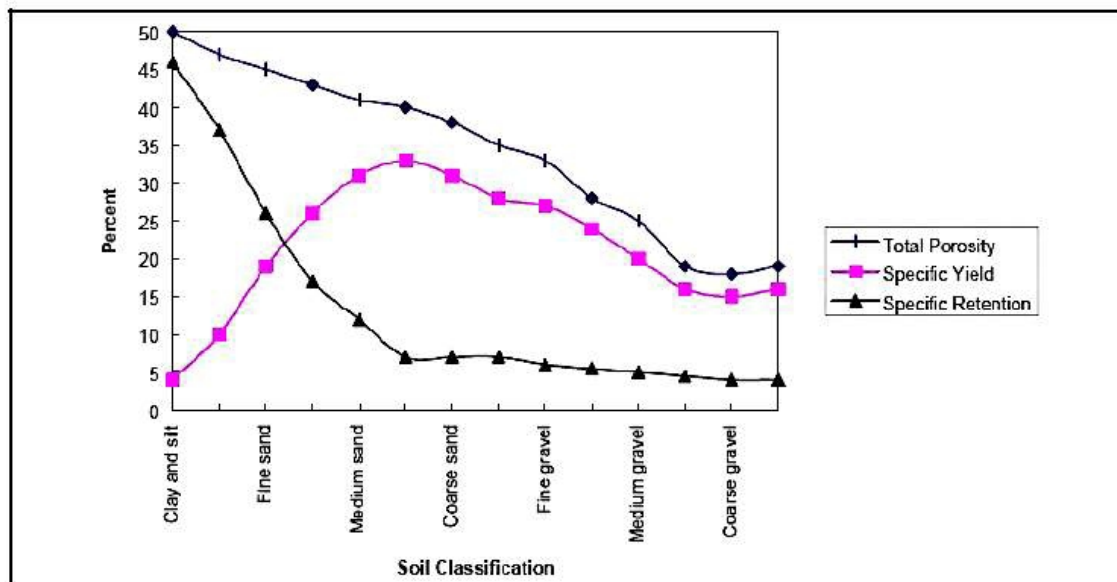
چون حجم فضاهای خالی برابر با مقدار آب قابل زهکشی است بنابراین:

$$V_v = V_r + V_y \quad (4-8)$$

یعنی مجموع آبدهی ویژه و نگهداشت ویژه معادل تخلخل خاک می باشد.

$$\phi = Sr + Sy \quad (5-8)$$

به این ترتیب آبدهی ویژه یا تخلخل مؤثر قسمتی از تخلخل کل یک لایه آبدار را تشکیل می دهد. مقدار آبدهی ویژه در یک لایه رسوبی به اندازه دانه بتدی، شکل، توزیع منافذ و تراکم لایه بستگی دارد. در یک رسوب ماسه ای با ضریب جورشدگی خوب، مقدار آبدهی ویژه ممکن است به ۳۰٪ هم برسد. شکل (۳-۸) رابطه بین آبدهی ویژه، نگهداشت ویژه و تخلخل را نسبت به دانه بتدی رسوبات نشان می دهد



شکل (۳-۸) رابطه ویژگی های آبی با اندازه ذرات رسوبات در لایه آبدار

۸-۴-۳ ضریب آبگذری

ضریب آبگذری^۱ یا ضریب انتقال پذیری یا قابلیت انتقال، پارامتری از یک لایه آبدار است که قابلیت عبور آب را در تمام ضخامت لایه آبدار نشان می دهد. در معادله دارسی اگر به جای سطح مقطع عمود بر جریان ضخامت لایه آبدار (D) و عرض آن (W) قرار گیرد، معادله زیر بدست می آید.

$$Q = K.A.\frac{dh}{dl} = K.W.D.\frac{dh}{dl} \quad (۶-۸)$$

در این صورت حاصل ضرب هدایت آبی در ضخامت لایه آبدار را ضریب آبگذری لایه آبدار می گویند. یعنی:

$$T = D.K \quad m \times m/day = m^2/day \quad (۷-۶)$$

در این صورت معادله دارسی برای ضریب آبگذری به صورت زیر خواهد شد:

$$Q = W.T.\frac{dh}{dl} = W.T.i \quad (۸-۸)$$

به این ترتیب ضریب آبگذری علاوه بر هدایت آبی، ضخامت لایه آبدار را نیز نشان می دهد. این پارامتر یکی از مهمترین ضرایب هیدرودینامیک لایه آبدار می باشد.

۸-۴-۳ لایه آبدار ایده آل

لایه آبدار ایده آل^۲ برای محاسبه ذخیره آب زیرزمینی و مباحث مربوط به حرکت آبهای زیرزمینی، لایه های آبدار یا آبخوان ها را به صورت یکتواخت یا همگن^۳ و همچنین هم گاشت یا تک گاشت^۴ فرض می کنند. یک لایه آبدار همگن محیطی است که در همه نقاط آن ویژگیهای هیدرولوژیکی یکسانی برای آن فرض می شود. در یک لایه هم گاشت، ویژگیهای آن مستقل از جهت می باشد یعنی در جهات مختلف مشخصات هیدرولیکی آن تفاوت ندارد. مسلماً چنین لایه های آبداری همگن و تک گاشت وجود ندارد ولی برای حل مسائل آبهای زیرزمینی ناچار به قبول چنین فرضیاتی هستیم، البته این محاسبات نتیجه قابل قبولی که تقریباً با واقعیت تطابق داشته باشد را بدست می دهد و بتوان یک حد متوسط از وضعیت آبخوان به حساب می آید.

۸-۴-۴ جریان پایدار یک بعدی آب زیرزمینی

$$\frac{dh}{dt} = 0, \frac{dq}{dt} = 0 \quad \text{یعنی تغییر نمی کند}$$

این وضعیت برای لایه آبدار تحت فشار و آزاد به صورتی است که تغییرات سطح پیزومتری و یا ایستابی را تحت الشعاع خود قرار می دهد. در زیر، این دو لایه مورد بررسی قرار می گیرد.

^۱ (Transmissivity)
^۲ Idealized Aquifer
^۳ Homogeneous
^۴ Isotropic