

**جزوه طراحی سیستم های زهکشی**

**استاد مربوطه: شیرمحمدی**

**گروه مهندسی آب – مجتمع آموزش عالی تربت جام**

لیست نشریات سازمان مدیریت و برنامه ریزی		
سال انتشار	موضوع	شماره نشریه
۱۳۷۴	فهرست خدمات مرحله شناسایی طرحهای آبیاری و زهکشی	۹۶
۱۳۷۲	فهرست خدمات مطالعات مرحله یک (توجیهی) طرحهای آبیاری و زهکشی	۹۳
۱۳۷۴	شرح خدمات مهندسی مطالعات مراحل مختلف طرحهای آبیاری و زهکشی	۹۸
۱۳۷۳	فهرست خدمات مرحله شناسایی طرحهای زهکشی و بهسازی خاک برای دشتهایی که در آنها شبکه آبیاری احداث شده است .	۹۵
۱۳۷۳	فهرست خدمات مرحله دو (تشریحی) طرحهای آبیاری و زهکشی	۹۴
۱۳۷۶	دستورالعمل حفر و تجهیز پیژومترهای مرکب	۱۶۲
۱۳۷۵	دستورالعمل لایه بندی خاک در مطالعات زهکشی اراضی	۱۵۳
۱۳۷۶	معیارهای هیدرولیکی طراحی کانالهای آبیاری و زهکشهای روباز	۱۶۶
۱۳۷۵	دستورالعمل حفر و تجهیز چاهکهای مشاهده ای	۱۵۴
۱۳۷۵	دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک	۱۵۵
۱۳۷۶	دستورالعملهای هدایت هیدرولیکی خاک با روش پیژومتری	۱۶۴
۱۳۸۱	دستورالعمل آزمایشهای آبشویی خاکهای شور و سدیمی در ایران	۲۵۵
۱۳۸۴	ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکشهای زیر زمینی	۳۱۹
۱۳۸۴	فهرست خدمات ارزیابی عملکرد سامانه های زهکشی زیرزمینی	۳۲۰
۱۳۸۴	دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک به روشهای مختلف	۳۲۲
۱۳۸۵	ضوابط انتخاب و طراحی مزرعه آزمایشی زهکشی زیرزمینی	۳۴۸
۱۳۸۵	ضوابط طراحی سازه های اتصال و تخلیه زهکشهای روباز	۳۵۸
۱۳۸۵	راهنمای کاربرد مدلهای تجربی و نظری آبشویی نمکهای خاکهای شور	۳۵۹
۱۳۸۵	راهنمای طراحی و انتخاب مواد مصالح برای زهکش های زیرزمینی	۳۶۸

• مقدمه

• تعادل رطوبت و اکسیژن در خاک و کنترل نمک برای رشد گیاه یک نیاز اساسی می باشد.

• با افزایش رطوبت خاک، منافذ خاک کم کم با هوا پر می گردد و سبب رانده شدن هوا به

اتمسفر می گردد.

- یک خاک شور نیاز به آبخوئی دارد و در این راستا باید دارای نفوذپذیری و زهکشی مناسب باشد.
- تعریف: خارج ساختن آب اضافی یا نمک اضافی از زمین تا شرایط برای رشد گیاهان زراعی بهبود یابد.
- به عبارت دیگر زهکشی عملیاتی است که در اثر آن آب اضافی زمین چه به صورت جریان سطحی و چه به صورت جریان زیرزمینی از خاک و محیط ریشه خارج می گردد.
- زهکشی در مناطق مرطوب برای خارج ساختن آب اضافی و پایین بردن سطح ایستابی، ولی در مناطق خشک و شور به منظور اصلاح اراضی بکار می رود.
- تعریف جدید : فرآیند خارج کردن آب سطحی اضافی و مدیریت سفره آب زیر زمینی کم عمق از طریق نگه داشت و دفع آب و مدیریت کیفیت آب برای رسیدن به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی است در حالی که محیط زیست حفظ شود.
- 
- زهکش طبیعی و زهکش مصنوعی
- تمامی اراضی کشاورزی نیاز به زهکشی دارند. اما ممکن است برخی از اراضی از زهکشی طبیعی کافی برخوردار باشند و نیازی به زهکشی مصنوعی نداشته باشد.
- در صورت فقدان زهکش طبیعی:
- جمع شدن آب روی سطح زمین
- بالا آمدن سطح آب زیرزمینی در زمان آبیاری یا وقوع بارندگیهای سنگین و طولانی مدت
- در چنین شرایطی خاک از نظر رشد گیاه وضع نامناسبی پیدا می کند به طوری که زهکشی آن به طریق مصنوعی امری اجتناب ناپذیر خواهد بود.
- اما اگر دوره ماندابی زیاد طول نکشد و یا مصادف با فصل رشد گیاه و دوره حساس آن نباشد مشکلی از نظر کشاورزی ایجاد نخواهد شد.
- مشکلات ناشی از زه دار شدن اراضی
- جلوگیری از رشد گیاه

- کاهش میزان اکسیژن و تبادل گاز در منطقه ریشه
- افزایش غلظت گازکربنیک در محیط ریشه و ایجاد مسمومیت برای ریشه. در چنین شرایطی جذب مواد غذایی با اشکال مواجه می شود.
- شرایط بی هواری در خاک ممکن است باعث بوجود آمدن ترکیبات احیا شده گازهای آلی، آهن، منگنز و سولفور شود که همگی برای گیاه سمی است.
- در مناطق سردسیر، باتلاقی شدن زمین موجب سرد شدن طولانی خاک در فصل بهار می شود که تاریخ کشت را به تأخیر می اندازد و مراحل رشد ابتدایی گیاه را نیز دچار اشکال می سازد.
- عدم فعالیت موجودات زنده هواری باعث از بین رفتن تاثیر آنها در بهبود ساختمان و شرایط فیزیکی خاک است.

## • ۲- ایجاد اشکال در انجام عملیات کشاورزی

- در اراضی زه دار فرصت انجام کار برای آماده سازی زمین، بذرکاری، وجین و غیره بسیار کوتاه است و اگر بنا به دلایلی این اعمال روی زمین مرطوب انجام گیرد موجب متراکم شدن خاک و تخریب ساختمان آن می گردد. در نتیجه مقدار محصول را تقلیل می دهد، نفوذ پذیری خاک را نیز کاهش داده و آب اضافی سطحی قادر به نفوذ در خاک نمی باشد.

## • ۳- ایجاد رواناب و فرسایش

- در اراضی ماندابی یا اراضی با زهکشی نامطلوب، معمولاً میزان رطوبت اولیه قبل از بارندگی بالا است که باعث کم شدن نفوذ آب به خاک می گردد. این مسئله باعث ایجاد رواناب و فرسایش در هنگام ذوب برف یا بارندگی می گردد.

## • ۴- شور شدن خاک

- عدم زه کشی، عامل اصلی شور شدن اراضی و تجمع نمک در منطقه ریشه می باشد. این موضوع بیشتر در مناطق خشک و نیمه خشک که میزان تبخیر بیشتر از بارندگی است، اتفاق می افتد. (منشا: آبیاری یا صعود موئینه آب)

•

- مزایای زهکشی

- مزایای زهکشی در هر منطقه شامل یک یا چند مورد از نتایج زیر می باشد:
- ۱- تثبیت سطح آب زیرزمینی در عمق دلخواه، اصلاح ساختمان خاک و ازدیاد درجه نفوذپذیری آن
- ۲- تسهیل ورود اکسیژن به درون خاک و ایجاد تهویه مناسب برای تنفس ریشه ها و میکروارگانیسمها
- ۳- فراهم کردن شرایط مناسب کاری برای عملیات کشاورزی (کاشت، داشت و برداشت)
- ۴- ازدیاد عمق ریشه گیاه و جلوگیری از خفقان آن
- ۵- جلوگیری از باتلاقی شدن تدریجی اراضی و شیوع امراض
- ۶- خارج شدن یونهای مضر از خاک
- ۷- جلوگیری از سرد شدن خاک و در نتیجه زودرس شدن محصولات کشت شده (زیرا تبخیر از خاکهای مرطوب حرارت خاک را پایین می آورد)
- ۸- کاهش رواناب و کنترل فرسایش خاک
- ۹- خارج شدن آبهای سطحی از منطقه
- ۱۰- اصلاح خاکهای شور
- ۱۱- زیاد شدن فعالیت میکروارگانیسمها و در نتیجه کم شدن مصرف کودهای ازتی
- ۱۲- آبیاری اراضی پایین دست با زه آب حاصل از زهکشی در صورتیکه دارای مواد مضر نباشد.
- ۱۳- آبیاری زیرزمینی

•

- معایب زهکشی

- خارج شدن عناصر غذایی (کود) از محیط ریشه
- ۲- خارج شدن عناصر سمی و ورود آنها به آبهای سطحی

### ۳- آلودگی محیط زیست

#### ۴- هزینه زیاد

- علل زه دار شدن زمین

- قبل از اقدام به زهکشی باید علت زه دار شدن منطقه را تعیین کرد و متناسب با آن عملیات لازم را انجام داد.

- زه دار شدن زمین ممکن است به علت یک یا چند عامل زیر باشد.
- بارندگی زیاد
- آبیاری بی رویه و بیش از اندازه، به تدریج باعث زه دار شدن زمین می گردد.
- تراوش انهار و فقدان پوشش در کانالهای سنتی
- تراوش از محل احداث ساختمانهای آبی (سدها، کانالها و استخرهای آبی)
- جریان آبهای سطحی و زیرزمینی از منطقه مجاور
- وجود موانع بر سر راه جریانهای زیرزمینی
- توپوگرافی زمین
- جریانهای عمودی از سفره های آبی تحت فشار
- سیلابها

- تاریخچه زه کشی

- تاریخچه اولیه زهکشی بخوبی روشن نیست.
- زه کشی قبل از میلاد بوسیله مصریها و بابلیها
- هرودوت تاریخ نویس یونانی در حدود ۲۴۰۰ سال قبل از میلاد به زهکشی در دره نیل اشاره کرده است.
- رومیها نیز اطلاعاتی از زه کشی و مزایای آن داشته اند.
- زهکشی زیرزمینی اولین بار در سال ۱۸۱۰ در انگلستان بکار گرفته شده و سپس در قاره اروپا توسعه یافت.
- البته استفاده از لوله سفالی از سال ۱۶۲۰ در فرانسه آغاز شده بود ولی رواج پیدا نکرده بود.

- در سال ۱۸۴۵ تولید تنبوشه های سفالی در انگلستان و در سال ۱۹۰۰ تولید تنبوشه های سیمانی در امریکا آغاز شد.
- در دهه ۱۹۴۰ لوله پلاستیکی با جدار ضخیم ابداع شد و در اوایل ۱۹۶۰ با پیدایش لوله پلاستیکی با دیواره صاف و نازک و سپس با ابداع لوله های کنگره دار (خرطومی) شتاب قابل ملاحظه ای پیدا کرد.
- در حوالی سال ۱۹۷۰ استفاده از ماشینهای زهکشی (ترنچرها و ترنچلس ها) آغاز شد و شتاب بیشتری به پیشرفت کار داد
- در حال حاضر، کاربرد فرستنده و گیرنده های لیزری، دقت در کنترل شیب و سرعت کار را افزایش داده است.

#### ○ زهکشی در ایران

- احداث اولین شبکه نوین آبیاری و زهکشی در دهه ۱۳۱۰ در جنوب کشور صورت گرفت و اولین زهکش روباز با استفاده از ماشین در سال ۱۳۳۵ در خوزستان ساخته شد.
- در سال های ۱۳۴۱ و ۱۳۴۲ اولین شبکه زهکشی زیرزمینی با استفاده از لوله های سفالی (تنبوشه) در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران (ملاثانی) اهواز در وسعتی حدود ۵۰۰ هکتار با نیروی کارگری به اجرا درآمد.
- در همین سالها اولین ماشین زهکشی وارد کشور شد و اولین طرح بزرگ زهکشی زیرزمینی در هفت تپه به وسعت ۱۱۰۰۰ هکتار به اجرا درآمد.
- سپس زهکشی اراضی شرکت کشت و صنعت کارون به وسعت ۲۴۰۰۰ هکتار با سرعت زیاد اجرا شد.
- در همان موقع، زهکشی اراضی آبخور سد وشمگیر در گرگان آغاز شد که متأسفانه با شکست مواجه گردید.
- دشت های مغان در شمال غربی کشور، دالکی در بوشهر، زابل در سیستان و بلوچستان، میان آب در خوزستان، بهبهان، طرح اکالیپتوس در جنوب اهواز و طرح های هفت گانه توسعه نیشکر در خوزستان طرح های بزرگ دیگری هستند که اجرای آنها به انجام رسیده یا هنوز ادامه دارد. سطح اراضی زهکش شده در ایران حدود ۱۸۰۰۰۰ هکتار می باشد.
- نیمرخ آب در زیر زمین
- خاکی که از سطح زمین تا لایه غیر قابل نفوذ قرار گرفته است دارای مشخصات متفاوتی است.
- اگر بخواهیم خاک را از لحاظ مباحث آبهای زیر زمینی طبقه بندی کنیم می توان بصورت زیر عمل کرد

- منطقه غیر اشباع
- منطقه صعود شعریه
- منطقه اشباع
- لایه غیر قابل نفوذ

#### ○ منطقه غیر اشباع

- به این منطقه منطقه تهویه ای نیز می گویند
- اگر در این منطقه آبی وارد شود نیروهای ثقل بر آن اثر کرده و آب را به لایه های پایین تر منتقل می کنند.
- در این منطقه هر سه فاز مایع، جامد و گازی آب وجود دارد.
- ضخامت این لایه از سطح خاک شروع و تا بالای منطقه اشباع موقت توسعه می یابد.
- این منطقه از لحاظ تجمع آب زیر زمینی فاقد اهمیت است.
- منطقه صعود شعریه
- 
- آب در این ناحیه به طور دائم و آزاد وجود ندارد
- رطوبت این لایه از لایه اشباع زیرین است
- صعود کاپیلاری یا شعریه خاصیتی است که به قطر ذرات خاک و ترتیب قرار گرفتن این ذرات در کنار هم بستگی دارد.
- هر چه ذرات خاک از بافت ریزتری برخوردار باشند میزان صعود شعریه بیشتر می باشد.
- در خاک هایی با بافت رسی ارتفاع کاپیلاریته ۷۰ تا ۸۰ سانتی متر
- در خاک هایی با بافت سبک (شنی) این ارتفاع حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر می باشد.
- رطوبت این منطقه در ناحیه اتصال به لایه اشباع در حدود اشباع بوده و هر چه به طرف بالاتر می رویم از رطوبت آن بطور خطی کاسته می شود
- منطقه اشباع
- در مباحث مربوط به آب زیر زمینی این منطقه حائز اهمیت است
- این منطقه محل تشکیل سفره های آب زیر زمینی و حفر چاههای عمیق و نیمه عمیق است.
- آب در این ناحیه تمام خلل و فرج خاک را پر کرده است. بطوریکه اگر در داخل این محیط چاهی حفر گردد بدلیل نیروی ثقل و اختلاف سطح آب وارد چاه خواهد شد.



- ضخامت این ناحیه متغیر بوده و از چند متر تا چندین صد متر برای نقاطی که رسوبات آبرفتی کف رودخانه وجود دارد متغیر می باشد
- میزان ذخیره و تجمع آب در این ناحیه تا حدود زیادی به جنس لایه ها بستگی دارد.
- اگر جنس این سازند از نوع رس باشد می توان آب فراوانی در خود ذخیره کند اما در عوض آبدهی کمی دارد به این سفره ها آکی کود می گویند.
- سفره هایی که در سازندهای سبک تشکیل شوند آبدهی خوبی خواهند داشت
- لایه غیر قابل نفوذ

- تعریف لایه غیر قابل نفوذ در زمین شناسی:
- به لایه ای غیر قابل نفوذ گفته می شود که نفوذ پذیری آن ده برابر کمتر از لایه مجاورش باشد.
- جنس این لایه ها معمولاً از رس یا سنگ مادری همان منطقه می باشد.
- برای آنکه سفره ای تشکیل شود لازم است در اعماق یک لایه با نفوذ پذیری کم وجود داشته باشد.
- گسترش و وسعت این لایه متفاوت می باشد
- سطح ایستابی (سطح آزاد)

- سطح ایستابی حد فاصل بین منطقه آب زیرزمینی و منطقه غیر اشباع خاک است و مجموعه مکان هندسی نقاطی است که فشار آب برابر فشار اتمسفر باشد.
- سه منطقه در شرایط وجود سطح ایستابی در خاک وجود دارد:
- منطقه اشباع: به منطقه زیر سطح ایستابی گویند.
- منطقه غیر اشباع: بالای سطح ایستابی قرار دارد و تمامی منافذ پر از آب نمی باشد.
- نوار موئینه ای: در بالای سطح ایستابی لایه نازکی از خاک وجود دارد که به دلیل صعود موئینه ای، آب تمام فضاهای آن را پر نموده و به صورت اشباع در آمده است (فشار منفی).

$$P_{cap} = -2 \sigma \cos \alpha / \rho_w g r$$

$$P_{cap} = -0.3 / d$$

- نوسانات سطح ایستابی

- تغذیه بالا آمدن سطح ایستابی (بیش از رقوم آب در زهکشیها باشد زهکشی می شود)

- تخلیه پایین افتادن سطح ایستابی

- آب زیرزمینی

- آب زیرزمینی به آبهای اطلاق می شود که منافذ لایه های متخلخل زمین را پر می نماید، به این لایه ها لایه آبدار یا آکifer (Aquifer) گفته می شود (منطقه اشباع).

- سفره آب زیرزمینی دو نوع است: محصور یا آزاد

- سد نفوذ عمقی آب بوسیله لایه های سخت و نفوذناپذیر

- آبهای زیرزمینی معلق

- در کشاورزی (معمولا سفره آزاد) اگر عمق در حدود ۲۰ الی ۵۰ متر باشد مشکلی را ایجاد نخواهد کرد،

ولی اگر سطح آب زیرزمینی در عمق کمتر از ۱۰-۵ متر قرار گرفته باشد، در این صورت زه دار شدن

اراضی کشاورزی محتمل خواهد بود.

- فشار آب در خاک

- فشار در زیر سطح ایستابی

- مجموع فشار اتمسفر و فشاری معادل ستون آبی که در بالای یک نقطه قرار گرفته است.

- فشار آب در سطح ایستابی همواره برابر فشار اتمسفر است (صفر فرض می شود)

- فشار هیدروستاتیک آب زیرزمینی توسط پیزومتر اندازه گیری می شود.

- فشار در بالای سطح ایستابی

- نیروهای موجود : جذب سطحی و موئینه ای

- اندازه گیری توسط تانسیومتر

- 

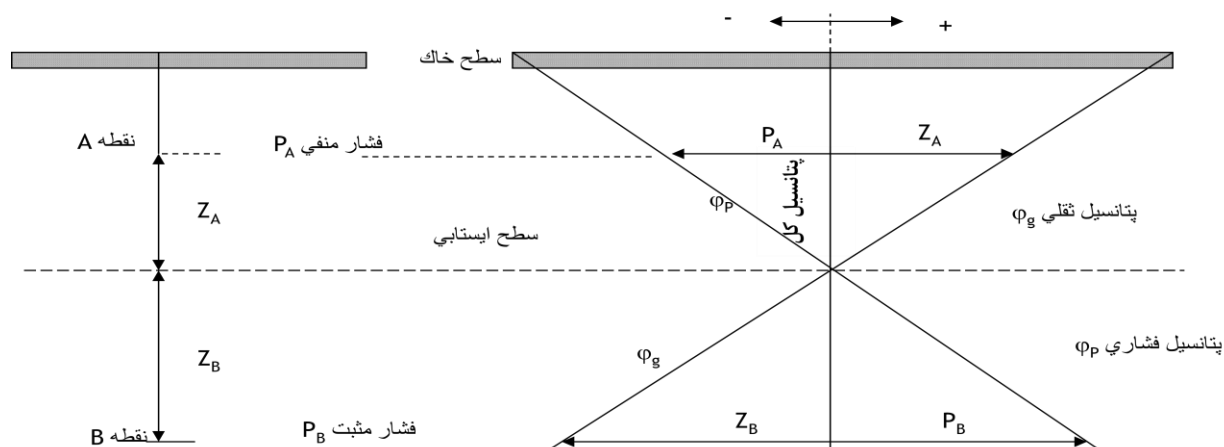
- پتانسیل آب در خاک

- پتانسیل ثقلی

- پتانسیل فشاری یا ماتریک

- پتانسیل اسمزی

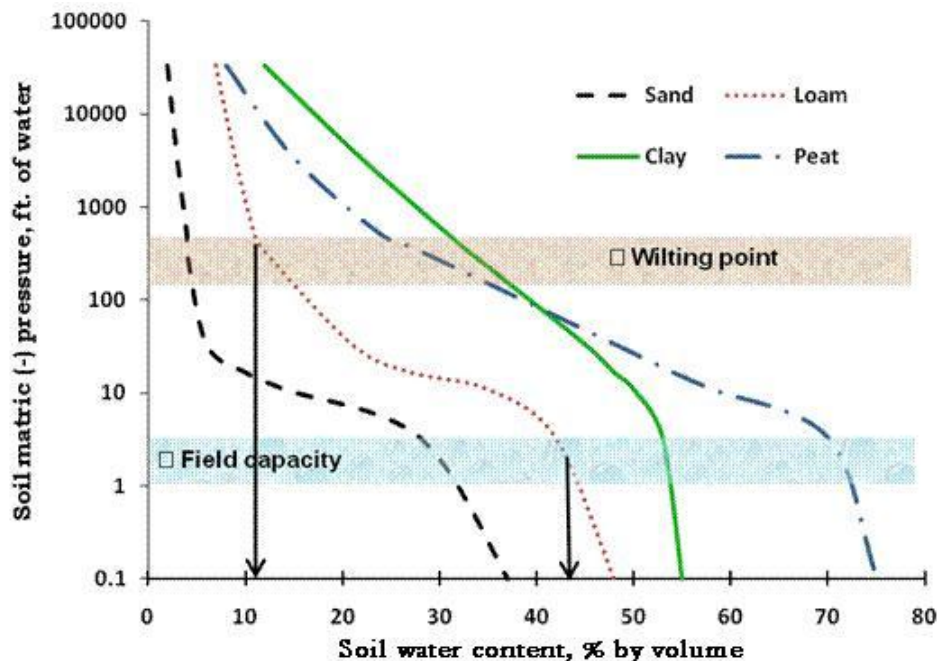
- در مطالعات آب و خاک تنها مجموع دو مورد اول در نظر گرفته می شود به عبارتی پتانسیل آب در این شرایط شامل دو جز فشاری و ثقلی است.
- به مجموع پتانسیل فشاری (ماتریک) و ثقلی پتانسیل هیدرولیکی گویند.



شکل ۲-۳- پتانسیل کل آب و اجزای مختلف آن در شرایط تعادل استاتیکی

- منحنی مشخصه رطوبتی خاک

- رابطه بین درصد رطوبت خاک ( $\theta$ ) و مکش ماتریک ( $P$ ) را مشخصه رطوبتی خاک گویند که اگر به صورت منحنی ترسیم شود منحنی مشخصه رطوبتی خاک نامیده می شود (بسته به بافت و ساختمان).
- می توان با یک خاک خشک و یا یک خاک اشباع در آزمایشگاه این منحنی را بدست آورد. اما بدلیل پدیده ای به نام پسماند (Hysteresis) این دو منحنی منطبق نخواهند بود.



• حرکت آب در خاک

• حرکت آب در خاک همیشه از پتانسیل زیاد به پتانسیل کم می باشد.

• **قانون دارسی:** بنا بر این قانون حرکت آب در خاک متناسب با شیب هیدرولیکی آب خاک است. و

هدایت هیدرولیکی ضریب ثابتی است که برای هر نوع خاک این رابطه را برقرار می سازد.

$$Q = v A = K i A$$

• این قانون هم برای شرایط اشباع و هم غیراشباع صادق است.

• سرعت بدست آمده از رابطه دارسی را سرعت ظاهری گویند.

• چون آب فقط از داخل منافذ می گذرد لذا سرعت حقیقی از داخل منافذ بیشتر از سرعت ظاهری است

$$v_s = v/n$$

و با تقسیم سرعت ظاهری بر درصد تخلخل خاک بدست می آید.

• هدایت هیدرولیکی

• **تعریف:** مقدار جریانی که تحت شیب هیدرولیکی یک، از واحد سطح عبور می کند.

• هدایت هیدرولیکی به بافت و ساختمان خاک، درجه حرارت و رطوبت خاک بستگی دارد.

- با کاهش رطوبت خاک، منافذی که آب در داخل آنها جریان پیدا می کند ریزتر شده و لذا کاهش ضریب هدایت هیدرولیکی می گردد. ضریب هدایت در حالت غیر اشباع را هدایت موئینه ای نیز می نامند.

- هدایت هیدرولیکی اشباع ثابت اما هدایت موئینه ای با کاهش رطوبت کاهش می یابد.
- در خاکهای سبک شنی نسبت منافذ درشت به ریز زیادتر است. به همین دلیل هدایت هیدرولیکی در حالت اشباع در این خاکها زیادتر از خاکهای رسی است. در رطوبتهای پایین، ضریب هدایت هیدرولیکی خاکهای رسی زیادتر از خاکهای شنی است زیرا منافذ ریز در این خاکها زیادتر است و آب می تواند از این منافذ (ولو به سختی) عبور کند.

- چرا دیم کاری در خاک های شنی ارجح است؟

#### • نقاط مهم رطوبتی خاک

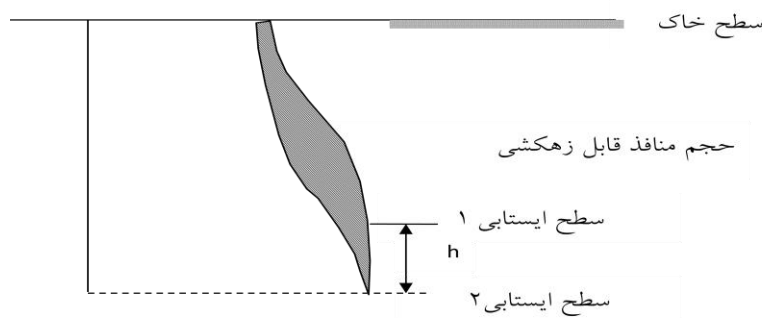
- ۱- نقطه اشباع
- ۲- ظرفیت نگهداری (FC): بطور متوسط مقدار پتانسیل ماتریک در این نقطه ۳۰۰- سانتیمتر است.
- ۳- حد پایین پلاستیک (LPL): خاکی در حالت پلاستیک است که بتوان آن را در حالی که پایداری خود را حفظ می کند تغییر شکل داد.
- ۴- نقطه پژمردگی (PWP): بطور متوسط مقدار پتانسیل ماتریک در این نقطه ۱۵۰۰- سانتیمتر است.

- ۵- رطوبت قابل وصول (AW)

- $AW = FC - PWP$  ۶- تخلخل موثر یا حجم منافذ قابل زهکشی ( $\mu$ )

- چنانچه سطح ایستابی، که پروفیل رطوبت خاک با آن در حال تعادل است به نحوی پایین آورده شود، تعادل دیگری در پروفیل رطوبت خاک بوجود می آید.
- مقدار منافذی که در اثر پایین یا بالا رفتن سطح ایستابی از آب تخلیه یا پر می شود منافذ قابل زهکشی ( $\mu$ ) نام دارد.

- حجم منافذ قابل زهکشی همانند هدایت هیدرولیکی بستگی به خصوصیات فیزیکی خاک دارد و این دو با هم مرتبط می باشند. رابطه بین  $\mu$  و  $K$  بطور تقریب به صورت زیر است.  $\mu = \sqrt{K}$  که  $\mu$  بر حسب % و  $K$  بر حسب cm/day می باشد.



- به عبارتی تخلخل قابل زهکشی بصورت درصدی از کل حجم خاک اشباع بیان میشود.
- کل حجم خاک اشباع/حجم آب زهکشی شده = تخلخل قابل زهکشی
- $$\mu = \theta_{SAT} - \theta_{FC}$$
- آبدهی ویژه
- مفهوم اصطلاحات فوق الذکر یکسان می باشد.
- در جریان غیرماندگار استفاده می گردد
- بیانگر حجم آبی است که از واحد حجم خاک خارج می شود، زمانی که فشار آب خاک از یک اتمسفر به یک مقدار فشار منفی کاهش پیدا می کند
- با نماد  $f$  یا  $\mu$  نمایش داده می شود
- مقدار آن به مشخصات خاک ( بافت و ساختمان و ... ) و همچنین عمق خاک بستگی دارد.

Material	Range	Mean
Clay	0-5	2
Silt	3-19	8
Sandy clay	3-12	7
Fine sand	10-32	21
Medium sand	15-32	26
Coarse sand	20-35	27
Gravelly sand	20-35	25
Fine gravel	17-35	25
Medium gravel	13-26	23
Coarse gravel	12-26	22

•  
• تفسیر تخلخل موثر خاک :

• اگر مثلاً مقدار تخلخل خاکی برابر ۴ درصد باشد، در این صورت با بالا یا پایین رفتن سطح ایستابی به

اندازه ۱۰۰ میلی‌متر، ۴ میلی‌متر آب وارد سفره می‌شود و یا از آن خارج می‌گردد.

آبدهی ویژه	ساختمان	بافت
۱-۳٪	ستونی و فشرده ریز و خیلی ریز	رس لوم رسی سنگین
۱-۳٪	منشوری ریز و خیلی ریز مکعبی زاویه دار و بشقابی	رس لوم رسی رس لای دار لوم رسی شن دار
۳-۸٪	منشوری ریز و متوسط، مکعبی زاویه دار و بشقابی	رس رس لای دار رس شن دار لوم رسی لای دار لوم رسی لوم لای دار لای لوم رسی شن دار
۶-۱۲٪	منشوری متوسط، مکعبی بدون زاویه	لوم رسی سبک لای لوم لای دار لوم شنی بسیار ریز لوم
۱۲-۱۸٪	مکعبی درشت بدون زاویه اسفنجی ریز و گرد	لوم شنی ریز لوم شنی
۱۵-۲۲٪	اسفنجی متوسط و تک دانه ای	شن لومی شن ریز
۲۲-۲۶٪	تک دانه ای	شن متوسط
۲۶-۳۵٪	تک دانه ای	شن درشت سنگریزه

- مقدار درصد حجمی رطوبت خاک در یک خاک Sandy Loam برابر ۴۵ درصد و مقدار رطوبت در

حد ظرفیت زراعی برابر ۳۲ درصد حجمی می باشد. مطلوبست تعیین حجم منافذ قابل زهکشی

$$\mu = \theta_s - \theta_{FC} = 45 - 32 = 13 \quad \%$$

- مقدار رطوبت خاک در حالت اشباع برابر ۳۵ درصد وزنی و میزان رطوبت در پتانسیل ماتریک ۱۰۰

سانتی متر برابر ۳۰ درصد می باشد. وزن مخصوص ظاهری خاک برابر ۱.۴ گرم در سانتی متر مکعب

اندازه گیری شده است. مقدار تخلخل موثر خاک را محاسبه نمایید؟ .



$$\mu = \rho_b (w_s - w_{100}) = 1.4 \times (0.35 - 0.3) = 0.07$$

- از یک ستون خاک استوانه‌ای اشباع به شعاع ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر، ۴ لیتر آب بر اثر

زهکشی تخلیه گردیده است. آبدهی ویژه خاک را محاسبه نمائید؟

$$\mu = \frac{V_w}{V_t} = \frac{4 \times 1000}{\pi \times 12^2 \times 120} \times 100 = 7.4 \%$$

- در مزرعه‌ای هدایت آبی خاک ۲۰ میلی‌متر در ساعت تعیین شده است. تخلخل موثر خاک مزرعه را محاسبه نمائید

$$\mu = \sqrt{48} = 7 \% \quad k = 20 \frac{mm}{hr} = 48 \frac{cm}{day} \quad \bullet$$

- ۲۶۰ گرم از خاک خشک با وزن مخصوص ظاهری ۱.۳ و وزن مخصوص حقیقی ۲.۶ گرم بر

سانتی‌مترمکعب را اشباع نموده و در داخل قیف صفحه مکش تحت مکش ۱۰۰ سانتی‌متر ارتفاع ستون

آب قرار می‌دهیم. اگر پس از برقراری تعادل ۲۰ سانتی‌مترمکعب آب از خاک خارج شود، مقدار تخلخل

موثر خاک و درصد حجمی رطوبت خاک در این مکش را محاسبه نمائید؟

$$\rho_s = \frac{m_s}{v_s} \Rightarrow v_s = \frac{m_s}{\rho_s} = \frac{260}{2.6} = 100 \text{ cm}^3$$

$$v_t = \frac{m_s}{\rho_b} = \frac{260}{1.3} = 200 \text{ cm}^3$$

$$v_p = v_t - v_s = 200 - 100 = 100 \text{ cm}^3$$

$$v_{FC} = v_p - v_w = 100 - 20 = 80 \text{ cm}^3$$

$$\theta_s = n = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} = 0.5$$

$$\theta_{FC} = \frac{v_{FC}}{v_t} = \frac{80}{200} = 0.4$$

$$\mu = \theta_s - \theta_{FC} = 0.5 - 0.4 = 0.1$$

- در مزرعه‌ای، آبدهی ویژه خاک برابر ۱۰ درصد، عمق خالص آب آبیاری ۳ سانتی‌متر، راندمان آبیاری ۷۰ درصد و رواناب سطحی ناچیز می‌باشد، میزان خیز سطح ایستابی در هر بار آبیاری را محاسبه نمایید؟

$$dp = \frac{d_n}{E_a} - d_n - runoff = \frac{3}{0.7} - 3 - 0 = 1.29 \text{ cm}$$

$$\Delta h = \frac{dp}{\mu} = \frac{1.29}{0.1} = 12.9 \text{ cm}$$

- در مزرعه‌ای سطح آب زیرزمینی هم سطح با سطح زمین است. در این حالت رطوبت وزنی خاک برابر

۳۵ درصد می‌باشد. اگر سطح آب زیرزمینی ۱۰۰ سانتی‌متر افت نماید. حجم آب قابل زهکشی از واحد

حجم خاک سطحی چقدر می‌باشد؟ رطوبت وزنی خاک سطحی بعد از افت سطح ایستابی ۳۰ درصد و

وزن مخصوص ظاهری آن ۱.۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

$$\theta_s = \rho_b \times w_s = 1.4 \times 35 = 49\%$$

$$\theta_{100} = \rho_b \times w_{100} = 1.4 \times 30 = 42\%$$

$$\mu = \theta_s - \theta_{100} = 49 - 42 = 7\%$$

$$\mu = \frac{7}{100} = 0.07 \frac{cm^3}{cm^3}$$

•  
•  
رطوبت خاک در حال تعادل برابر ۲۰ درصد وزنی می باشد. تخلخل کل و وزن مخصوص حقیقی آن به ترتیب ۴۰ درصد و ۲.۶۵ گرم بر سانتی مترمکعب می باشد. خاک را اشباع نموده و زهکشی می نمایم. پس از قطع جریان ثقلی، مقدار آبدهی ویژه خاک چقدار خواهد بود؟

$$\theta_{fc} = \rho_b \times w_{fc} = \rho_b \times 20$$

$$\rho_b = \rho_s \times (1 - n) = 2.65 \times (1 - 0.4) = 1.59 \frac{gr}{cm^3}$$

$$\theta_{fc} = 1.59 \times 20 = 31.8$$

$$\mu = \theta_s - \theta_{FC} = 40 - 31.8 = 8.2\% = 0.082 \frac{cm^3}{cm^3}$$

•

## مغال ۹:

خاك مزرعه اي به كشت چغندر قند اختصاص يافته است. بافت خاك لومي بوده و مشخصات آن در جدول زیر ارائه شده است. سیستم آبیاری از نوع ثقلي و راندمان آبیاری ۶۰ درصد می باشد. با فرض ناچیز بودن رواناب، حداکثر خیز سطح ایستایی را محاسبه نهائید؟

$w_{FC} (\%)$	$w_{P.W.P} (\%)$	$D (cm)$	$\rho_b \left( \frac{gr}{cm^3} \right)$	$MAD (\%)$	$\mu$	$ET \left( \frac{mm}{d} \right)$
22	12	100	1.4	50	0.05	5

$$RAW = \frac{MAD}{100} \times \left( \frac{w_{F.C} - w_{P.W.P}}{100} \right) \times \rho_b \times D$$

$$RAW = 0.5 \times \left( \frac{22 - 12}{100} \right) \times 1.4 \times 100 = 7 \text{ cm}$$

$$I_n = RAW = 7 \text{ cm} = 70 \text{ mm}$$

$$I_g = \frac{I_n}{E_a} = \frac{70}{0.6} = 116.7 \text{ mm}$$

$$dp = I_g - I_n - \text{Runoff} = 116.7 - 70 - 0 = 46.7 \text{ mm}$$

$$\Delta h = \frac{dp}{\mu} = \frac{46.7}{0.05} = 933.3 \text{ mm} = 93.3 \text{ cm}$$

- انواع سیستم های زهکشی
- اجزای سیستم زهکشی
- زهکشهای فرعی یا لترالها

- زهکشهای جمع کننده

- زهکشهای اصلی

- خروجی

- انواع سیستم زهکشی

- زهکش های روباز مزرعه: ترانشه یا نهر زهکشی

- زهکش های لوله ای: لوله پلاستیکی، سفالی، بتونی که در زیر زمین نصب می شوند.

- زهکش های لانه موشی: مجاری پوشش نشده زیرزمینی

- زهکش های قائم: از طریق حفر چاه و پمپاژ

- ترانشه ها

- ترانشه ها معمولاً انهار کم عمقی هستند که برای تخلیه زه آبها و آماده شدن زمین استفاده می شوند.

- عمق آنها تا ۶/۰ متر زیر سطح زمین می رسد.

- برای زهکشی در خاک های پیت (آلی) یا خاک های رسی متورم شونده استفاده می شوند.

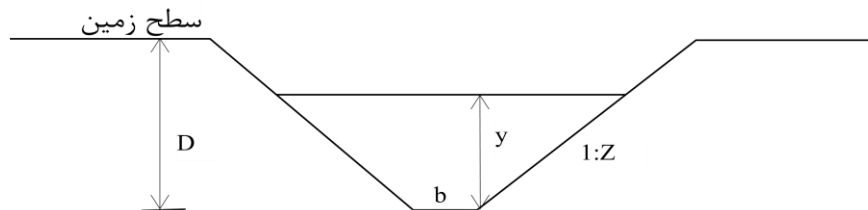
- برای احیاء اراضی در هلند (آماده سازی زمین برای اجرای زهکشی زیرزمینی)



- انهار زهکشی

- برای منظورهایی گوناگون در طرح های مختلف احداث می شوند:

- اگر عمق آنها ۱/۵-۱ متر باشد، مانند زهکش زیرزمینی عمل می کنند.
- اگر نه‌های زهکشی جمع کننده باشند، فواصل آنها بوسیله پارامترهایی از قبیل اندازه مزارع یا طول زهکشهای مزرعه تعیین می شود.
- در اراضی مسطح با شبکه زهکش های منفرد، فواصل انهار غالباً در حدود ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر است.
- این انهار باید در پست ترین قسمت اراضی احداث شوند تا حداقل خاکبرداری صورت گیرد.



مقطع عرضی تیپ نه‌ر زهکشی

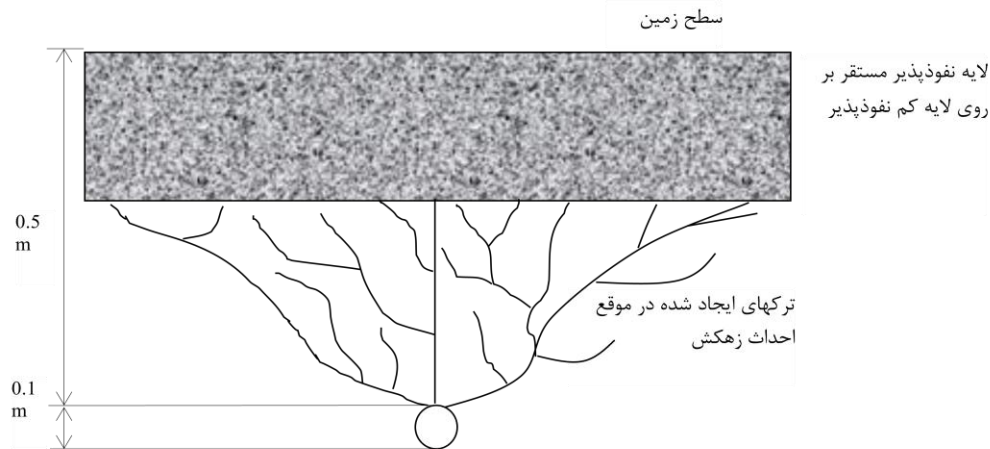
#### • ابعاد انهار زهکشی

- معمولاً ابعاد محاسباتی کوچک است و از نظر اجرا و نگهداری نامتعارف و غیر عملی می باشد. لذا در عمل ابعاد آن ها از حد معینی کمتر گرفته نمی شود.
- عرض کف = ۵/۰ متر
- عمق = به گونه ای که عمق آب در زهکش ۵۰-۴۰ سانتیمتر پایین تر از تخلیه زهکش های لوله ای باشد.
- شیب جانبی: خاکهای رسی: ۵/۰ : ۱ و ۷۵/۰ : ۱
- خاکهای ماسه ای: ۵/۱ : ۱ و ۲ : ۱

#### • زهکش های لانه موشی (mole drains)

- مجاری پوشش نشده زیرزمینی
- بوسیله خیش های مخصوص احداث می شوند.
- مناسب برای خاک های رسی و متراکم با نفوذپذیری کم
- هدف اصلی: تخلیه آب اضافی از قشر سطحی خاک
- عبور آب عمدتاً از میان درز و شکافهای هنگام احداث زهکشها صورت میگیرد.

- طول: بسته به نوع خاک و شکل زمین بین ۲۰ تا ۸۰ متر است.



شکل ۳-۴- جریان آب به داخل زهکشهای لانه موشی

- به طور کلی هر ۳ تا ۷ سال نیاز به بازسازی دارند.
- در خاک های پایدار رسی آهکی بیشتر از ۲۰ سال کار می کنند.
- در بعضی خاک های رسی (روان) بیشتر از یک سال کار نمی کنند.
- توقف جریان آب در داخل مجاری باعث ریزش دیواره ها و تخریب نابهنگام زهکش می گردد.
- برای پیشگیری از این عوارض: شیب کافی و تخلیه خوب اهمیت دارد.
- شیب زیاد ممکن است سبب فرسایش مجرا یا در صورت طویل بودن زهکش سبب تخریب آن شود.
- شیب مطمئن در محدوده ۲/۰-۳/۰ درصد می باشد.
- زهکش های لانه موشی معمولاً در جهت شیب زمین احداث می شوند.

### • تخلیه زهکش های لانه موشی به زهکش جمع کننده

- برای حفاظت محل تخلیه می توان از یک لوله به طول ۱ تا ۲ متر که داخل مجرا فرو برده می شود استفاده کرد.
- احداث ترانشه های قابل نفوذ در جهت عمود بر مجاری لانه موشی
- ترانشه ها به لوله زه کشی تجهیز شده و روی لوله تا بالای مجرای لانه موشی با شن و ماسه پر می شود تا تخلیه آب از زه کش لانه موشی به داخل لوله زه کش بسهولت انجام گیرد.
- شن و ماسه بایستی تمیز بوده و قطر آنها از حدود ۳ تا ۵ میلیمتر کمتر نباشد.

- عوامل موثر در انتخاب زهکش ها (روباز و زیرزمینی)

- آب سطحی: انهار و ترانشه ها قادر به جمع آوری آبهای سطحی و ذخیره موقت آب در کانال ها جهت

پمپاژ

- اشغال اراضی: انهار و ترانشه ها حدود ۱۵ درصد از زمین را اشغال می کنند

- مزاحمت برای عملیات زراعی

- نگهداری: ترانشه ها یا انهار روباز بطور مکرر (۱ تا ۲ بار در سال) نیاز به سرویس دارند. در حالیکه

زهکشهای لوله ای زیرزمینی هر ۳ تا ۶ سال یکبار به عملیات نگهداری نیاز پیدا می کنند.

- نصب: زهکشهای لوله ای بسادگی بوسیله ماشین آلات در عمق و با شیب معین نصب می شوند در

حالی که احداث ترانشه ها یا انهار روباز نسبتاً مشکل تر است.

- شرایط خاک: مثلاً خطر فرسایش خاک در انهار روباز و یا خطر مسدود شدن لوله ها با رسوبات زنگ

آهن

- هزینه ها

- شرایط ترجیح زهکش های روباز به زیرزمینی

- ذخیره موقت هرزآبها به منظور کاهش ظرفیت پمپاژ زهکشی

- تخلیه آبهای سطحی (سیلاب و باران های شدید) در مدت کم



- در مواردی که وسعت زمینهایی که باید زهکشی شوند کم است و در محل، لوله های زهکشی وجود نداشته و آوردن آنها نیز هزینه گزافی را در بر دارد.
- آبیاری اراضی با استفاده از انهار زهکشی (آبادان)
- در مناطق کم شیب که نمی توان از زهکش های لوله ای استفاده کرد.
- در مناطقی که عمق زهکشهای زیرزمینی کم بوده و یخبندان ممکن است به لوله ها صدماتی وارد سازد.
- در مناطقی که خاک نرم بوده و امکان قرار دادن لوله ها در عمق دلخواه وجود ندارد.
- در مناطقی که جنگلی بوده و ریشه درختان به لوله ها صدماتی وارد می سازد.
- در مناطقی که ارزش زمین کم است.
- شرایط ترجیح زهکش های قائم به زیرزمینی
- لایه سطحی خاک نفوذ پذیری کمی داشته باشد و این لایه روی طبقه ای از خاک با نفوذ پذیری زیاد قرار گرفته باشد.
- چرا که در این شرایط فواصل خطوط زهکش بایستی کم باشد و مقرون به صرفه نیست.
- آرایش شبکه زهکشی
- آرایش شبکه زهکشی بر اساس توپوگرافی اراضی تعیین می شود.
- الف - شبکه نامنظم طبیعی:
- مناطقی که در نقاط پست و گود آن حالت ماندابی بوجود می آید، زهکش ها در مسیر خط القعرها عبور کرده و نقاط گود را بهم متصل می کند.

- **ب- شبکه موازی:**

- استفاده از آن در اراضی مسطح یا نسبتاً مسطح معمول است.
- در مناطقی که شیب کافی باشد، زهکش های مزرعه تقریباً در امتداد خطوط تراز زمین آرایش می شود.
- در اراضی کم شیب، زهکش های مزرعه از طریق افزایش عمق نصب به سمت جمع کننده ها شیب داده می شود.

- شیب متداول معادل ۱/۱۰۰۰ بوده و حداکثر طول زهکش بندرت از ۲۵۰ متر تجاوز می نماید.

- **ج- شبکه شانه ای (استخوان ماهی)**

- در این نوع آرایش، جمع کننده ها در جهت شیب اصلی و زهکش های مزرعه با زاویه کمی نسبت به خطوط تراز طوری قرار می گیرند که لوله ها با حفظ عمق ثابتی از سطح زمین به سمت زهکش های جمع کننده شیب پیدا نمایند.

- **د- زهکش های حائل:**

- این زهکش ها جریان های نشت زیرزمینی را در اراضی شیب دار جمع آوری می نمایند. این زهکش ها معمولاً در محل تلاقی اراضی شیبدار با زمین های مرطوب و زهدار تعبیه می گردند.

- **سیستم زهکشی منفرد و مرکب**

- **سیستم زهکشی منفرد:** زهکش های مزرعه مستقیماً به درون زهکش های جمع کننده

رو باز تخلیه می شوند.

○ یک طرفه

○ دو طرفه

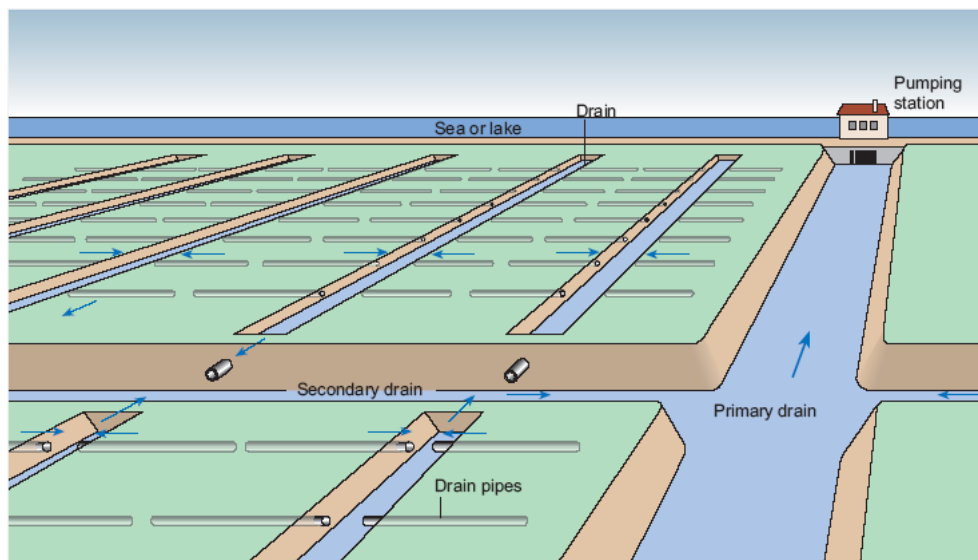
● سیستم زهکشی مرکب: زهکش های مزرعه از طریق زهکش های لوله ای جمع کننده به زهکش

های روباز تخلیه می شوند.

دو طرفه

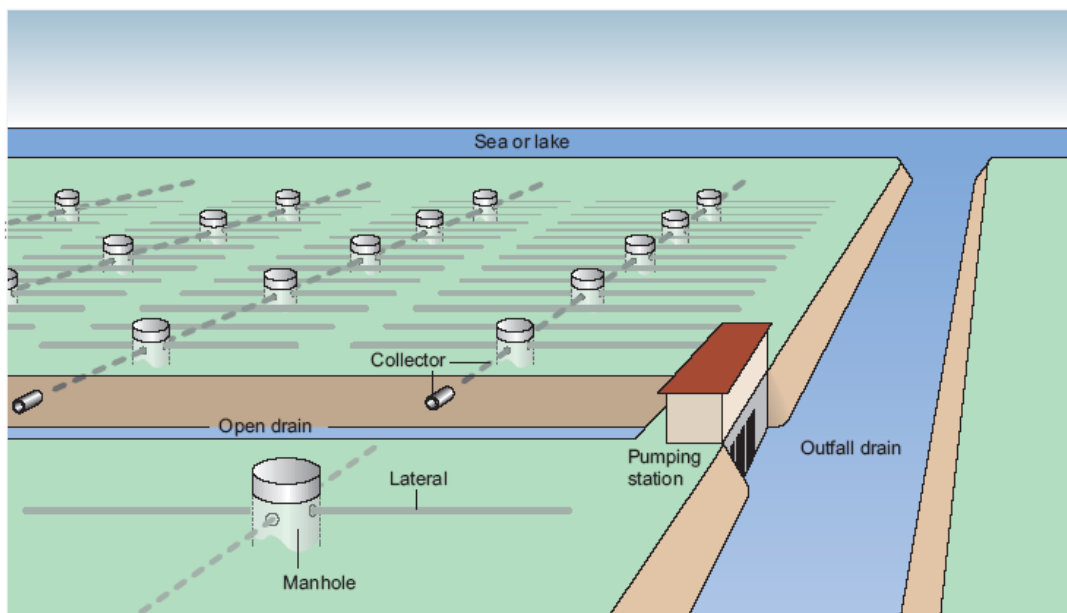
○ یک طرفه

○ سیستم زهکشی ساده

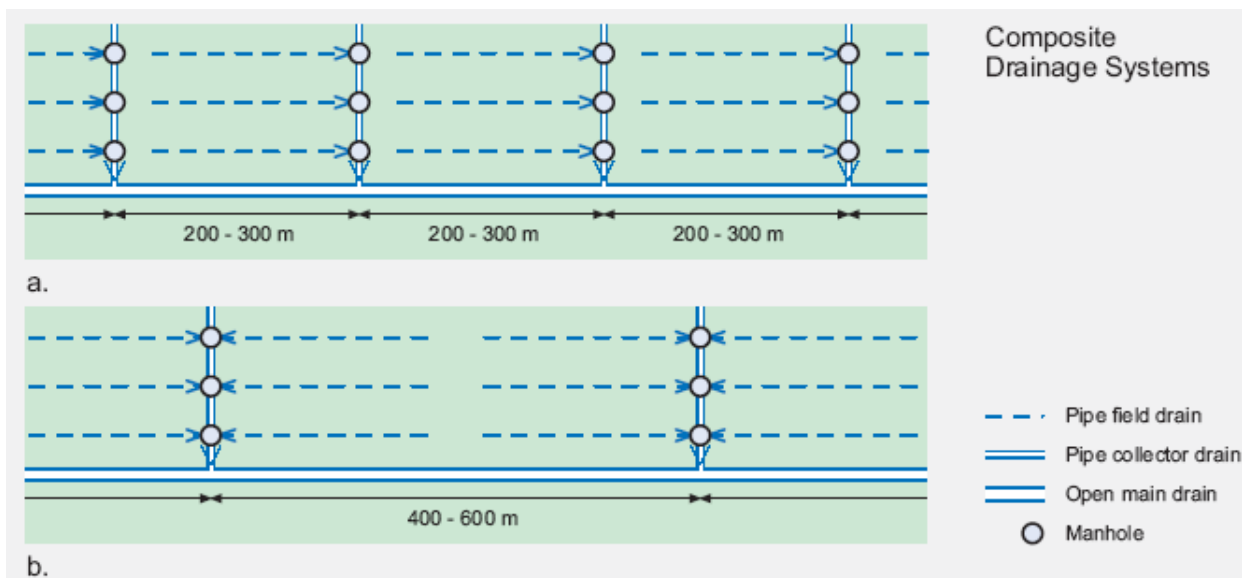


a.

○ سیستم زهکشی مرکب

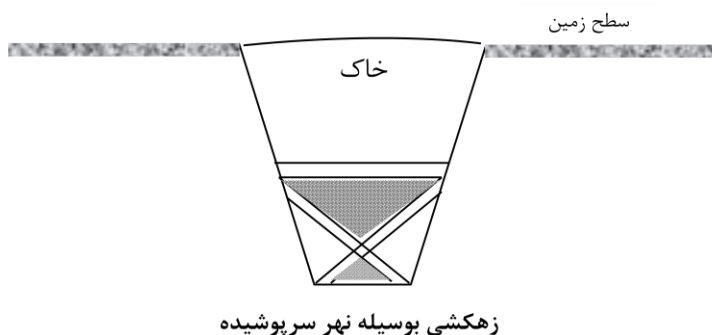


b.



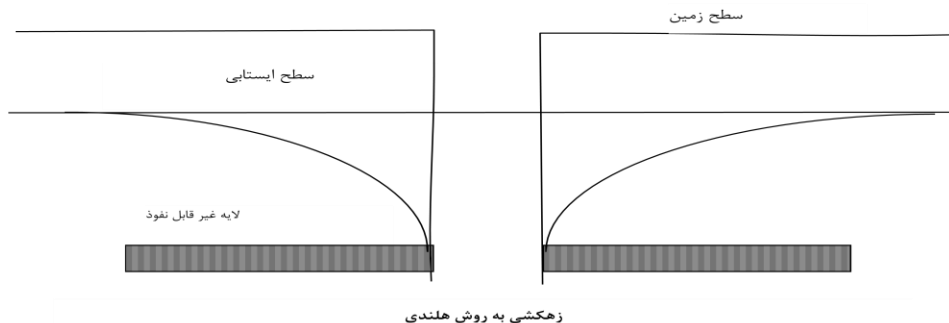
- ضوابط انتخاب شبکه های منفرد و مرکب
- آب های سطحی: زهکش جمع کننده روباز در شبکه زهکش منفرد می تواند آبهای سطحی را خارج نماید.
- اندازه مزارع و تلفات زمین: طول لترال های لوله ای نباید علی القاعده از ۳۰۰ متر تجاوز نماید که این امر عرض زمین را محدود میکند. در شبکه های منفرد تلفات به ۲ تا ۳٪ می رسد.
- گرفتگی: در سیستمهای منفرد گرفتگی لوله ها به سادگی قابل مشاهده است ولی در سیستمهای مرکب مشاهده طرز کار لوله ها امکان پذیر نمی باشد.
- نگهداری: جمع کننده های روباز در مقایسه با نوع لوله ای بیشتر نیاز به مراقبت و تعمیر دارند.
- گرادیان هیدرولیکی: در مورد جمع کننده های لوله ای گرادیان هیدرولیکی باید حدوداً ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر از جمع کننده های روباز باشد.
- هزینه: شبکه های مرکب هزینه اولیه زیادی در بر دارند بخصوص اگر مجهز به سیستم منهول باشند، ولی با توجه باینکه هزینه نگهداری آنها کمتر است اختلاف هزینه کلی در دو نوع سیستم زیاد نخواهد بود.
- خروجی ها: محل اتصال زهکش های لوله ای به جمع کننده های روباز به عنوان نقاط ضعف سیستم محسوب می شود زیرا این نقاط در زمان لایروبی زهکش جمع کننده، آسیب پذیر می باشند.
- توپوگرافی و اقلیم: سیستمهای منفرد برای اراضی مسطح و اقلیم مرطوب ارجحیت دارد و سیستم مرکب مناسب اراضی شیب دار و اقلیم خشک است.

- در مناطق خشک که زهکشی برای کنترل شوری می باشد، سیستم مرکب بکار می رود تا تداخلی با سیستم کانال های آبیاری نداشته باشد.
- **زهکشهای مخصوص**
- **زهکشی بوسیله انهار سرپوشیده**
- پس از حفر انهار زهکشی، با استفاده از شاخه درختان، آجر، سنگ و مواد دیگر ابتدا راه آبی در ته انهار مذکور ایجاد نموده و سپس بقیه نهر با خاک پوشیده می گردد.
- دوام و کار این نوع زهکش ها خوب نبوده و گاهی اوقات نیز گرانتر از لوله های زیرزمینی تمام می شود.
- از این نوع زهکشی فقط در مواردی که مواد لازم در منطقه زیاد بوده و در عوض لوله های زهکشی وجود ندارند و حمل آنها مستلزم هزینه زیادی است استفاده می شود.
- در انهار سرپوشیده شیب نهرها باید از شیب انهار زهکشی روباز زیادتر باشد.



- **زهکشی با استفاده از مواد منفجره**
- در زمینهایی به کار می رود که قشر غیرقابل نفوذ مابین دو قشر قابل نفوذ قرار گرفته باشد.
- با به کار بردن مواد منفجره، شکافهایی در طبقه غیر قابل نفوذ ایجاد نموده و امکان نفوذ آب به طبقات زیرین را فراهم نمود.
- این روش خیلی گران تمام می شود و ممکن است شکافهایی که در طبقه سطحی زمین ایجاد می شود آن را غیر قابل استفاده نماید.

- **زهکشی به روش هلندی**
- این روش در نقاطی اجرا می گردد که بین لایه نفوذ پذیر زیرین و لایه سطحی، یک لایه غیر قابل نفوذ وجود داشته باشد.
- آب از طریق چاهک هایی به لایه زیرین نفوذپذیر وارد می گردد.
- تعداد چاهکها بسته به شرایط مختلف از ۱۰۰۰ تا ۶۰۰۰ در هکتار متغیر می باشد.
- برای اینکه این چاهکها مانع عملیات کشاورزی نشود داخل آنها را تا نزدیکی زمین از ماسه و ریگ پر کرده و سپس با ریختن خاک با سطح زمین یکسان می نمایند.



- 
- 
- مطالعات فنی لازم برای احداث سیستم های زهکشی عبارتند از:
- تعیین موقعیت، وسعت زمین و بررسی توپوگرافی منطقه
- توپوگرافی عامل موثری در تعیین شیب و در نتیجه مسیر ترانشه ها، نوع سیستم زهکشی و محل خروج زهکشها خواهد بود.
- به کمک آن می توان وضع زهکش سطحی، فرسایش، حمل مواد و عوامل شوری را مورد مطالعه قرار داد.
- مقیاس نقشه از ۱/۱۰۰۰ تا ۱/۵۰۰۰ بسته به مساحت زمین و اهمیت طرح تغییر می نماید.
- در نقشه های توپوگرافی علاوه بر ترسیم حدود قطعات، ساختمان، جاده، رودخانه، چاه، چشمه و هر گونه عوارض دیگر نیز باید دقیقاً آورده شود.
- **اطلاعات مورد نیاز**
- بررسی شرایط زهکشی موجود در محل
- الف- زهکشی سطحی (برای تخلیه جریانات سطحی)
- کیفیت این نوع زهکشی به شیب، نفوذپذیری، رژیم بارندگی، پوشش گیاهی، تراکم و سایر مشخصات سطحی خاک، بستگی دارد.
- ب- نفوذپذیری (hydraulic Conductivity, infiltration): برای بررسی وضعیت حرکت آب های زیرزمینی و آبشویی اراضی
- ج- زهکشی داخلی خاک
- هر چه نفوذپذیری اعماق بیشتر و سطح آب زیرزمینی پایین تر باشد زهکشی داخل خاک بهتر است.

- اگر وضع زهکشی بد باشد لکه های خاکستری به علت احیا شدگی و رنگ تیره به علت عدم پوسیدگی مواد آلی به چشم می خورند.

### • (۳) مطالعات خاکشناسی

- با حفر پروفیل و نمونه برداری از خاک بوسیله مت (Auger) انجام می شود.
- پروفیل ها ۱×۵/۱ متر و تا عمق لایه محدود کننده حفر می گردند.
- اگر عمق محدود کننده زیاد باشد عمق پروفیل تا ۲ متر خواهد رسید.

### • (الف) بافت خاک

- در زهکشی اهمیت بسزایی دارد. مشخص کننده بسیاری از خصوصیات خاک است.
- برای تعیین بافت خاک در مطالعات صحرایی از روش لمسی و تجربی و در آزمایشگاه پس از تجزیه مکانیکی از مثلث بافت خاک استفاده می شود.
- نیاز به زهکشی در خاک های رسی به مراتب بیشتر از خاک های سبک و شنی است.

### • (ب) ساختمان خاک

- از لحاظ تهویه، حرکت آب، نفوذپذیری و در نتیجه زهکشی نقش موثری دارد.
- خاک هایی که دارای ساختمان ورقه ای، تک دانه ای و توده ای هستند نفوذپذیری نامناسب و وضع تهویه و زهکشی بدی دارند.
- عواملی مهمی که در تشکیل ساختمان خاک موثر بوده و باید بررسی شوند عبارتند از: فعالیت ریشه ها، فعالیت میکرو ارگانیسم ها، سرد و گرم شدن خاک، انقباض و انبساط خاک، مرطوب شدن و خشک شدن خاک و وجود الکترولیتها.
- خاک هایی که دارای ساختمان خاکدانه ای گرد به ابعاد ۲ الی ۳ میلیمتر هستند دارای نفوذپذیری مناسب، وضع تهویه و زهکشی خوبی هستند.

### • (ج) عمق خاک

- از لحاظ توسعه ریشه ها، نگهداری رطوبت و زهکشی داخلی اهمیت بسزایی دارد.
- عمق لایه غیر قابل نفوذ، تعیین کننده عمق مفید خاک می باشد. عمق مفید خاک تا طبقه محدود کننده ادامه دارد.
- منظور از طبقه محدود کننده در اینجا لایه هایی هستند که از گچ، رس و یا سنگ سخت و غیر قابل نفوذ تشکیل شده اند.

### • (د) علائم اکسید و احیاء

- این علائم حد نوسانات سطح آب زیرزمینی را مشخص می کند، زیرا در خاک های مرطوب در اعماق مختلف، معمولاً لکه های زرد نارنجی رنگ و قهوه ای سوخته (Mottling) که معرف نوسان سطح آب زیرزمینی است و در اثر اکسیداسیون و احیاء ترکیبات آهن بوجود می آیند، دیده می شوند.

#### • (ه) شوری و قلیائیت خاک

- در طراحی یک سیستم زهکشی موثر می باشد، زیرا ضریب زهکشی و مقدار آبی که برای آبشویی اراضی لازم است با توجه به میزان شوری و قلیائیت زمین تعیین می گردد.
- برای تعیین شوری و قلیائیت، تعیین عوامل زیر ضروری است:

#### ○ ۱- مقدار اسیدیته (PH) نمونه های خاک

- PH خاک بسته به نوع آب و هوا، میزان بارندگی منطقه، زمان نمونه برداری، تحت کشت بودن اراضی و نوع گیاهان تغییر می نماید. در مناطق مرطوب خاک ها معمولاً اسیدی و در مناطق خشک قلیایی می باشند.

#### ○ ۲- قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک در $25^{\circ}\text{C}$ (ECe)

#### ○ ۳- درصد سدیم قابل تبادل (ESP).

- (و) فرسایش
- فرسایش عبارت است از جابجا شدن ذرات ریز یا درشت مواد متشکله سطح زمین در اثر انرژی جنبشی آب یا باد.
- چنانچه رنگ زمینی در یک قسمت سفیدتر از سایر نقاط باشد ممکن است علت آن، فرسایش یا شسته شدن قسمتی از مواد تیره رنگ آلی در آن قسمت از زمین باشد.
- به طور کلی اگر پوشش گیاهی زمین زیاد باشد اثر فرسایش، کمتر ظاهر می گردد. در خاکهایی که نفوذ پذیری آنها کم است اثر آن بیشتر است.

#### • (و) رنگ خاک

- نشان دهنده درجه زهکشی منطقه می باشد.
- در اراضی باتلاقی به علت اشباع بودن و احیا شدگی، رنگ خاک خاکستری می گردد.
- برای تعیین رنگ خاک از کتابچه رنگ ها (Munsell – notation) استفاده می گردد.

#### • (ز) مشخصات دیگر خاک

- نوع، وسعت و وضعیت طبقات مختلف، شکاف ها و ترک ها، افق های مختلف، میزان مواد آلی، درجه رطوبت و بالاخره ترکیبات مختلف خاک، مخصوصاً از لحاظ دارا بودن آهک، آهن و نمک.
- (آهک، خاک های متراکم را پوک کرده و جریان هوا را در آن ها آسان می گرداند).



- اطلاعات مورد نیاز
  - برای طراحی سیستم های زهکشی
  - تعیین موقعیت، وسعت زمین و بررسی توپوگرافی منطقه
  - بررسی شرایط زهکشی موجود در محل
  - مطالعات خاکشناسی
- تعیین کیفیت آب آبیاری و زیرزمینی منطقه
- قابلیت آب را برای آبیاری در کشاورزی نشان می دهد.
- میزان آبشویی و ضریب زه کشی منطقه نیز به آن ها وابسته است.
- برای تعیین شوری و قلیائیت آب آبیاری و زیرزمینی منطقه باید نمونه هایی از این آبها را جمع آوری و در آزمایشگاه مورد آزمایش قرار داد.
- ارتفاع کاپیلاریته در داخل خاک
- در مناطقی که آب های زیرزمینی در داخل خاک جمع می گردند، آب تا ارتفاع مشخصی (مطابق فرمول زیر) در بالای سطح ایستابی صعود می نماید.
- $hc = 0.3/d$
- $hc$  و  $d$  بر حسب سانتیمتر می باشند. این ارتفاع در خاک های بسیار سنگین تا حدود ۱۰ متر نیز مشاهده شده است.
- بررسی منشاء و علل زه آب (خیلی مهم)
- نوع سیستم زهکشی و ضرورت ایجاد آن را تعیین می نماید.
- مطالعه منشاء زه آب با بررسی وضع آبیاری منطقه، منابع آب سطحی، نوع سفره آب زیرزمینی (آزاد و یا تحت فشار) و تعیین نقشه هم ارتفاع آب زیرزمینی صورت می گیرد.

- به عنوان مثال چنانچه منشاء زه دار شدن یک منطقه، کانال های آبرسانی باشد، ممکن است با پوشش این کانال ها، سطح آب زیرزمینی تا جایی پایین برود که دیگر احتیاج به زهکشی نباشد.

- اگر منشاء زه آب، رودخانه هایی باشند که در بالادست اراضی قرار گرفته اند با احداث یک یا دو رشته زهکش حائل می توان از جریان آب بداخل اراضی جلوگیری و در نتیجه مشکلات زهکشی را مرتفع نمود.

- ضریب زهکشی

#### ○ تعیین ضریب زهکشی

- این ضریب یکی از عوامل اصلی تعیین فاصله زهکش ها بوده و فقط در شرایطی که سیستم زهکشی از نوع زیرزمینی باشد کاربرد دارد. با استفاده از بیلان آبی تعیین می شود.

- **ضریب زهکشی** شدت تغذیه یا تخلیه آب را نشان می دهد و برابر میانگین عمق آب یا بده خروجی زهکش ها است. به عبارت دیگر ضریب زهکشی، عبارت است از شدت آب باران یا آبیاری که باید توسط زهکشها از زمین خارج شود.

- **در جریان ماندگار**، فرض بر این است که مقدار تغذیه دقیقاً برابر مقدار تخلیه است و سطح آب زیرزمینی با گذشت زمان به هیچ وجه تغییر نمی کند.

- **Drainage Coefficient** : ضریب زهکشی

- از نماد **q** برای نمایش آن استفاده می شود.

- تعریف: عمق آبی ( برحسب سانتی متر یا اینچ) که بایستی در مدت بیست و چهار ساعت از کل ناحیه پروژه خارج شود.

- این ضریب برحسب دبی بر واحد سطح ( مثلاً مترمکعب بر ثانیه بر کیلومترمربع) نیز بیان می شود

- ضریب زهکشی بایستی به نحوی تعیین گردد که خسارتی به محصول وارد نشود

- شدت و مدت بارندگی ارتباط معکوسی با مدت زمان مجاز برای خروج آب ( وابسته به نوع محصول کشت ) دارد.

- **Drainage Coefficient** : ضریب زهکشی

- در تعیین مقدار ضریب زهکشی، تجربیات قبلی از نواحی با خاکها، شرایط آب و هوایی و گیاهی مشابه، مفید می‌باشد.
- در نواحی خشک و نیمه خشک ضریب زهکشی به مقدار آب آبیاری، روش آبیاری، نیاز آبشویی و خصوصیات خاک بستگی دارد.
- مقدار ضریب زهکشی در نواحی مرطوب به خصوصیات اقلیمی و نفوذپذیری خاک بستگی دارد.
- **ضریب زه کشی به چه عواملی بستگی دارد؟**
- به بافت خاک، نوع کشت، عمق ریشه، میزان آب آبیاری، شیب اراضی، روش آبیاری، عمق زهکش، عمق لایه محدودکننده، شوری آب و خاک، نشت از اراضی بالادست، نشت از کانال ها و جوی ها و ... بستگی دارد.
- بسیاری از این عوامل به مدیریت آبیاری و برخی از آن ها به موقعیت زهکش وابسته است.
- گرچه روش های مختلفی برای برآورد ضریب زهکشی وجود دارد، اما اندازه گیری تخلیه از مزارع مشابهی که در حال زهکشی هستند بهترین راهنما برای برآورد بشمار می رود.
- روش‌های تعیین مقدار ضریب زهکشی
- **ضریب زهکشی در مناطق مرطوب:**
- از تجزیه و تحلیل بارشها با دوره برگشت معین (معمولاً ۵ سال) بدست می‌آید.
- ضریب زه کشی در اروپا و امریکای شمالی برای غلات، حدود ۱۰ تا ۱۳ میلیمتر در روز است.
- **در مناطق خشک و نیمه خشک:** با استفاده از معادله بیلان آب

$$D_R = \frac{D_P - D_{uf} + D_{CS} - D_{nd} + D_{us}}{IR_{in}}$$

- $D_R$  - ضریب زه کشی (میلیمتر در روز)
- $D_P$  - نفوذ عمقی از ناحیه پایین ریشه (میلیمتر)
- $D_{uf}$  - جریان موئینه ای از سطح سفره به سمت بالا (میلیمتر) که معمولاً به عمده یا غیر عمده صفر در نظر گرفته میشود.
- $D_{CS}$  - نشت از کانالها و جویها (میلیمتر) (Canal Storage)
- $D_{nd}$  - زه کشی طبیعی خاک (میلیمتر) (Natural Drain) که چون معمولاً سخت است آن را اندازه نمیگیرند.
- $D_{us}$  - نشت به سمت بالا یا آرتزین (میلیمتر)

- $IR_{in}$  - فاصله آبیاری (روز)
- منابع خطا
- Duf معمولاً در محاسبات نادیده گرفته می شود.
- Dcs یا نشت از کانال ها و جوی ها نیز حدس زده می شود.
- معمولاً با توجه به بافت خاک، مقدار آن بین ۵ تا ۱۵ درصد متفاوت است.
- برآورد دقیق نشت از کانال ها با توجه به این که بطور معمول جوی ها در فاصله بین دو آبیاری چند روزی خشک باقی می ماند مشکل است.
- Dnd یا زه کشی طبیعی خاک را نمی توان به آسانی برآورد کرد. بهمین دلیل معمولاً در محاسبات مربوط به ضریب زه کشی صرف نظر می شود و این مسئله یکی از اشتباهاتی است که معمولاً "توسط طراحان صورت می گیرد.
- تمامی خاک ها به شرطی که در آن ها شیب هیدرولیکی وجود داشته باشد، زه کشی طبیعی دارند.
- خاک های بسیار سنگین، خاک های با فشردگی زیاد و خاک هایی که در آن ها لایه هایی با آب گذاری کم وجود دارد، ممکن است زه کشی طبیعی ناچیزی داشته باشند.
- در زمین هایی که به سبب تشکیلات زمین شناسی فشار آرتزین دارند، زه کشی طبیعی وجود ندارد.
- اندازه گیری های بعمل آمده در چند نقطه از خاک های دره نیل مصر، مقدار نشت طبیعی را ۶۵/۰ میلیمتر در روز به دست داده است.
- مجموعه عوامل زیر موجب می شود که برآورد ضریب زه کشی عموماً بیش از حد مورد نیاز باشد:
- منابع خطا در برآورد ضریب زه کشی زیاد است، به ویژه این که برآورد هر یک از عوامل نفوذ عمقی، نشت از جوی ها و زه کشی طبیعی دشوار است و به بینش و تجربه کارشناسی نیازمند است.
- زه کش های جمع کننده، رودخانه و مسیل های مجاور و سایر آبراهه های طبیعی و مصنوعی نیز مقداری از آب را جمع آوری و دفع می کنند که در محاسبات منظور نمی شود.
- طراحان بطور معمول پر مصرف ترین گیاه الگوی کشت و کمترین فاصله آبیاری را در محاسبات منظور می کنند که با میانگین زه آب خروجی فاصله دارد.
- (ب) در نواحی خشک و نیمه خشک:
- روش سازمان حفاظت خاک آمریکا ( SCS ) :
- این روش برای اراضی فاریاب پیشنهاد شده است:

$$q = \frac{P + C}{100} \times i \quad \bullet$$

- که در آن C و P به ترتیب درصد نفوذ عمقی و نشت از کانالهای آبیاری است که از زیر منطقه توسعه ریشه خارج شود.

$$i = \frac{I}{F} \quad \bullet$$

- $i$ : متوسط عمق آب آبیاری روزانه
- $I$ : عمق آب آبیاری در هر بار آبیاری،  $F$ : دور آبیاری
- عیب روش: در این روش مقدار زهکشی طبیعی خاک در نظر گرفته نشده است.
- روش سازمان خوار و بار جهانی (FAO):  
این رابطه نیز برای اراضی فاریاب پیشنهاد شده است:

$$q = R + C_r - D_n$$

$$R = d_p + C$$

$$d_p = K(I + P_e)$$

$C$ : نشت از کانال	$C_r$ : خیز سطح ایستابی
$K$ : درصدی از آب بارش یا آبیاری که بصورت نفوذ عمقی از منطقه ریشه خارج می شود.	$D_n$ : مقدار زهکشی طبیعی خاک
	$d_p$ : نفوذ عمقی
	$P_e$ : بارندگی مؤثر

مثال:

در صورتیکه راندمان آبیاری ۷۵ درصد، نیاز آبی گیاه ۹ میلی متر ونشت روزانه آب زیرزمینی به منطقه توسعه ریشه برابر ۰/۵ میلی متر باشد، با روش های SCS و FAO مقدار ضریب زهکشی را محاسبه نمائید؟

:SCS ☀️▶

$$i = \frac{9}{0.75} = 12 \frac{mm}{day} \quad P + C = 0.25$$

$$q = 0.25 \times 12 = 3 \frac{mm}{day}$$

:FAO ☀️▶

$$d_P = .25 \times \frac{9}{0.75} = 3 \frac{mm}{day} \quad R = d_P$$

$$C_r = 0.5 \frac{mm}{day} \quad D_n = 0$$

$$q = R + C_r - D_n = 3 + 0.5 - 0 = 3.5 \frac{mm}{day}$$

•  
• روش سوم برآورد ضریب زهکش در مناطق خشک و نیمه خشک

$$q = ET \frac{1 - SF(1 - LF)}{SF}$$

$q$  : ضریب زهکشی بوده و واحد آن مشابه واحد  $ET$

$LF$  : نسبت آبشویی

$SF$  : نسبتی از آب آبیاری نفوذیافته که در منطقه توسعه ریشه ذخیره می شود و از معادله زیر بدست می آید ( دربردارنده رواناب سطحی نیست):

$$SF = \frac{ET}{IW(1 - RF) - ET(LF)}$$

$IW$  : عمق ناخالص آبیاری  $ET$  : نیاز آبی گیاه بعد از آخرین تغذیه

$RF$  : نسبتی از آب آبیاری که به صورت رواناب از زمین خارج شده است

- 
- $D_p$  را با توجه به اندازه گیری از مناطق مشابه حدس می زنند. جدول های زیر می تواند راهنمایی برای برآورد  $D_p$  باشد

جدول برآورد راندمان کاربرد آب و نفوذ عمقی در روشهای مختلف آبیاری (به نقل از فائو)

نفوذ عمقی (درصد)		راندمان کاربرد (درصد)		طرز کار	روش آبیاری
خاک سبک	خاک سنگین	خاک سبک	خاک سنگین		
۳۰	۳۰	۶۰	۶۰	آبیاری روزانه، باد نسبتاً شدید	بارانی
۲۵	۲۵	۷۰	۷۰	آبیاری شبانه	
۱۵	۱۵	۸۰	۸۰	-	قطره ای
۴۰	۳۰	۴۵	۶۰	با تسطیح و آرایش نامناسب	غرقابی
۳۰	۲۰	۶۰	۷۵	با تسطیح و آرایش مناسب	
۴۰	۳۰	۴۰	۵۵	با تسطیح و اندازه نامناسب	نشتی و نواری
۳۵	۲۵	۵۰	۶۵	با تسطیح و اندازه مناسب	

جدول نفوذ عمقی تقریبی در آبیاری سطحی با توجه به بافت خاک (به نقل از USBR)

بافت	درصد نسبت به خالص آبیاری	بافت	درصد نسبت به خالص آبیاری
LS	۳۰	CL	۱۰
SL	۲۶	SiCL	۶
L	۲۲	SC	۶
SiL	۱۸	C	۶
SCL	۱۴		

جدول نفوذ عمقی تقریبی در آبیاری سطحی با توجه به سرعت نفوذ (به نقل از USBR)



سرعت نفوذ میلیمتر در ساعت	درصد نسبت به خالص آبیاری	سرعت نفوذ میلیمتر در ساعت	درصد نسبت به خالص آبیاری
۱/۳	۳	۲۵/۴	۲۰
۲/۵	۵	۳۱/۷	۲۲
۵/۱	۸	۳۸/۱	۲۴
۷/۶	۱۰	۵۰/۸	۲۸
۱۰/۲	۱۲	۶۳/۵	۳۱
۱۲/۷	۱۴	۷۶/۲	۳۳
۱۵/۲	۱۶	۱۰۱/۶	۳۷
۲۰/۳	۱۸		

مقدار تلفات ناشی از نشت آب از بدنه و پیرامون کانال‌های خاکی

نوع خاک	تلفات آب ( مترمکعب بر مترمربع بر روز )	مقدار تلفات در هر کیلومتر از طول کانال ( درصد جریان )
Clay	۰.۰۹	۰.۰۷
Loamy Clay	۰.۱۸	۰.۱۴
Sandy Clay	۰.۲ – ۰.۴	۰.۱۵ – ۰.۳۱
Sand	۰.۵	۰.۳۸
Sand Gravel	۰.۷۵	۰.۵۸
Gravel	۱ – ۱.۸	۰.۷۷ – ۱.۳۹
❖ با فرض عمق میانگین آب در کانال برابر ۱.۵ متر و سرعت متوسط جریان برابر ۱ متر بر ثانیه		

- ارتباط ضریب زهکشی و حجم آب مازاد
- در یک حوزه آبریز به مساحت هزار و پانصد هکتار، آب زهکشی از طریق یک کانال زهکشی با دبی متوسط دو و نیم مترمکعب بر ثانیه تخلیه می‌شود. ضریب زهکشی را محاسبه نمایید.
- حل:

- حجم روزانه آب خروجی از حوزه برابر خواهد بود با:

$$V = Q \times t = 2.5 \times 24 \times 60 \times 60$$

$$q = \frac{2.5 \times 24 \times 60 \times 60}{1500 \times 10000} = 0.0144 \frac{m}{day} = 1.44 \frac{cm}{day}$$

اگر ضریب زهکشی برابر با سه‌سانتی‌متر در روز باشد، در این صورت دبی جریان در داخل کانال زهکشی برابر خواهد بود با :

$$Q = \frac{3}{100} \times \frac{1500 \times 10000}{24 \times 60 \times 60} = 5.21 \frac{m^3}{s}$$

- نکته :
- مقدار معمول ضریب زهکشی در نواحی خشک و نیمه خشک عددی مابین یک الی سه میلی‌متر در روز می‌باشد.
- اگر با معادله فوق‌الذکر مقدار ضریب زهکشی بزرگتر از سه بدست آید، نشان دهنده آن خواهد بود که راندمان در نظر گرفته شده اشتباه می‌باشد.
- مقدار نسبت آبشویی مورد استفاده در معادله فوق‌الذکر عددی مابین صفر تا دودهم می‌باشد. اما مقدار آن بندرت از پنج صدم تجاوز می‌نماید

### • آبدهی ویژه ( Specific yield )

- آبدهی ویژه یا تخلخل موثر، مقدار آب موجود در خاک است که تحت تاثیر نیروی ثقل و سایر نیروهای داخلی خاک از آن خارج می‌شود. آبدهی ویژه تقریباً برابر مقدار آبی است که بین حد اشباع و ظرفیت مزرعه قرار دارد. بعبارت دیگر:

$$S = \frac{\text{حجم آب قابل زهکشی}}{\text{حجم کل خاک اشباع}}$$

-

- از این پارامتر به منظور برآورد خیز سطح ایستایی در اثر تغذیه و یا افت آن در اثر تخلیه استفاده می شود.

- روش های اندازه گیری:

- برداشت نمونه دست نخورده، اشباع کردن آن و اندازه گیری آب خروجی در اثر نیروی ثقل است.

- این روش به ظاهر ساده است، ولی با توجه به مشکلاتی که در راه برداشت نمونه دست

نخورده وجود دارد، و با در نظر گرفتن کوچکی حجم نمونه ها و نیاز به افزایش تعداد

آزمایشات، معمولاً برای برآورد آبدهی ویژه از روشهای تجربی استفاده می شود:

- روش تقریبی

$$S = \sqrt{K}$$

- $S$  = آبدهی ویژه بر حسب درصد، و

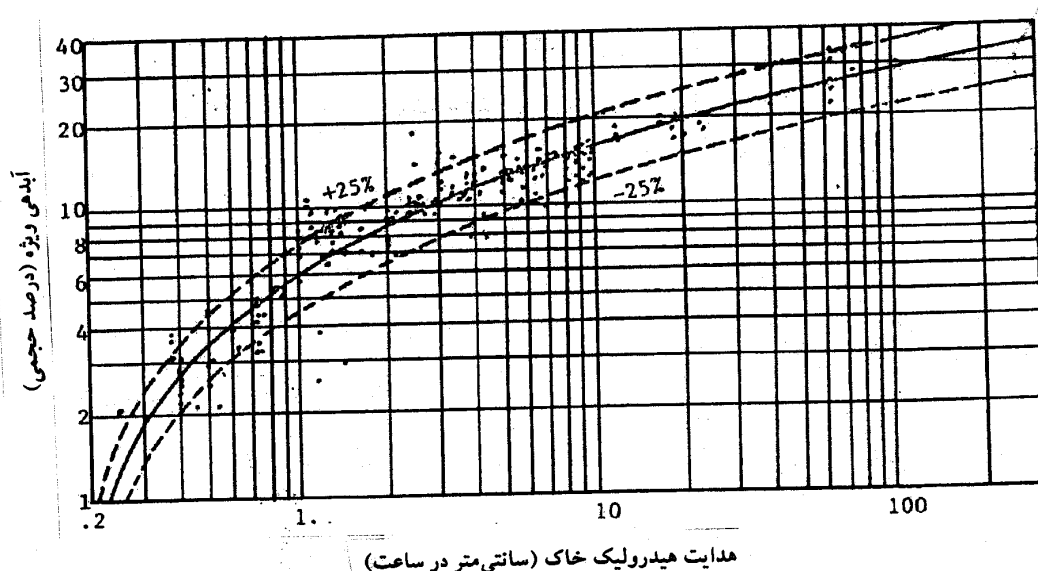
- $K$  = هدایت هیدرولیک خاک بر حسب سانتیمتر در روز است

- رابطه دیگری توسط اوجا و همکاران به صورت زیر ارائه شده است:

$$S = 0.50 K^{0.304}$$

- پارامترها به همان ترتیب فوق تعریف شده اند. نتایج حاصله از این روش، از سایر روشها بهتر است.

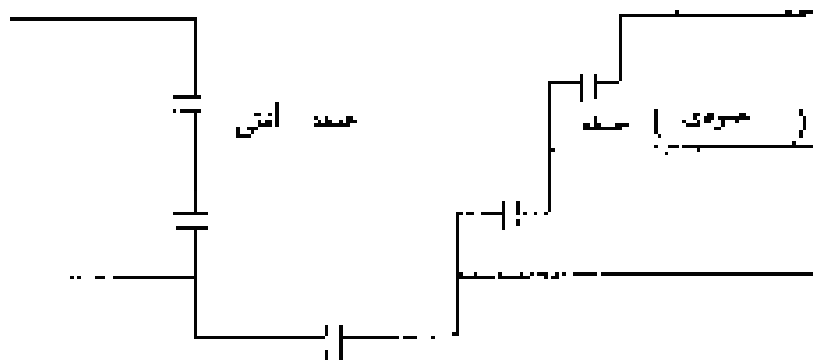
- در روش دیگر، بر اساس نظر USBR، رابطه ای بین آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیکی خاک مطابق شکل برقرار است. این منحنی بر اساس نتایج حدود ۲۰۰۰ آزمایش به دست آمده است.



## انواع روش های مستقیم اندازه گیری هدایت هیدرولیکی :

- روش های آزمایشگاهی
- بار ثابت
- با افتان
- روش های صحرایی
- اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاک در زیر سطح ایستایی
- اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاک در بالای سطح ایستایی
- روشهای مختلف تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی خاک

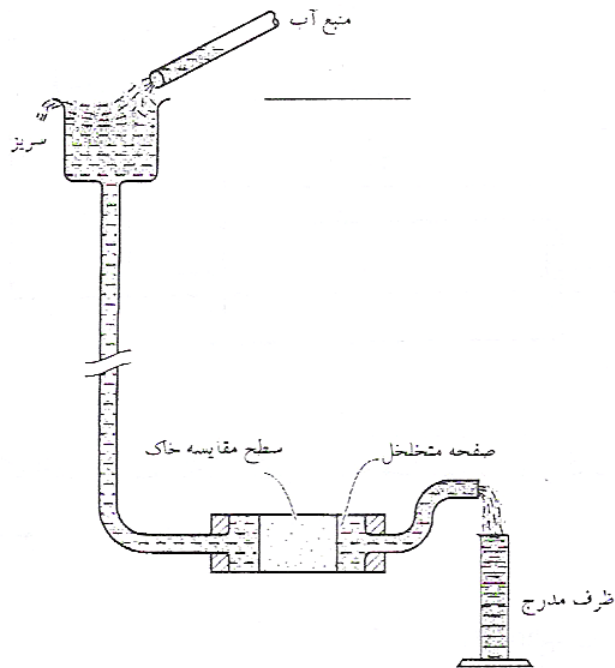
- روشهای آزمایشگاهی
- تهیه نمونه های دست نخورده با سیلندر
- صحت نتایج بستگی به کیفیت نمونه ها دارد
- تهیه تعداد زیادی نمونه (تغییر زیاد خاک در سطح مزرعه)
- آزمایش ۲ یا ۳ نمونه در هر نقطه
- قطر داخلی و ارتفاع این سیلندرها حدود ۵ سانتیمتر (به حجم دقیق ۱۰۰ سانتیمتر مکعب)



شکل (۶ ب الف) برداشت نمونه دست نخورده از بگ چاهک

- نمونه ها را عمودی یا افقی برداشت می کنیم

- اساس اندازه گیری: جریانی از آب از داخل نمونه عبور داده می شود و به طور مرتب میزان جریان وافت بار ناشی از آن ثبت می گردد.
- در طی اندازه گیری مقدار بار ممکن است ثابت (روش بارثابت) و یا به تدریج تقلیل پیدا کند (روش بار متغیر یا افتان). در روش اخیر، مقدار جریانی که از داخل نمونه می گذرد نیز در طی آزمایش تقلیل می یابد.
- با ثبت ارتفاع (بار) و مقدار جریان و با استفاده از فرمول داری می توان ضریب  $k$  را بدست آورد.
- البته در هنگام آزمایش باید نمونه کاملاً از آب اشباع شود و سعی گردد که هیچ گونه هوایی در داخل آن باقی نماند.
- ارزیابی (ضعفها و قوتها)
- الف- کوچک بودن حجم نمونه. برای رفع این نقص باید تعداد زیادی نمونه برداشت شود.
- ب- مشکل نمونه برداری در خاکهای رسی (وجود درز و ترک) و اشباع کردن آنها در آزمایشگاه (تورم بیشتر در شرایط غیر محصور آزمایشگاه)
- ج- به طور کلی، اندازه گیری  $k$  در صحرا ارجح تر از روش آزمایشگاهی است.
- روش آزمایشگاهی بهتر مکمل روش صحرایی باشد، آنهم در موارد زیر:
- تعیین ضریب  $k$  در بالای سطح ایستایی
- جدا کردن  $K_h$  و  $K_v$
- پیش بینی تاثیر نمک و دیگر خصوصیات فیزیکی بر  $K$



$$K = \frac{VL}{hAt}$$

دستگاه اندازه گیری هدایت هیدرولیکی به روش بار ثابت.

### ● مثال

نمونه‌ای استوانه شکل از خاک به طول ۱۴ سانتی متر و قطر ۷/۳ سانتی متر در یک دستگاه نفوذسنج با بار ثابت قرار داده شده و بین دوسر نمونه اختلاف سطح آب ۲۴ سانتی متر بوده است. اگر در مدت ۳ ساعت و ۲۲ دقیقه ۳۲۰ سانتی متر مکعب آب از نمونه خارج شده باشد، ضریب هدایت هیدرولیکی خاک چقدر است؟

حل

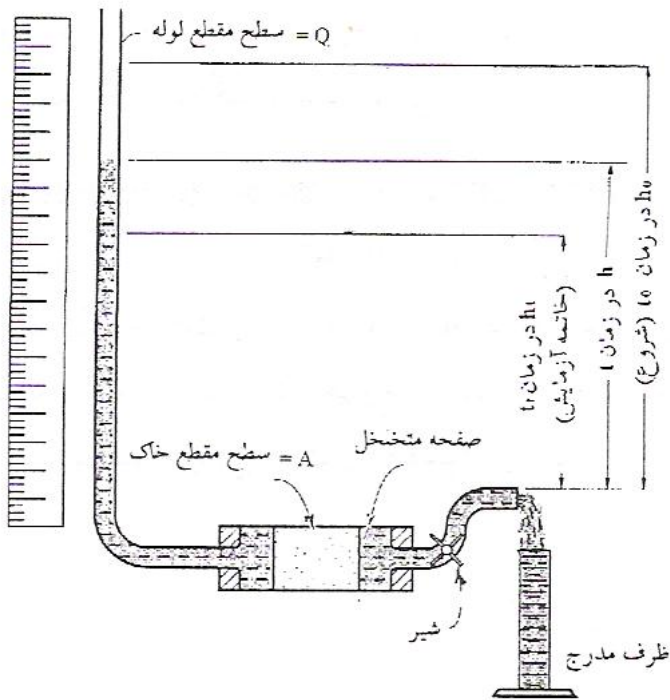
$$K = \frac{VL}{hAt}$$

$$K = \frac{(320)(14)}{(24)[\pi(7.3)^2/4](180 + 22)}$$

$$K = 2.21 \times 10^{-2} \text{ cm/min}$$

$$K = 3.68 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$$

• روش بار افتان



$$Q = -k \frac{h}{L} \times A = \frac{dh}{dt} \times a$$

$$t = 0 \quad h = h_0$$

$$t = t \quad h = h$$

$$k = \frac{L \cdot a}{A(t - 0)} \times \ln\left(\frac{h_0}{h}\right)$$

$$K = 2.3 \frac{aL}{At} \log \frac{h_0}{h}$$

دستگاه اندازه گیری هدایت هیدرولیکی به روش بار افتان .

نمونه ای از خاک بطول ۱۴ سانتی متر و قطر ۷/۳ سانتی متر با روش بار افتان مورد آزمایش قرار گرفته است، در مدت یک ساعت و ۱۸ دقیقه سطح آب در لوله ورودی که قطر آن یک سانتی متر است نسبت به سطح آب در محل خروج از نمونه از ۱۳۰ سانتی متر به ۷۲ سانتی رسید. ضریب هدایت هیدرولیکی خاک را به دست آورید

$$A = \frac{\pi}{4} (7.3)^2 = 41.85 \text{ cm}^2 \quad a = \frac{\pi}{4} (1)^2 = 0.785 \text{ cm}^2$$

$$h_0 = 130 \text{ cm}$$

$$t = 60 + 18 = 78 \text{ min}$$

$$h = 72 \text{ cm}$$

$$K = 2.3 \frac{aL}{At} \log \frac{h_0}{h}$$

$$\log\left(\frac{h_0}{h}\right) = \log \frac{130}{72} = 0.2566$$

$$K = 2.3 \frac{(0.785)(14)}{(41.85)(78)} (0.2566)$$

$$K = 1.99 \times 10^{-3} \text{ cm/min} = 3.32 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$$

## • روشهای صحرایی

- روشهای اندازه گیری ضریب  $k$  در زیر سطح ایستایی و بالای سطح ایستایی کاملاً متمایز از یکدیگر می باشند.
- برای اندازه گیری ضریب  $k$  در زیر سطح ایستایی روشهای دقیق تری پیشنهاد شده است.

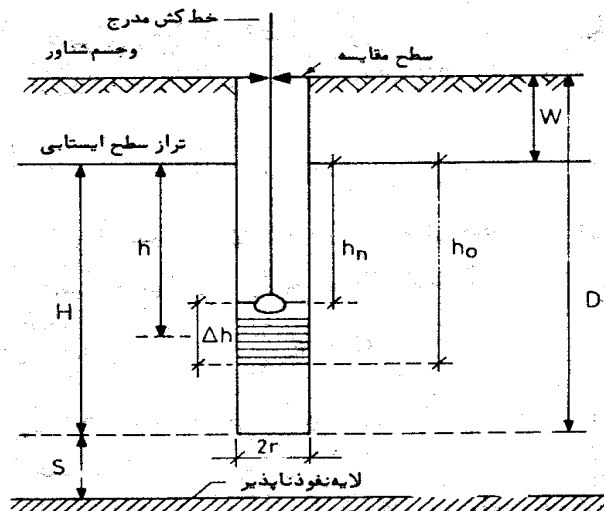
## • اندازه گیری صحرایی $k$ در زیر سطح ایستایی

### • روش چاهک

- معادله هاگوت در سال ۱۹۳۶ و تکمیل آن توسط کرکهام (۱۹۴۸) و ارنست (۱۹۵۰)

## • مراحل اندازه گیری $K$ :

- سوراخ با مته که تا عمق نسبتاً زیادی در داخل آب زیرزمینی فرو رود.



- اجازه برقراری تعادل با سطح ایستایی
- در خاکهای شنی این حالت پس از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه و در خاکهای رسی پس از یک روز
- بعد از حالت تعادل، مقداری از آب چاهک به بیرون پمپ می شود.
- آنگاه بالا آمدن سطح آب در زمان های مختلف ثبت می گردد.
- $H$  عمق چاهک در زیر سطح ایستایی
- $S$  فاصله بین کف چاهک تا لایه غیر قابل نفوذ
- $r$  شعاع چاهک
- $W$  فاصله سطح ایستابی تا زمین (عمق سطح ایستابی)



- $h_0$  فاصله سطح ایستابی تا سطح آب داخل چاهک در شروع آزمایش یا زمانی که اولین قرائت صورت می گیرد

- $h$  فاصله بین سطح ایستابی تا سطح آب داخل چاهک پس از زمان  $t$  از شروع آزمایش
- $h_n$  فاصله بین سطح ایستابی و سطح آب داخل چاهک در انتهای آزمایش
- $\Delta h$  مقدار صعود سطح آب داخل چاهک در مدت اندازه گیری
- نکته: مقدار  $h_0$  بستگی به پایداری خاک و نفوذپذیری آن دارد. در خاکهای نفوذپذیر مقدار  $h_0$  را به اندازه تقریبی ۴۰ و در خاکهای رسی که نفوذپذیری کمی دارند حدود ۸۰ سانتی متر انتخاب کنید تا برای جریان آب به داخل چاهک اختلاف بار کافی وجود داشته باشد.

#### • فرضیات معادله در روش چاهک

- سطح ایستابی همواره افقی باقی بماند.
- آب از تمام سطح چاهک، که زیر سفره آب قرار گرفته است، وارد آن گردد.
- فرضیات فوق تا زمانی که بیش از ۲۵٪ آب خارج شده از چاهک به داخل آن برگشت نکرده است صادق است.
- برای این منظور باید آزمایش قبل از آنکه  $h$  کوچکتر از  $\frac{3}{4}h_0$  گردد خاتمه پیدا نماید
- محاسبات
- کرکهام (۱۹۴۸) و ارنست (۱۹۵۰) هریک به طور جداگانه جریان آب به طرف چاهکها را مورد بررسی قرار دادند و فرمول زیر را بدست آوردند:

$$K = c \Delta h / \Delta t$$

- در این فرمول  $k$ ، ضریب هدایت هیدرولیکی  $m.day^{-1}$
- $\Delta h / \Delta t$  = سرعت بالا آمدن آب در چاهک  $cm.sec^{-1}$
- $C$  = ضریب (بدون بعد) مربوط به شکل و ابعاد چاهک، فاصله کف چاهک تا لایه نفوذناپذیر و ارتفاع آب در چاهک
- نکته: در روش چاهک لایه ای را به عنوان لایه غیر قابل نفوذ در نظر می گیریم که اولاً حداقل ضخامت آن ۱ تا ۲ متر باشد و دوماً هدایت هیدرولیکی آن حداقل ۱/۰ هدایت هیدرولیکی در لایه بالایی باشد.

#### مقادیر $C$ برای استفاده از روش چاهک

S/H برای لایه نفوذناپذیر										
H/r	$\hat{h}/H$	0	0.05	0.1	0.2	0.5	1	2	5	$\infty$
1	1	447	423	404	375	323	286	264	255	254
	0.75	469	450	434	408	360	324	303	292	291
	0.5	555	537	522	497	449	411	386	380	379
10	1	18.1	16.9	16.1	15.1	14.1	13.6	13.4		13.4
	0.75	19.1	18.1	17.4	16.5	15.5	15.0	14.8		14.8
	0.5	23.3	22.3	21.5	20.6	19.5	19.0	18.8		18.7
20	1	5.91	5.53	5.30	5.06	4.81	4.70	4.66		4.64
	0.75	6.27	5.94	5.73	5.50	5.25	5.15	5.10		5.08
	0.5	7.67	7.34	7.12	6.88	6.60	6.48	6.43		6.41

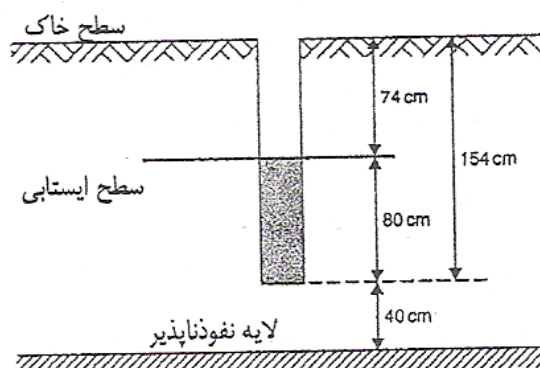
مثال

$$W + H = 154 \text{ cm}$$

$$W = 74 \text{ cm}$$

$$S = 40 \text{ cm}$$

$$r = 4 \text{ cm}$$



مقادیر ثبت شده

زمان t (sec)	تراز آب W + h (cm)	ارتفاع h (cm)	تغییر ارتفاع $\Delta h$ (cm)	دوره زمانی $\Delta t$ (sec)
0	116.8	42.8	-	-
20	115.6	41.6	1.2	20
40	114.4	40.4	1.2	20
60	113.3	39.3	1.1	20
80	112.2	38.2	1.1	20
100	111.2	37.2	1.0	20

$$\Delta h = 42.8 - 37.2 = 5.6 \text{ cm}$$

$$\Delta t = 100 - 0 = 100 \text{ sec}$$

$$h = \frac{42.8 + 37.2}{2} = 40 \text{ cm (متوسط ارتفاع)}$$

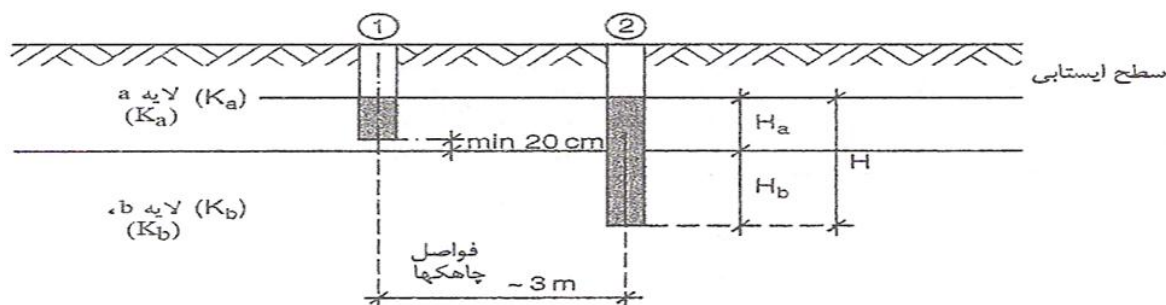
$$H = 154 - 74 = 80 \text{ cm}$$

$$H/r = 80/4 = 20 ; S/H = 40/80 = 0.5$$

$$\bar{h}/H = 40/80 = 0.5, \text{ بنابراین } C = 6.60 \text{ (جدول)}$$

$$K = C \frac{\Delta h}{\Delta t} = 6.60 \frac{5.6}{100} = 0.37 \text{ m.day}^{-1}$$

## استفاده از روش چاهک در خاکهای لایه ای



طرز قرار گرفتن چاهکها در مورد خاکهایی که از دو لایه تشکیل می شوند.

- در ابتدا آزمایش در چاهک عمیق صورت گرفته و هدایت هیدرولیکی  $K_{ab}$  بدست می آید. سپس در چاهک کم عمق نیز اندازه گیری به عمل آمده که در نتیجه  $k_a$  بدست می آید. مقدار  $k_b$  را می توان با داشتن  $k_a$ ،  $H_a$  و  $H_b$  از روی فرمول زیر بدست آورد.

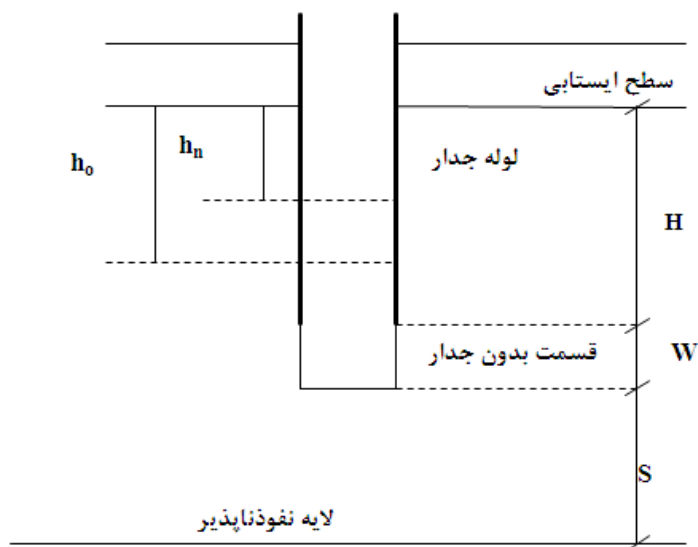
$$K_b = \frac{K_{ab} (H_a + H_b) - K_a H_a}{H_b}$$

نکته: البته اگر  $k_a \gg k_b$  باشد مقدار  $k_b$  محاسبه شده از دقت زیادی برخوردار نمی باشد

- ارزیابی روش چاهک
- الف- مقدار  $K$  محاسبه شده در واقع تخمینی از  $K_h$  خاک است. چرا؟
- ب- در مقایسه با نمونه های دست نخورده (آزمایشگاهی) نتایج به واقعیت نزدیکتر است. چرا؟
- در این روش نیز اشتباهاتی در تعیین  $K$  پدید می آید که از منابع زیر نشأت می گیرد.
  - اشتباه در اندازه گیری (حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد)
  - متغیر بودن خاک (حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد در خاکهای شنی و بیشتر از آن در خاکهای رسی) بطوری که ۱۰ تا ۳۰ درصد نوسان بین نتایج بدست آمده از ۵ تکرار امری عادی است.

- ۲- روش پیزومتر
- روش پیزومتر از بسیاری جهات مشابه روش چاهک است.

- لوله ای به قطر داخلی ۳ تا ۸ سانتی متر که دو سر آن باز است طوری در خاک قرار داده می شود که در انتهای آن حفره ای خالی وجود داشته باشد.



$$K = \frac{\pi r^2}{C} \frac{\ln(h_0/h_n)}{(t_n - t_0)}$$

$r$  = شعاع حفره خالی زیر چاهک (cm)

$h_0, h_n$  = ارتفاع آب در زمانهای  $t_0$  و  $t_n$  (cm)

$t_0, t_n$  = فاصله زمانی (ثانیه، دقیقه و غیره)

$C$  = ضریب مربوط به شکل و ابعاد پیزومتر (واحد طول، cm)

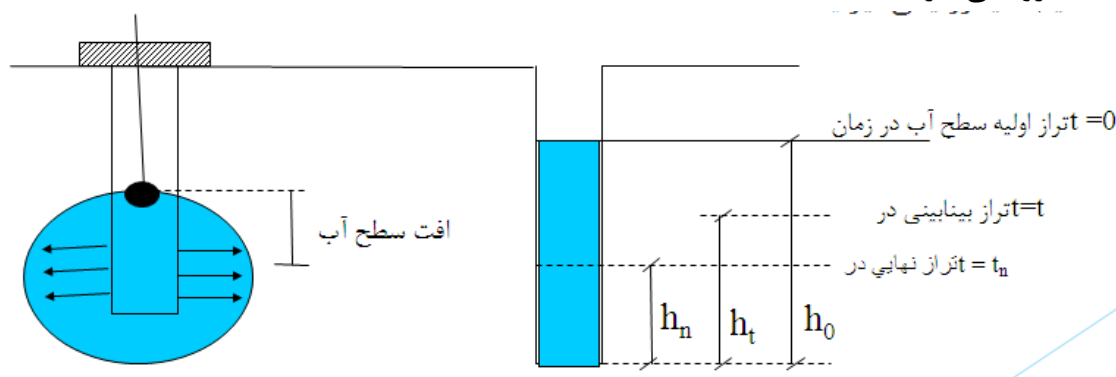
تصویر C از روش پیزومتر

ضریب شکل  $C/r$  برای استفاده در روش پیزومتر

$W/r$	$H/r$	$s/r$ (برای لایه نفوذناپذیر)						
		$\infty$	8	4	2	1	0.5	0
0	20	5.6	5.5	5.3	5.0	4.4	3.6	0
	16	5.6	5.5	5.3	5.0	4.4	3.6	0
	12	5.6	5.5	5.4	5.1	4.5	3.7	0
	8	5.7	5.6	5.5	5.2	4.6	3.8	0
	4	5.8	5.7	5.6	5.4	4.8	3.9	0
0.5	20	8.7	8.6	8.3	7.7	7.0	6.2	4.8
	16	8.8	8.7	8.4	7.8	7.0	6.2	4.8
	12	8.9	8.8	8.5	8.0	7.1	6.3	4.8
	8	9.0	9.0	8.7	8.2	7.2	6.4	4.9
	4	9.5	9.4	9.0	8.6	7.5	6.5	5.0
1.0								

## ارزیابی روش پیزومتریک

- الف- این روش مخصوص جاهایی است که خاک از لایه های نازک و مشخص تشکیل شده و عمق آن به قدری زیاد است که انجام روش چاهک در آن عملی نمی باشد.
- ب- اشتباهاتی که معمولاً در روش چاهک بروز می کند در این روش نیز محتمل است.
- ج- در شرایطی که حفره ته پیزومتر طویل ( $W/r \geq 8$ ) باشد، شکل حفره منعکس کننده هدایت هیدرولیکی  $K_h$  است.
- چاهک معکوس
- ۲- روش چاهک معکوس (پورشه)
- ابتدا چاهک و خاک اطراف چاهک را اشباع می نماییم.
- سپس چاهک را تا سطح مشخصی از آب پرمی کنیم و بتدریج که آب در دیواره چاهک نفوذ می کند افت سطح آب را در زمانهای مختلف یادداشت می کنیم.
- در اینجا نیز فرض می شود که میزان آبی که در جدار چاهک نفوذ می کند برابر  $ksat$  است. و شیب هیدرولیکی نیز یک است.



$$Q = k(2\pi r h + \pi r^2) = 2k\pi r(h + \frac{r}{2}) \quad \text{جریان خارج شده از چاهک}$$

$$Q = -\pi r^2 \cdot \frac{dh}{dt} \quad \text{همچنین از نزول سطح آب داخل چاهک نتیجه می شود که :}$$

$$-\frac{2k}{r} dt = \frac{dh}{h + \frac{r}{2}} \quad \text{کاهش می یابد } h \text{ مقدار } t \text{ علامت منفی به این دلیل است که با افزایش}$$

با انتگرال گیری بین دو حد :

$$t = 0, h = h_o$$

$$t = t, h = h_t$$

خواهیم داشت :

$$\frac{2k}{r} t = \ln(h_o + \frac{r}{2}) - \ln(h_t + \frac{r}{2})$$

$$k = \frac{1.15 r \log(h_o + \frac{r}{2}) - \log(h_t + \frac{r}{2})}{t}$$

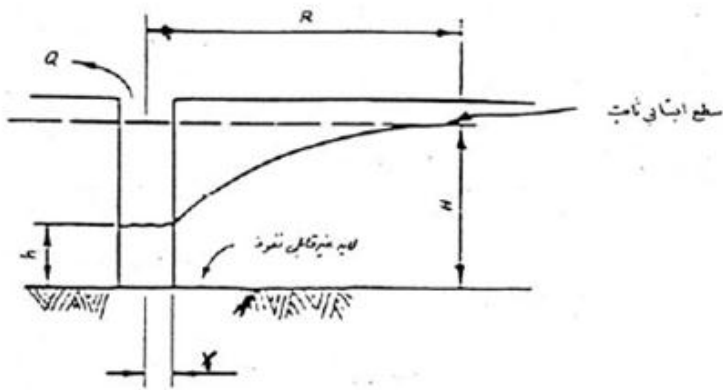
مقادیر قرائت شده  $h_t$  و  $t$  را روی یک کاغذ لگاریتمی معمولی رسم می کنیم تا خط مستقیمی بدست آید. شیب این خط ضریب هدایت هیدرولیکی  $k$  است.

موارد خطا و تقریب در آزمایش چاهک معکوس :

- متغیر بودن سطح آب در هنگام آزمایش در خاکهای لایه ای و مطابق
- فرض یکسان بودن هدایت آبی در جهت های عمودی و افقی
- نفوذ آب در توده خاک
- تغییر دمای آب
- وضعیت لایه محدود کننده و آب زیرزمینی
- کیفیت آب مورد استفاده
- روش پمپاژ
- انجام آزمایشات به روش چاهک و روش پیژومتری در شن های درشت و سنگریزه مشکل است.
- تحت چنین شرایطی گزینه دیگر پمپاژ آب را می توان استفاده نمود

- مانند روش چاهک، در داخل سطح ایستابی چاهکی حفر می نمایند. در این چاهک سطح ایستابی را اندازه گیری می کنند. سپس آب در چاهک را به میزان ثابتی پمپاژ می شود.
- بعد از مدتی سطح آب در چاهک به سطحی با جریان پایدار خواهد رسید
- فرض می گردد وقتی افت سطح ایستابی در چاهک کمتر از ۳ سانتی متر در مدت ۲ ساعت باشد جریان پایدار وجود دارد.
- در این زمان مقدار جریان و عمق آب در چاهک یادداشت می گردد.
- از این روش تنها در شرایطی که روش چاهک و پیرومتری نتایج رضایت بخشی نمی دهد استفاده می گردد

الف) پمپاژ از یک طبقه یکنواخت، سطح ایستابی در طبقه پمپاژ

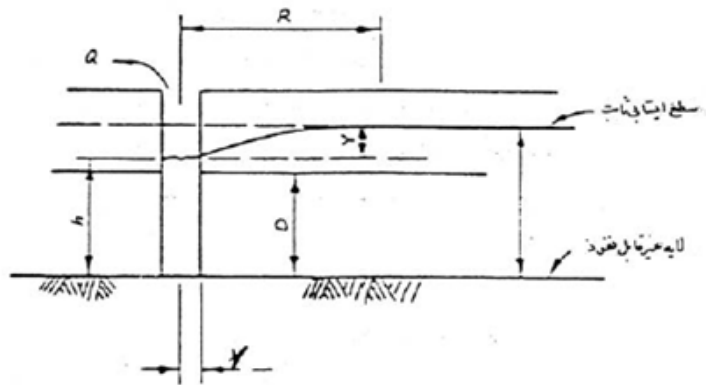


$$K = \frac{a \log_e \left( \frac{R}{r} \right)}{\pi (H^2 - h^2)}$$

در اکثر موارد  $R = 500r$  فرض می شود.

- K: هدایت هیدرولیکی برحسب فوت مکعب در فوت مربع در روز  
 Q: مقدار جریان در شرایط پایدار برحسب فوت مکعب در روز  
 H: عمق آب در چاهک در شرایط پمپاژ در حالت پایدار برحسب فوت  
 R: فاصله از خط مرکزی چاه تا نقطه افت صفر برحسب فوت  
 r: شعاع مؤثر چاه برحسب فوت

ب) پمپاژ از یک طبقه محصور، سطح ایستابی بالای طبقه پمپاژ می‌شود.



$$K = \frac{Q \log_e \left( \frac{R}{r} \right)}{2\pi YD}$$

در اکثر موارد  $R=50 \cdot r$  فرض می‌شود.

K: هدایت هیدرولیکی برحسب فوت مکعب در فوت مربع در روز

Q: مقدار جریان در شرایط پایدار برحسب فوت مکعب در روز

$Y=H-h$  افت سطح ایستابی بر حسب فوت

D: ضخامت بین کف چاهک و لایه محصور شده روی آن برحسب فوت

R: فاصله از خط مرکزی چاه تا نقطه افت صفر برحسب فوت

r: شعاع مؤثر چاه برحسب فوت

• اندازه گیری K در بالای سطح ایستابی

### روش زه آب خروجی

• هدایت هیدرولیکی خاک از طریق تجزیه و تحلیل آمار بدست آمده از اندازه گیری دبی زهکش و سطح

ایستابی در یک قطعه زمین آزمایشی تعیین می‌گردد.

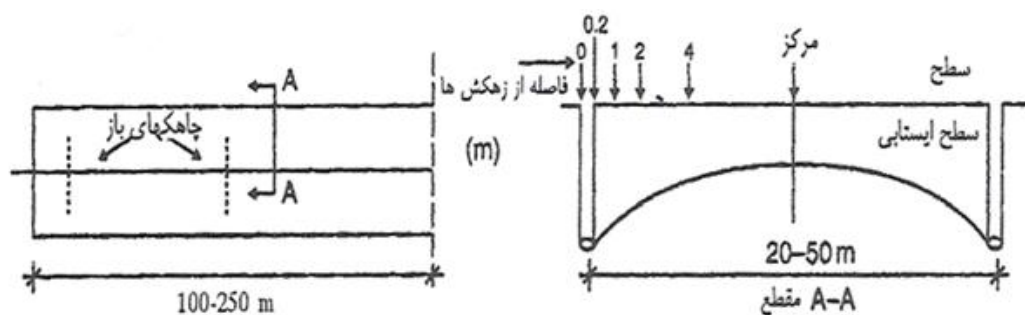
• سطح آب در چاهک‌هایی که به این منظور حفر می‌شوند اندازه گیری می‌شود.

• این روش بر اساس این فرض استوار است که معادله فاصله بین زهکشها در شرایط مورد آزمایش صادق باشد.

• در شرایط ماندگار از معادله هوخهات استفاده می‌شود.

$$q = \frac{8Kdh}{L^2} + \frac{4kh^2}{L^2}$$





$$q = \frac{8kdh}{L^2} + \frac{4kh^2}{L^2}$$

$$q = Ah + Bh^2$$

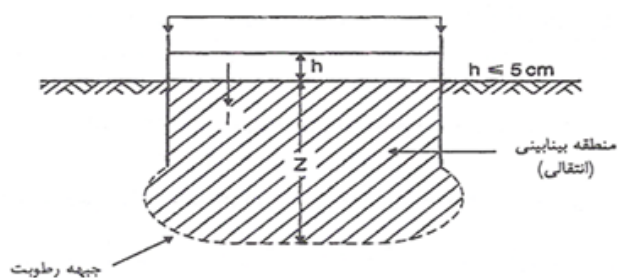
or

$$\frac{q}{h} = A + Bh$$

$$A = \frac{8Kd}{L^2}$$

$$B = \frac{4K}{L^2}$$

روش نفوذ سنجی



... به وسیله دستگاه نفوذسنج یک حلقه ای

$I =$  سرعت نفوذ ( $\text{m.day}^{-1}$ )

$K_\theta =$  هدایت هیدرولیکی خاک در رطوبت  $\theta$  ( $\text{m.day}^{-1}$ )

$h =$  ارتفاع آب که روی سطح خاک قرار گرفته است (m)

$z =$  عمق جبهه رطوبتی خاک (m) یا عمقی که آب نفوذ کرده است.

$P =$  فشار آب خاک در جبهه رطوبت (m)

$$I = K_\theta \frac{h + z - P}{z}$$

$\theta \rightarrow \theta_{\text{sat}}$

$K_\theta \rightarrow K_{\text{sat}}$



$$I_{\text{final}} = K_\theta = \frac{h + z - P}{z} \approx K_{\text{sat}}$$

$$\left( \frac{h + z - P}{z} \rightarrow \frac{z}{z} \rightarrow 1 \right)$$

• ارزیابی روش نفوذسنجی

(الف) در این روش فقط مؤلفه عمودی هدایت هیدرولیکی اندازه گیری می شود.

(ب) روش بسیار آسان و ساده است ولی از دقت زیادی برخوردار نمی باشد.

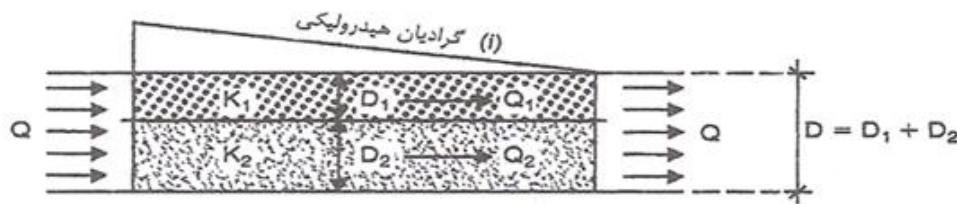
- به دلیل تغییرات موضعی خاک در هر نقطه آزمایش حداقل سه بار تکرار شود.
- در موقع نصب نفوذسنج، خاک تا اندازه ای به هم می خورد که از دقت آزمایش کاسته می شود.

(ج) در خاکهای شنی صحت عمل بسیار کم است.

(د) به دلیل تورم در خاکهای رسی، به خصوص اگر آب شیرین مصرف شود، از دقت عمل کاسته می شود. در این شرایط سعی شود از آب شور برای آزمایش استفاده گردد.

### مقادیر مرکب K

جریان افقی از لایه خاک



جریان افقی آب از لایه های خاک

$$Q_1 = K_1 D_1 i$$

$$Q_2 = K_2 D_2 i$$

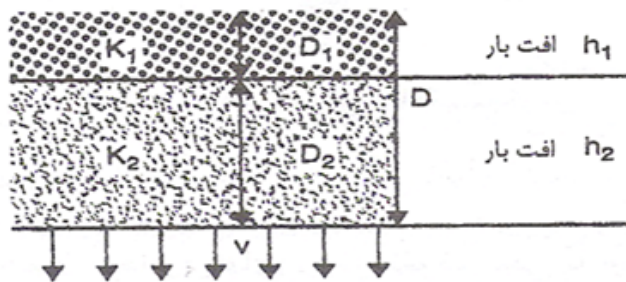
$$Q = Q_1 + Q_2 = K_1 D_1 i + K_2 D_2 i$$

$$Q = K(D_1 + D_2) i$$

$$\bar{K} = \frac{K_1 D_1 + K_2 D_2}{D_1 + D_2}$$

$$\bar{K} D = K_1 D_1 + K_2 D_2$$

## جریان عمودی آب از لایه‌های خاک



$$v = K_1 \frac{h_1}{D_1}, h_1 = \frac{v D_1}{K_1}$$

$$v = K_2 \frac{h_2}{D_2}, h_2 = \frac{v D_2}{K_2}$$

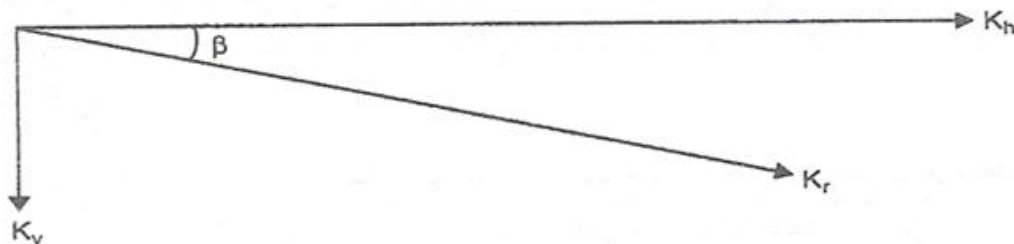
جریان عمودی آب از لایه‌های خاک

$$h = h_1 + h_2 = v \left( \frac{D_1}{K_1} + \frac{D_2}{K_2} \right)$$

$$v = \bar{K} \frac{h}{D_1 + D_2}, h = v \frac{D_1 + D_2}{\bar{K}}$$

$$\bar{K} = \frac{D_1 + D_2}{\frac{D_1}{K_1} + \frac{D_2}{K_2}} = \frac{K_1 K_2 D}{D_1 K_2 + D_2 K_1}$$

جریان شعاعی و جریان آب از خاکهای غیر همروند



مقدار  $K$  در خاکهای غیر همروند برای جریان شعاعی

$$K = (K_h K_v)^{1/2}$$

$$\beta = \frac{K_v}{K_h}$$

از روش تبدیل مقیاس (transformation of scale) که در آن خاک را به صورت همروند در نظر می‌گیرد نیز می‌توان استفاده نمود.

انتخاب محل آزمایش و تعداد آزمایشها

باید بافت خاک را از نظر ظاهری مشاهده نموده و حدودی را برای K تخمین زد.

جدول ۱۹-۴ تیپ دامنه تغییرات هدایت هیدرولیکی

تیپ دامنه تغییرات K ( $\text{m.day}^{-1}$ )	بافت خاک
۵-۱۰	خیلی درشت
۲-۶	درشت
۰/۵-۲	متوسط درشت
۰/۲۵-۰/۸	متوسط
۰/۱۰-۰/۴	متوسط ریز
۰/۰۵-۰/۱	ریز

تعداد آزمایشها

می توان بر اساس پیشنهاد FAO به شرح جدول عمل نمود.

جدول ۱۹-۵ تراکم اندازه گیریهای هدایت هیدرولیکی K در خاکهای مختلف

سطح زمین به ازاء هر نقطه آزمایش		شرایط خاک
فاصله زهکش حدود ۷۵ متر	فاصله زهکش حدود ۳۰ متر	غیر همگن
10-15 ha	< 5 ha	
40-75 ha	10-25 ha	همگن

## تعداد آزمایشها

تعداد آزمایشهای مورد نیاز در هر یکصد هکتار از اراضی

فاصله محتمل زهکشها			خاک
بیش از ۷۵ متر	←	کمتر از ۳۰ متر	ناهمگون ↓ همگون
۷ تا ۱۰	۱۰ تا ۲۰	بیش از ۲۰ آزمایش	
۲/۵ تا ۴	۴ تا ۱۰	۱۰ تا ۲۰	
۱/۳ تا ۲/۵	۲ تا ۴	۴ تا ۱۰	

تعداد اندازه‌گیری پیشنهاد شده هدایت هیدرولیک خاک در مراحل مختلف مطالعاتی

مراحل مطالعاتی	فاصله اندازه‌گیری در شبکه منظم (کیلومتر × کیلومتر)	تعداد اندازه‌گیری در ۱۰۰ هکتار
مرحله شناسایی	۲×۲	۰/۲۵
مرحله اول	۱×۱	۱
مرحله دوم	۰/۵×۰/۵	۴

عمق مناسب اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک

شرایط خاک	در کلیه نقاط	در ۲۰ درصد نقاط	در ۱۰ درصد نقاط
خاک عمیق با نفوذپذیری خوب	L / ۱۰	L / ۶	
خاک با لایه‌های زیرین مطبق			
$K_v < K_h$	L / ۲۰	L / ۱۰	
$K_v \ll K_h$	L / ۲۰		L / ۱۰
خاک با لایه زیرین کم نفوذ	L / ۲۰		L / ۱۰

## عمق مناسب اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک (متر زیر عمق نصب زهکش)

شرایط خاک	در کلیه نقاط (متر)	در ۲۰ درصد نقاط (متر)
خاک یکنواخت	۱	۳
خاک عمیق	۳	

- تفسیر نتایج هدایت هیدرولیکی خاک

برای هر تیپ خاک نتایج حاصله به ترتیب نزولی ردیف می‌شوند

سپس بین داده‌های حاصله تجزیه و تحلیل آماری صورت می‌گیرد

ارقامی که بدور از انتظار به نظر می‌رسند حذف شوند.

تهیه نقشه K با مقیاس ۱:۵۰۰۰ تا ۱:۱۰۰۰۰ است

## جداسازی و تعیین نواحی با خصوصیات فیزیوگرافی یکسان

تعیین فاصله زهکش‌ها در نواحی با خصوصیات فیزیوگرافی یکسان با فواصل ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۴۰ متری

انتخاب موقعیت نقاط :

- اندازه‌گیری در مجاورت نقاطی که در آن از قبل چاهک مشاهده‌ای حفر شده اند.
- مکان از نظر ویژگی‌های فیزیوگرافی و توپوگرافی مشابه اراضی پیرامون باشد.
- در خاکهای ناهمگن تراکم اندازه‌گیریها متناسب با افزایش می‌یابد.
- تا حد امکان آزمایش در خاک با لایه‌های ضخیم

- شناسایی لایه‌های خاک :

- حفر چاهک تا عمق مناسب ( ۵ الی ۶ متر )

- شناسایی لایه‌های مختلف

- شناسایی عمق لایه محدود کننده

- تعیین نیمرخ و وضعیت آب زیرزمینی

- امکان اندازه‌گیری هدایت آبی با دو روش و مقایسه و تحلیل نتایج دو روش

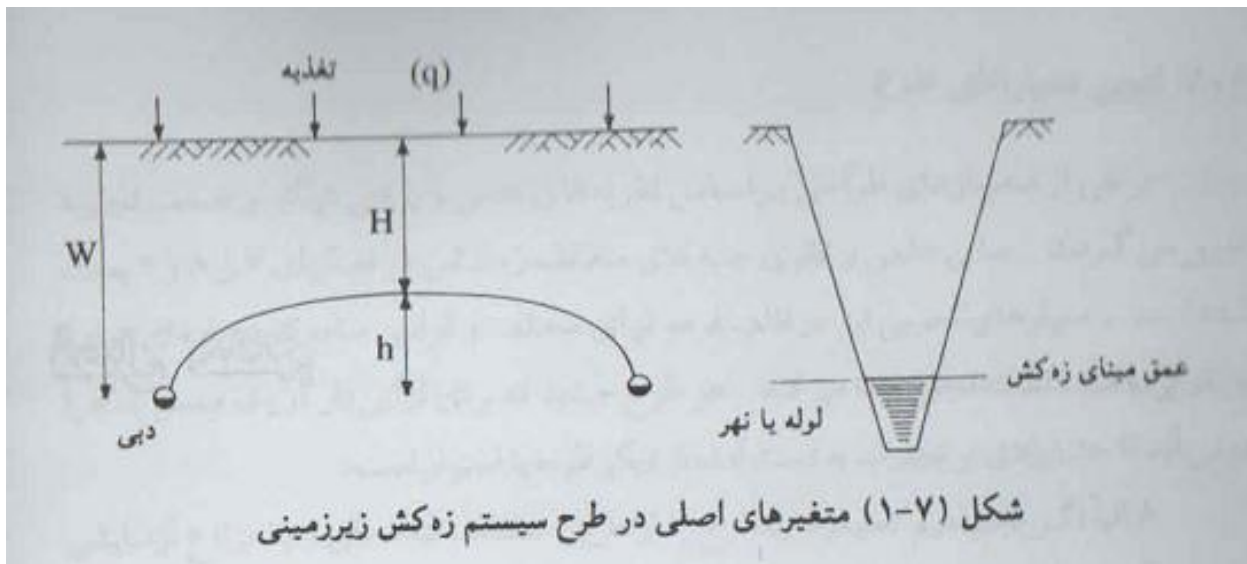
• نکات :

- اندازه‌گیری هدایت آبی در زیر لایه محدود کننده ضرورتی ندارد.
- فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده یا سطح آب زیرزمینی حداقل نیم متر فاصله داشته باشد.
- در حد امکان اندازه‌گیری‌ها در یک لایه مشخص انجام شود.
- اندازه‌گیری‌ها در عمق ۱ تا ۵/۲ متری انجام گیرد.
- برنامه آزمایش به گونه‌ای تنظیم شود که عمق آب در در چاهک از حدود ۰/۶ کمتر نباشد.

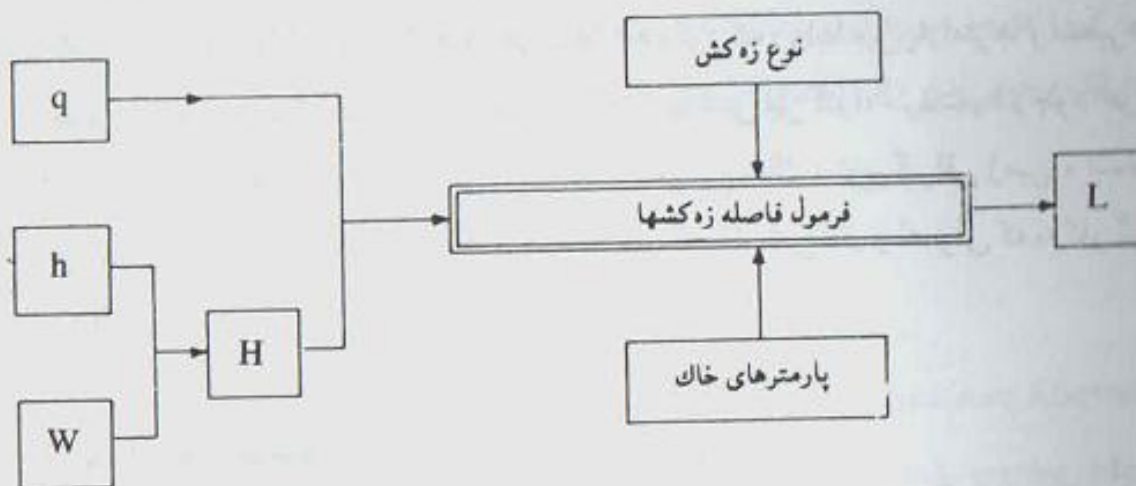
### طراحی سیستم‌های زه‌کش لوله ای

- به منظور کنترل سطح آب زیر زمینی

#### تعیین فاصله زهکش‌ها



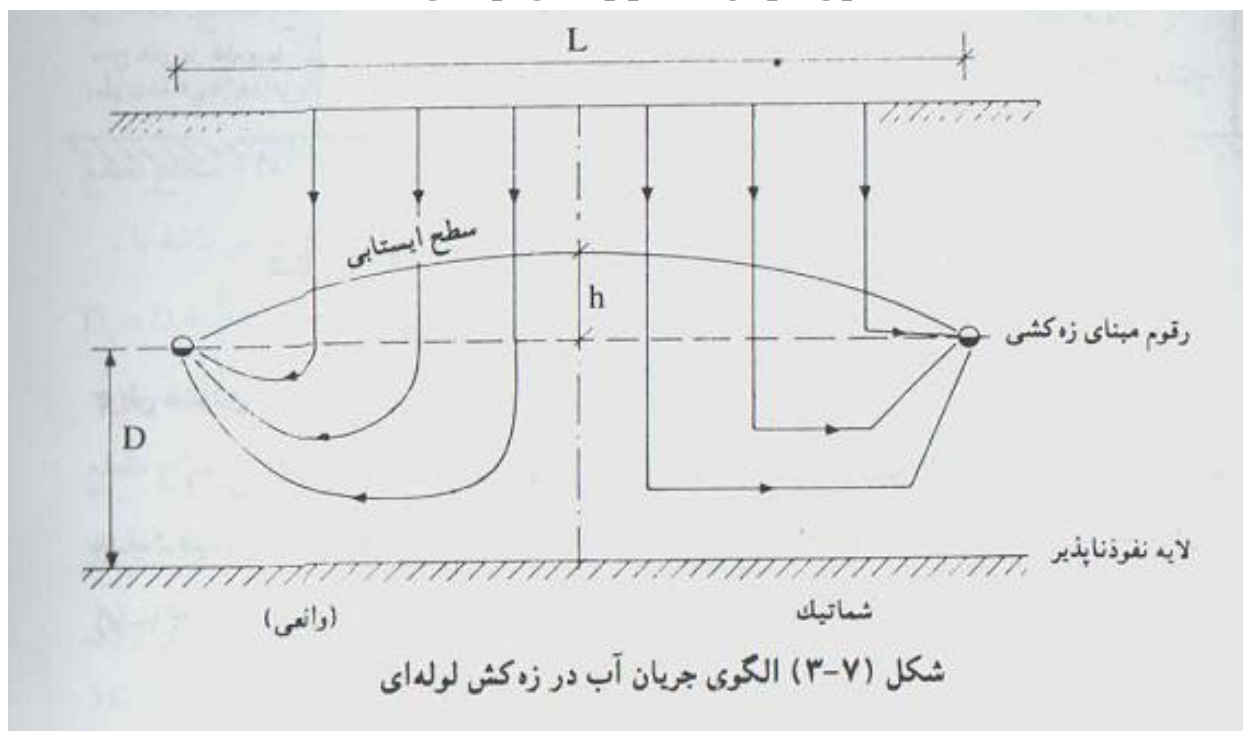




شکل (۷-۲) طرز محاسبه فاصله زهکشها در سیستم زهکشهای موازی (حالت ماندگار)

غالباً در طراحی زهکشی محاسبات به صورت جریان ماندگار انجام می گیرد

### الگوی جریان آب در زهکش لوله ای



شکل (۷-۳) الگوی جریان آب در زهکش لوله ای

- تلفات انرژی در حرکت جریان آب به سمت زهکش
- جریان عمودی



## جریان افقی

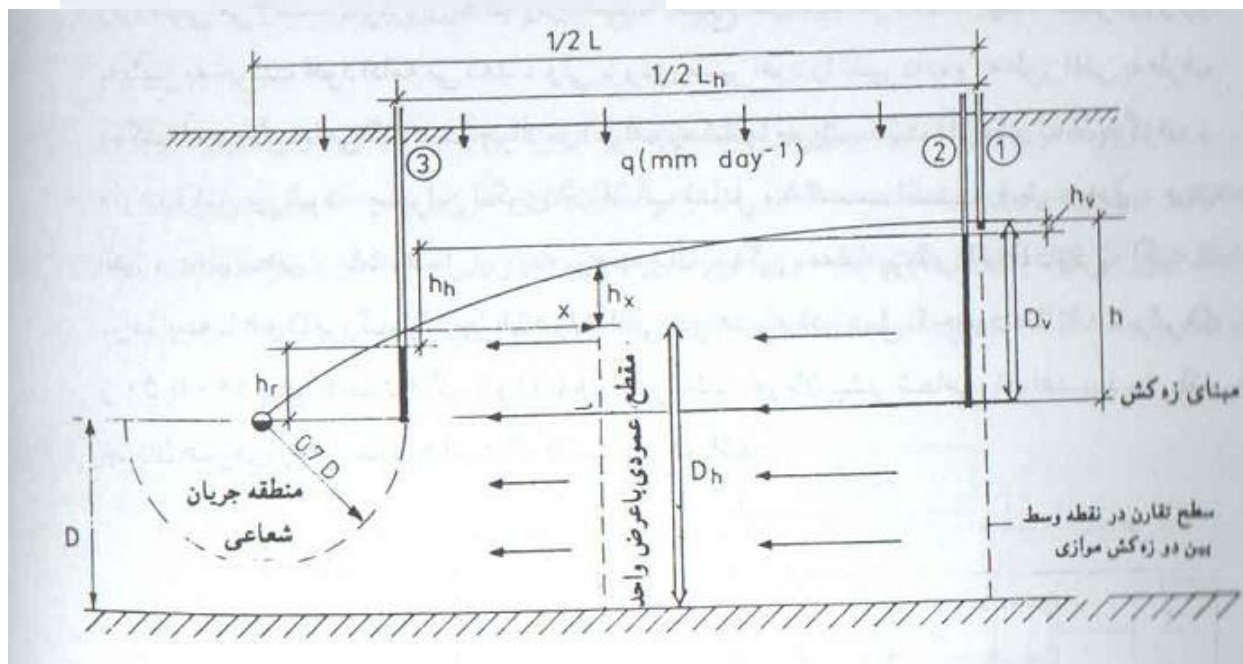
### جریان افقی

دامنه عمل این سه نوع جریان به مقادیر  $h$ ،  $L$  و  $D$  بستگی دارد.  
 اگر  $L$  در مقایسه با  $h$  و  $D$  بزرگ باشد جریان عمدتاً افقی خواهد بود. (در عمل  $L$  حدود 10 تا 20 برابر  $D$  و 50 تا 100 برابر  $h$  است)  
 اگر  $L$  و  $D$  با هم برابر باشند جریان بیشتر شعاعی خواهد بود  
 زمانی که  $h$  نسبتاً بزرگ باشد جریان عمودی بیشتر مشهود است.  
 جریان افقی تا فاصله  $L/4$  در زیر عمق مینای زهکشی امتداد پیدا می کند ولی جریان شعاعی فقط در محدوده ای به شعاع تقریبی  $0.7D$  اطراف لوله زهکش را در بر می گیرد.

مقدار کل تلفات انرژی ( $h$ ) شامل چهار جزء است ؛ افت بار در اثر جریان

عمودی ( $h_v$ ) ، افت بار در اثر جریان افقی ( $h_h$ ) ، افت بار در اثر جریان شعاعی ( $h_r$ ) و مقدار افتی که در هنگام ورود جریان به داخل لوله صورت می گیرد ( $h_e$ ) :

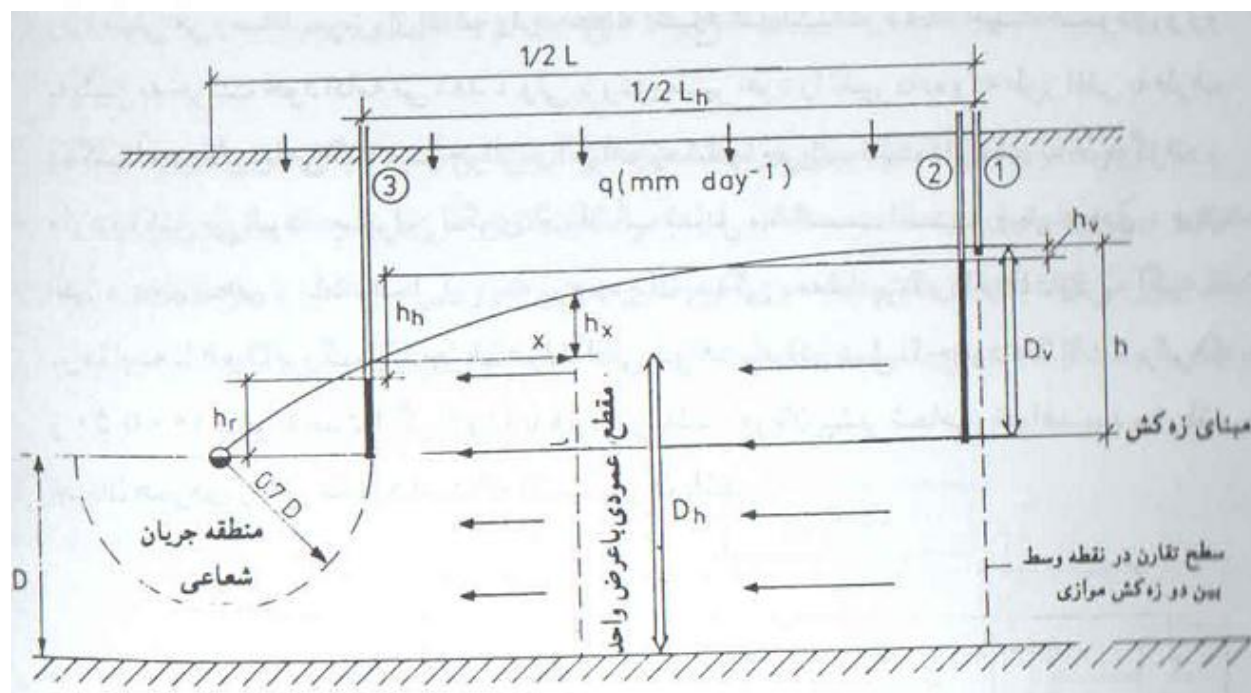
$$h = h_v + h_h + h_r + h_e$$



## • جریان عمودی

وقتی جریانی به مقدار  $q$  (متر در روز) از لایه خاکی به ضخامت  $D_v$  (متر) با ضریب هدایت هیدرولیکی  $K$  (متر در روز) بگذرد، افت انرژی در آن مطابق قانون دارسی عبارت است از:

$$h_v = \frac{q D_v}{k}$$



### اختلاف سطح آب در پیزومترهای ① و ② در شکل (۴-۷)

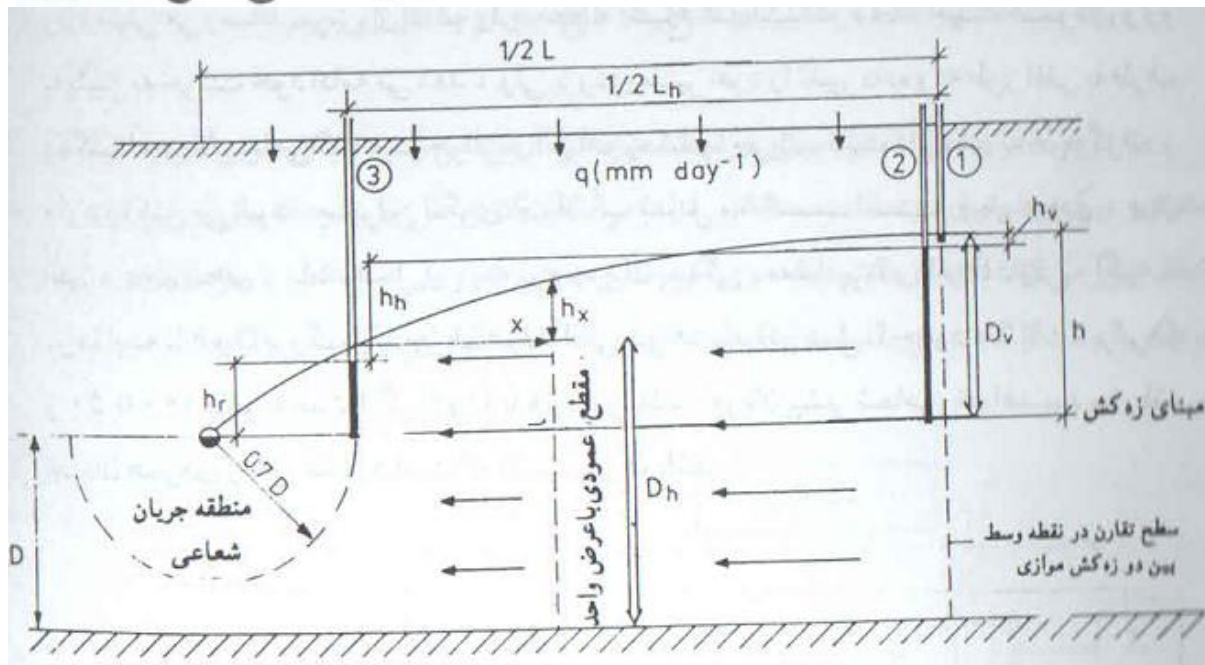
مقدار افت بار در اثر جریان عمودی نسبتاً اندک است. مثلاً برای  $q = 10 \text{ mm.day}^{-1}$  و  $K = 0.5 \text{ m.day}^{-1}$  و  $D_v = 1.0 \text{ m}$  مقدار  $h_v$  فقط ۲ سانتی متر خواهد بود.  $h_v$  فقط زمانی قابل توجه خواهد بود که قابلیت نفوذ خاک بسیار کم باشد (رس).

### • جریان افقی

افت بار در اثر جریان افقی عبارت است از اختلاف سطح آب در پیزومترهایی که در دو نقطه ③ و ② نصب شده اند. (شکل ۴-۷). توصیف ریاضی افت بار در اثر جریان افقی را می توان با توجه به عبور دبی  $Q_r$  از یک مقطع عمودی به عرض واحد (یک) به دست آورد.

قسمتی از فاصله  $L$  را که در آن جریان افقی حاکم است با  $L_h$  نشان می‌دهیم.  $L_h$  به اندازه  $2(0.7D) = 1.4D$  کوچکتر از  $L$  می‌باشد ( $L_h = L - 1.4D$ ). در شکل (۷-۴) که فقط نیمی از مسیر جریان افقی به طرف زه کش ( $Q_x$ ) نشان داده شده است مقدار آن برابر است با :

$$Q_x = K (\text{سطح مقطع}) (\text{گرادیان})$$



چنانچه گرادیان با توجه به شکل  $\frac{dh}{dx} x$  باشد سطح مقطع برای واحد عرض جریان برابر است با :

$$(\text{یک واحد عرض}) \times (\text{ضخامت لایه}) = \text{سطح مقطع}$$

متوسط ضخامت لایه ای که در آن جریان افقی صورت می‌گیرد  $D_h$  است که برابر می‌باشد با :

$$D_h = D + \frac{1}{2} h \quad \text{بنابراین جریان افقی به طرف زه کش عبارت است از :}$$

$$\text{سطح مقطع} = D_h \times 1 = D_h$$

$$Q_x = K D_h \frac{dh}{dx} x$$

از طرف دیگر جریان افقی در حالت تعادل برابر است با مقدار آبی که به صورت بارندگی روی مساحتی به اندازه (یک واحد عرض)  $(1/2L_h - x)$  یا  $1/2L_h - x$  با دبی  $q$  میلی متر در روز

$$KD_h \frac{dh_x}{dx} = q(1/2L_h - x)$$

$$KD_h dh_x = q(1/2L_h - x)dx$$

اگر این دو معادله را بین دو حدود  $x = 0; h_x = 0$  و  $x = L_h/2; h_x = h_h$  انتگرال بگیریم خواهیم داشت که :

$$Q_x = q(1/2L_h - x) \quad \text{چنانچه این دو مقدار را مساوی یکدیگر قرار دهیم}$$

$$q \int_0^{L_h/2} (L_h/2 - x)dx = KD_h \int_0^{h_h} dh_x \quad h_h = \frac{qL_h^2}{8KD_h}$$

## • جریان شعاعی

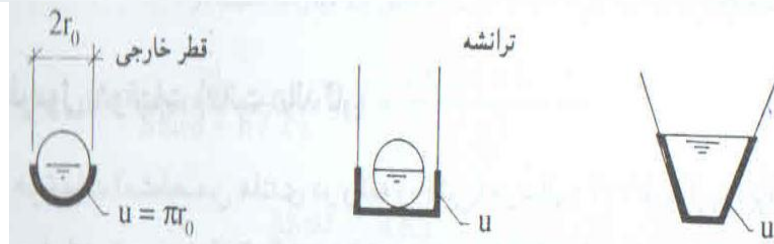
افت بار در قسمتی که جریان به صورت شعاعی صورت می گیرد از روی معادله ای که ارنست (Ernest) پیشنهاد کرده است به دست می آید . معادله مذکور به شرح زیر است .

$$h_r = q \frac{L}{\pi K} \ln \frac{aD_r}{u}$$

در این فرمول  $aD_r$  پارامتری است که بستگی به موقعیت لوله زه کش نسبت به لایه غیرقابل نفوذ دارد . در مواردی مشابه شکل (۷-۴) مقدار  $aD_r$  برابر با  $D$  در نظر گرفته می شود .  $u$  نشان دهنده محیط نخیس شده جریان ورودی به لوله است .



شکل (۵-۷) محیط خیس شده در انواع مختلف زه کش (در محاسبه فاصله لوله ها فرض می شود که لوله نیمه پر باشد در صورتی که عملاً آب در لوله از کاملاً پر تا خالی کامل متغیر است) .



برای ترانشه هایی که عرض آنها ۲۰-۲۵ سانتی متر است  $u$  معادل ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر می باشد .

### افت انرژی در محل ورود آب به زهکش

- چون مجرای ورود آب به داخل زهکش کوچک است مقداری از انرژی آب هنگام ورود به مجرای زهکش تلف می شود.

$$h_e = \alpha \frac{Q}{K}$$

$Q$ : دبی مترمکعب بر متر در روز

$K$ : هدایت هیدرولیکی متر در روز

$\alpha$ : ضریب مقاومت (برای لوله های سفالی و بتنی ۰.۲-۰.۴، برای لوله های پلاستیکی صاف ۰.۴-۰.۶، برای پلاستیکی موجدار ۰.۵-۱)

### • The Hooghoudt Equation

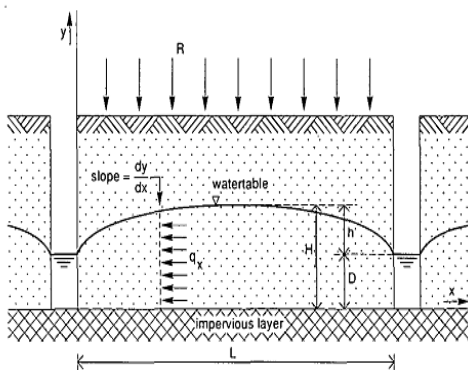


Figure 8.2 Flow to vertically-walled drains reaching the impervious layer

$$q_x = R \left( \frac{1}{2} L - x \right) \quad q_x = K y \frac{dy}{dx}$$

$q_x$  = unit flow rate in the x-direction ( $m^2/d$ )

$K$  = hydraulic conductivity of the soil ( $m/d$ )

$y$  = height of the watertable at  $x$  (m)

$$K y \frac{dy}{dx} = R \left( \frac{1}{2} L - x \right) \quad \text{integrated at } x (-)$$

$R$  = rate of recharge per unit surface area ( $m/d$ )

$L$  = drain spacing (m)

$$K y dy = R \left( \frac{1}{2} L - x \right) dx$$

for  $x = 0 \rightarrow y = D$

and

for  $x = \frac{1}{2} L \rightarrow y = H$

$D$  = elevation of the water level in the drain (m)

$H$  = elevation of the watertable midway between the drains (m)

$$\int_D^H K y dy = \int_0^{\frac{1}{2}L} R \left( \frac{1}{2} L - x \right) dx$$

$$L^2 = \frac{4 K (H^2 - D^2)}{R}$$

$$q = R = \frac{4 K (H^2 - D^2)}{L^2}$$

$q$  = drain discharge ( $m/d$ )

### • معادله دونان : Donnan Equation

این معادله که توسط هوخهات در ۱۹۶۳ بدست آمد به معادله دونان هم شناخته می شود:

$$q = R = \frac{4 K (H^2 - D^2)}{L^2} \quad q = \frac{4 K (H + D) (H - D)}{L^2}$$

### • The Hooghoudt Equation

$$q = \frac{4 K (H + D) (H - D)}{L^2}$$

$$H - D = h$$

$$H + D = 2D + h$$

$$q = \frac{8 K D h + 4 K h^2}{L^2}$$

اگر سطح آب در زهکش ها خیلی کم باشد  $D=0$  می شود بنابراین قسمت اول معادله حذف

شده معادله بصورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$q = \frac{4 K h^2}{L^2}$$

این معادله توصیف کننده جریان بالای سطح مبنای زهکشی می باشد

اگر لایه غیر قابل نفوذ از سطح مبنای زهکشی فاصله زیادی داشته باشد ( $D \gg h$ ) ترم دوم را می توان

نادیده گرفت و معادله بصورت زیر در می آید:

$$q = \frac{8 K D h}{L^2}$$

این معادله توصیف کننده جریان زیر سطح مبنای زهکشی می باشد

اگر پروفیل خاک شامل دو لایه خاک با هدایت هیدرولیکی متفاوت باشد و چنانچه سطح مبنای زه کشی در حد فاصل دو لایه باشد معادله هوخهات به صورت زیر نوشته خواهد شد

$$q = \frac{8 K_b D h + 4 K_t h^2}{L^2}$$

$K_t$  = hydraulic conductivity of the layer above drain level (m/d)

$K_b$  = hydraulic conductivity of the layer below drain level (m/d)

### • فرمول هوخهات

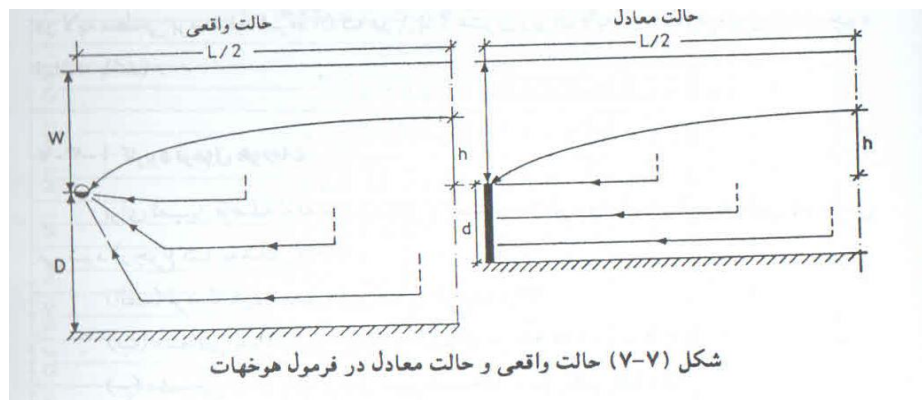
- محاسبه فاصله بین زهکش ها در شرایط ماندگار
- افت انرژی در اثر جریان افقی و شعاعی در نظر گرفته نشده است. (افت جریان عمودی کوچک و قابل صرف نظر کردن است).
- هوخهات چنین تصور نمود که اگر یک شبکه زه کش لوله ای موازی را در آن زه کشها به فاصله  $D$  از لایه غیر قابل نفوذ نصب شده اند در نظر بگیریم و فرض شود که به ازای افت مشخص سطح ایستابی ( $h$ ) جریانی که وارد لوله می شود برابر ( $q$ ) باشد، این مقدار جریان درست معادل جریانی است که وارد یک شبکه زه کش روباز مشابه (فاصله زه کش ها و افت سطح ایستابی مشابه حالت اول باشد) که در آن کف کانال منطبق با لایه غیر قابل نفوذ باشد می شود.
- به شرط اینکه لایه غیر قابل نفوذ به سطح آیب در نهر در فاصله کوچکتر از  $D$  قرار می داشت (یعنی  $d$  به جای  $D$ ).
- این تصور وی را بر آن داشت که جریان افقی - شعاعی آب به طرف لوله های زه کش معادل یک جریان افقی به طرف نهرهای زه کش روباز در نظر بگیرد که در آن عمق لایه غیر قابل نفوذ نسبت به سطح آب نهر به  $d$  کاهش پیدا کرده باشد.

- جریان واقعی (افقی + شعاعی) .

$$h = h_h + h_r = \frac{qL^2}{8KD_h} + q \frac{L}{\pi K} \ln \frac{aD_r}{u}$$

- جریان معادل (افقی)

$$h = h_{h^*}(\text{equivalent}) = \frac{qL^2}{8KD_{h^*}}$$



- از جایی که  $d < D$  می باشد سطح مقطع جریان کاهش یافته و در نتیجه افت بار در حالت افقی معادل بیشتر از حالت واقعی است و این اختلاف درست به اندازه تلفات انرژی در منطقه جریان شعاعی است.

متوسط ضخامت خاک در حالت معادل (جریان افقی) برابر است با  $D_{\text{م}} = d + h/2$  که چون در معادله (۵-۷) به کار برده شده است حاصل آن عبارت است از :

$$h = \frac{qL^2}{8K(d + h/2)} \quad \text{یا} \quad q = \frac{8Kh(d + h/2)}{L^2} \quad q = \frac{8Khd}{L^2} + \frac{4Kh^2}{L^2}$$

$$q = \frac{8Khd}{L^2} + \frac{4Kh^2}{L^2}$$

جریان در زیر تراز  
مبنای زه کشی

جریان در بالای  
تراز مبنای زه کشی

چنانچه ضریب هدایت هیدرولیکی خاک در قسمت بالای تراز مبنای زه کشی ( $K_1$ ) و در قسمت پایین تراز زه کشی ( $K_2$ ) باشد معادله به صورت زیر خواهد بود

$$q = \frac{8K_2hd}{L^2} + \frac{4K_1h^2}{L^2}$$

$$d = \frac{D}{\frac{8D}{\pi L} \ln \frac{D}{u} + 1} \quad (\text{برای شرایطی که } D > \frac{1}{4}L \text{ باشد})$$

$$d = \frac{\pi L}{8 \ln \frac{L}{u}} \quad (\text{برای شرایطی که } D < \frac{1}{4}L \text{ باشد})$$

### کاربرد معادله هوخهات

- برای تعیین فاصله زه کش ها به روش هوخهات به صورت زیر بایستی عمل کنیم.

(الف) فرموله کردن معیارهای اصلی طرح ( $H$  و  $q$ )

(ب) مشخص نمودن تراز مبنای زه کشهای مزرعه  $W$ ؛  $h = W - H$



- (ج) مشخص کردن پارامترهای مربوط به خاک ، (یا  $K_1$  و  $K_2$ ) و  $D$
- (د) انتخاب نوع زه کش (لوله یا نهر روباز) و مشخص کردن  $u$
- (هـ) پیدا کردن فاصله زه کشها (  $L$  ) با حل معادله هوخها

### • حل معادله هوخها

- برای حل معادله هوخها از دو روش سعی و خطا و یا گرافیکی استفاده می شود.
- روش آزمون و خطا : چون  $L$  بستگی به  $d$  و  $L$  دارد معادله هوخها فقط به روش آزمون و خطا قابل حل است .

= برای  $L$  مقداری را فرض کنید و سپس با استفاده از جدول یا معادله مقدار  $d$  را به دست آورید .

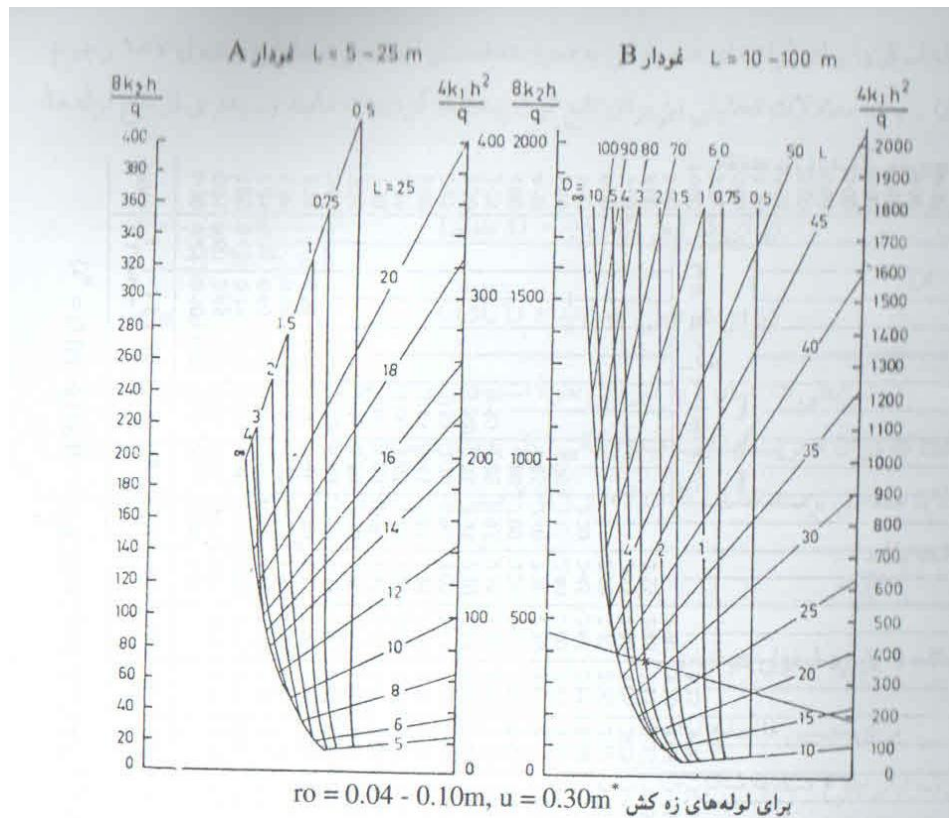
= معادله هوخها را حل کرده و مقدار  $L$  محاسبه شده را با آنچه فرض نموده اید مقایسه کنید .

= مقدار  $L$  فرض شده قبلی را اصلاح نموده و اعمال فوق را دوباره تکرار کنید . این عمل را آن قدر ادامه دهید تا مقدار  $L$  فرض شده و محاسبه شده مساوی گردند .

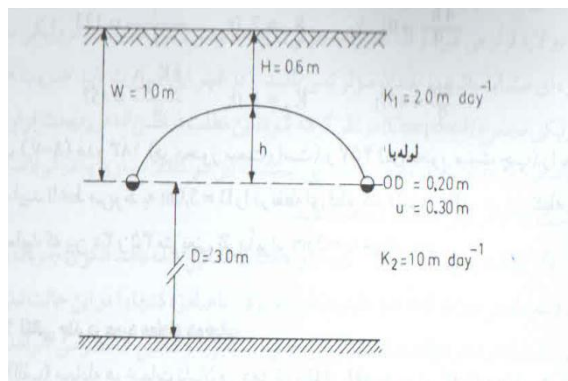
جدول (۷-۱) عمق معادل (d) در زه کشهای لوله ای ( $r_0 = 0.04 - 0.01m$ ,  $u = 0.30m$ )

D(m)	L(m)→ 5	7.5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	75	80	85	90	100	150	200	250
0.50	0.45	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	0.75	0.75	0.95	0.95	0.95	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
0.75	0.60	0.65	0.70	0.70	0.75	0.75	0.75	0.95	0.95	0.95	0.95	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
1.00	0.65	0.75	0.80	0.85	0.90	0.90	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35
1.25	0.70	0.80	0.90	1.00	1.05	1.10	1.10	1.15	1.15	1.15	1.15	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
1.50		0.90	1.00	1.10	1.20	1.25	1.30	1.30	1.35	1.35	1.35	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
1.75			1.10	1.20	1.30	1.40	1.45	1.50	1.50	1.55	1.55	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95	1.95
2.00			1.15	1.35	1.50	1.70	1.70	1.75	1.80	1.85	1.85	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25
2.25				1.40	1.55	1.70	1.80	1.85	1.95	2.00	2.00	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40
2.50				1.45	1.65	1.85	1.95	2.10	2.15	2.25	2.30	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
2.75				1.50	1.70	1.90	2.05	2.15	2.25	2.35	2.40	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80	2.80
3.00				1.55	1.75	1.95	2.10	2.25	2.35	2.45	2.55	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
3.25				1.60	1.80	2.00	2.15	2.25	2.35	2.45	2.55	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10	3.10
3.50				1.65	1.85	2.05	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20
3.75				1.70	1.90	2.10	2.25	2.35	2.45	2.55	2.65	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30	3.30
4.00				1.75	1.95	2.15	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40	3.40
4.50				1.80	2.00	2.20	2.35	2.45	2.55	2.65	2.75	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50	3.50
5.00				1.85	2.10	2.30	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60	3.60
5.50				1.90	2.15	2.40	2.65	2.75	2.85	2.95	3.05	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70	3.70
6.00					2.20	2.45	2.70	2.80	2.90	3.00	3.10	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80	3.80
7.00						2.55	2.85	3.05	3.25	3.45	3.65	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
8.00						2.65	2.95	3.15	3.35	3.55	3.75	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10	4.10
9.00						2.75	3.05	3.25	3.45	3.65	3.85	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20	4.20
10.00						2.85	3.15	3.35	3.55	3.75	3.95	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30	4.30
12.50						3.00	3.30	3.50	3.70	3.90	4.10	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50	4.50
15.00						3.15	3.45	3.65	3.85	4.05	4.25	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65	4.65
17.50						3.30	3.60	3.80	4.00	4.20	4.40	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80
20.00						3.45	3.75	3.95	4.15	4.35	4.55	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95	4.95
25.00						3.60	3.90	4.10	4.30	4.50	4.70	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10	5.10
30.00						3.75	4.05	4.25	4.45	4.65	4.85	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
35.00						3.90	4.20	4.40	4.60	4.80	5.00	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40	5.40
40.00						4.05	4.35	4.55	4.75	4.95	5.15	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55
45.00						4.20	4.50	4.70	4.90	5.10	5.30	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70	5.70
50.00						4.35	4.65	4.85	5.05	5.25	5.45	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85	5.85
60.00						4.50	4.80	5.00	5.20	5.40	5.60	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
~	0.70	0.95	1.15	1.55	1.90	2.25	2.60	2.90	3.25	3.55	3.90	5.40	5.75	6.00	6.25	6.80	9.55	12.20	14.70

d برای مقادیر  $L > \frac{1}{4} D$  تقریباً عدد ثابتی است .



مثال - حساب کنید فاصله زه کشها را در صورتی که معیارهای اصلی طرح به شرح زیر :



$$q = 7mm.day^{-1}, H = 0.6m$$

ابتدا برای L مقدار ۴۰ متر را انتخاب می کنیم

$$D = 3.0m$$

$$u = 0.3m$$

$$d = 2.15m$$

$$L = 40m$$

$$L^2 = \frac{4 K_1 h^2}{q} + \frac{8 K_2 h d}{q}$$

$$= \frac{4 \times 2 \times 0.4^2}{0.007} + \frac{8 \times 1 \times 2.15 \times 0.4}{0.007}$$

$$L^2 = 1165; \quad L = 34m$$

مشاهده می شود که مقدار L محاسبه شده کوچکتر از مقدار فرض شده است .

در آزمون دوم برای  $L = 32\text{m}$  در نظر می گیریم . از روی جدول (۷-۱) مقدار  $d$  در این حالت  
 و لذا  $d = 2.0\text{m}$  است

$$L^2 = \frac{4 \times 2 \times 0.4^2}{0.007} + \frac{8 \times 1 \times 2.0 \times 0.4}{0.007}$$

$$L^2 = 1097; \quad L = 33\text{m}$$

### • نکات مهم در مورد معادله هوخهات

- معادله هوخهات نشان می دهد که مقدار  $L$  (در صورتی که بقیه متغیرها ثابت بماند) افزایش خواهد یافت اگر
- $K$  افزایش پیدا کند (به خصوص وقتی  $K_2$  افزایش یابد)
- $q$  کاهش پیدا نماید
- $D$  افزایش پیدا کند (اثر آن زمانی که  $L$  کوچک باشد کمتر از زمانی است که فاصله بین زهکش ها بزرگ باشد)
- $H$  افزایش یابد (یا  $W$  اضافه شود و یا  $H$  کاهش یابد)

(ب) اگر از مقدار دبی که از بالای تراز مبنای زه کش صورت می گیرد صرف نظر شود  
 فرمول هوخهات شکل زیر را پیدا خواهد کرد .

$$L^2 = \frac{8Kh d}{q} \quad (\text{فرمول ساده شده هوخهات})$$

این فرمول را زمانی می توان به کار برد که یا بار سطح ایستابی ( $h$ ) کوچک باشد و یا آن که مقدار  
 جریانی که از زیر تراز مبنای زه کشی صوت می گیرد به مراتب بیشتر از مقداری باشد که از بالای  
 آن سطح جریان پیدا می کند .

### • نکات مهم در مورد معادله هوخهات

- ج- تغییر ضریب هدایت هیدرولیکی خاک در عمقی حدودا معادل تراز مبنای زهکش یکی از پدیده هایی است که معمولا در خاک های غیر لایه ای می افتد.
- این عمق در ۱ تا ۲/۱ متری سطح خاک قرار دارد که اکثر فرایندهای فیزیکی، شیمیایی، رشد ریشه، رژیم رطوبتی خاک و غیره در آن صورت می گیرد و تمامی این فرایندها بر تغییر ضریب هدایت هیدرولیکی خاک موثرند

- در خاک های لایه ای به ندرت عمق مبنای زهکش درست در حد فاصل دو لایه قرار می گیرد و لذا تغییرات جزئی، به خصوص وقتی هدایت هیدرولیکی دو لایه تا اندازه ای مشابه باشند چندان موثر نیست.

- در غیر اینصورت هدایت هیدرولیکی مجموع در نظر گرفته می شود. منظور از هدایت هیدرولیکی مشابه این نیست که این دو کاملاً مساوی یکدیگر باشند بلکه کافی است از دو برابر یکدیگر تجاوز ننمایند.
- اگر جریان مشخصاً از لایه های مختلف تشکیل شده باشد از معادله هوخهات نمی توان محاسبات را انجام داد

$$h_v = \frac{q D_v}{k}$$

(د) اگر مقدار جریان عمودی زیاد باشد و منطقه ای که جریان عمودی در آن صورت می گیرد دارای ضریب هدایت هیدرولیکی کوچکی باشد باید به جای  $h$  در فرمول هوخهات  $(h - h_v)$  قرار داده شود که  $h_v$  از فرمول به دست می آید .

(ه) بخش دوم فرمول هوخهات  $q = \frac{4Kh}{L}$  که مربوط به جریان آب در قسمت بالای تراز مبنای زه کش می باشد ، نباید مستقلاً به کار برده شود .

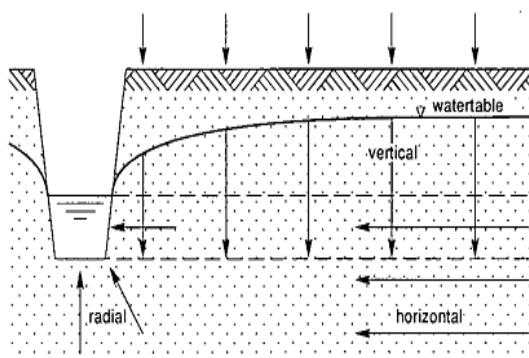
به عبارت دیگر چنانچه تراز مبنای زه کش منطبق با سطح لایه غیر قابل نفوذ باشد و تمام جریان از قسمت بالای سطح مبنای زه کش صورت پذیرد باید از فرمولهای دیگر استفاده شود .

### • معادله ارنست: The Ernst Equation

- این روش در خاک های لایه ای کاربرد فراوانی دارد.
- مخصوصاً در خاک هایی که لایه بالایی هدایت هیدرولیکی پایین تر از لایه پایینی داشته باشد
- در این روش هدایت هیدرولیکی لایه های خاک با یکدیگر متفاوت می باشد و افت بار هیدرولیکی در اثر سه جریان عمودی، افقی و شعاعی در نظر گرفته می شود

$$h = h_v + h_h + h_r$$

### • جریان عمودی



$$q = K_v \frac{h_v}{D_v}$$

$$h_v = q \frac{D_v}{K_v}$$

$D_v$  = thickness of the layer in which vertical flow is considered (m)  
 $K_v$  = vertical hydraulic conductivity (m/d)

Figure 8.6 Geometry of two-dimensional flow towards drains, according to Ernst

## • جریان افقی

$$h_h = q \frac{L^2}{8 \Sigma (KD)_h}$$

$\Sigma(KD)_h$  = transmissivity of the soil layers through which the water flows horizontally (m<sup>2</sup>/d)

قابلیت انتقال لایه های مختلف خاک که در آنها جریان بصورت افقی می باشد (متر مربع در روز)

اگر ضخامت لایه غیر قابل نفوذ زیاد باشد قابلیت انتقال لایه های افقی به بینهایت میل کرده و مقدار افت در اثر جریان افقی به سمت صفر میل می کند. برای جلوگیری از این امر حداکثر ضخامت لایه غیر قابل نفوذ به مقدار  $1/4L$  محدود می گردد

## • جریان شعاعی

$$h_r = q \frac{L}{\pi K_r} \ln \frac{aD_r}{u}$$

$K_r$  = radial hydraulic conductivity (m/d)

$a$  = geometry factor of the radial resistance (–)

$D_r$  = thickness of the layer in which the radial flow is considered (m)

$u$  = wet perimeter of the drain (m)

This equation has the same restriction for the depth of the impervious layer as the equation for horizontal flow (i.e.  $D_r < \frac{1}{4}L$ ).

## • فاکتور هندسی : The geometry factor

- مقدار این فاکتور به پروفیل خاک و موقعیت زه کش ها بستگی دارد.
- در خاک های همگن مقدار این فاکتور برابر یک می باشد.
- در یک خاک لایه ای، این فاکتور بستگی به موقعیت زه کش داشته که زه کش در لایه بالایی و یا پایینی قرار دارد.
- اگر زه کش در لایه پایینی قرار داشته باشد فرض می شود که جریان شعاعی به این لایه محدود شده و مقدار آن یک فرض می شود.
- اگر زه کش در لایه بالایی قرار گرفته باشد مقدار آن بستگی به نسبت هدایت هیدرولیکی لایه پایین ( $K_b$ ) و لایه بالایی ( $K_t$ ) دارد.



• بنابراین ارنست مقادیر زیر را برای این فاکتور تعیین نمود:

- $\frac{K_b}{K_t} < 0.1$ : the bottom layer can be considered impervious and the case is reduced to a homogeneous soil profile and  $a = 1$ ;
- $0.1 < \frac{K_b}{K_t} < 50$ :  $a$  depends on the ratios  $\frac{K_b}{K_t}$  and  $\frac{D_b}{D_t}$ , as given in Table 8.2;
- $\frac{K_b}{K_t} > 50$ :  $a = 4$ .

Table 8.2 The geometry factor ( $a$ ) obtained by the relaxation method (after Van Beers 1979)

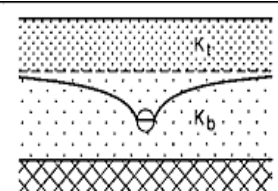
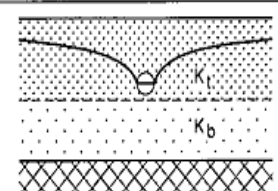
$\frac{K_b}{K_t}$	$\frac{D_b}{D_t}$					
	1	2	4	8	16	32
1	2.0	3.0	5.0	9.0	15.0	30.0
2	2.4	3.2	4.6	6.2	8.0	10.0
3	2.6	3.3	4.5	5.5	6.8	8.0
5	2.8	3.5	4.4	4.8	5.6	6.2
10	3.2	3.6	4.2	4.5	4.8	5.0
20	3.6	3.7	4.0	4.2	4.4	4.6
50	3.8	4.0	4.0	4.0	4.2	4.6

• معادله ارنست: The Ernst Equation

$$h = q \frac{D_v}{K_v} + q \frac{L^2}{8 \sum (KD)_h} + q \frac{L}{\pi K_r} \ln \frac{a D_r}{u}$$

$$h = q \left( \frac{D_v}{K_v} + \frac{L^2}{8 \sum (KD)_h} + \frac{L}{\pi K_r} \ln \frac{a D_r}{u} \right)$$

• معادلات جریان ماندگار

	two layers ( $K_t < K_b$ )	in bottom layer	Ernst	$h = q \left( \frac{D_v}{K_t} + \frac{L^2}{8 K_b D_b} + \frac{L}{\pi K_b} \ln \frac{D_r}{u} \right)$
	two layers ( $K_t < K_b$ )	into layer	Ernst	$h = q \left( \frac{D_v}{K_t} + \frac{L^2}{8 (K_b D_b + K_t D_t)} + \frac{L}{\pi K_t} \ln \frac{a D_r}{u} \right)$

TION

$$\frac{H^2 - D^2}{L^2}$$

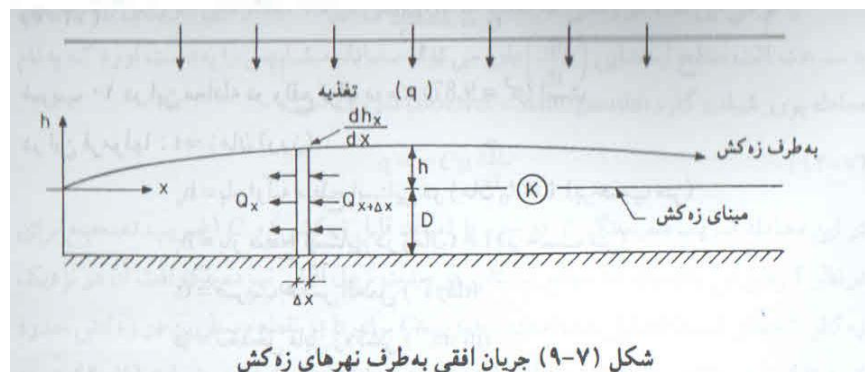
$$\frac{h + 4Kh^2}{L^2}$$

$$\frac{dh + 4K_t h^2}{L^2}$$

- زه کشی در شرایط غیر ماندگار
- سطح ایستابی نزول کننده:

چنانچه  $L \gg h < d$  باشد جریان آب به طرف زه کشها اساساً افقی بوده و از معادلات زیر پیروی می کند (به شکل ۹-۷ رجوع کنید) .

$$Q_x = KD_h \frac{\delta h_x}{\delta x}$$



(قانون دارسی با توجه به شرایط دو پویی - فورشایمر نوشته شده است . مقایسه کنید با مشتق معادله ۲-۷)

$$\mu \frac{\delta h_x}{\delta t} \Delta x = Q_{x+\Delta x} + q \cdot \Delta x - Q_x$$

(معادله بیلان آب برای جزء  $\Delta x$  که در آن  $\mu$  پارامتر مربوط به منافذ قابل زه کشی یا تخلخل قابل زه کشی است)

$$\frac{\delta Q_x}{\delta x} + q = \mu \frac{\delta h_x}{\delta t} \quad \text{حد این معادله در صورتی که } \Delta x \rightarrow 0 \text{ عبارت است از :}$$

از ترکیب دو معادله (a) و (b) خواهیم داشت .  
معادله به نام معادله فورشایمر (Furrows) معروف است

$$\frac{\delta \left( KD_h \frac{\delta h_x}{\delta x} \right)}{\delta x} + q = \mu \frac{\delta h_x}{\delta t}$$

$$\frac{\delta h_x}{\delta t} = \frac{KD_h}{\mu} \cdot \frac{\delta^2 h_x}{\delta x^2} + \frac{q}{\mu}$$

بر اساس این معادله می توان موقعیت سطح ایستابی را در شرایطی که تغذیه به صورت غیرماندگار باشد به دست آورد .

اگر از معادله انتگرال گرفته شود به ازاء  $q = 0$  (تغذیه صورت نگیرد) و شرایط مرزی زیر ؛

$$t = 0; \quad h_x = h_0 \quad (\text{به ازاء تمام مقادیر } x) \quad (a)$$

(یعنی در زمان صفر سطح ایستابی افقی بوده و در تمام نقاط ارتفاع سطح ایستابی به اندازه  $h_0$  بالای تراز مبنای زه کش قرار گرفته باشد) .

$$t > 0; \quad h = 0 \quad \text{در } x = 0 \quad (b)$$

$$x = L$$

(یعنی بلافاصله پس از شروع  $t > 0$  سطح آب در محل زه کشها به صفر برسد)

معادله ای به دست می آید که به نام معادله گلوور - دام (Glover - Dumm) معروف بوده و به وسیله آن می توان سرعت یا میزان افت سطح ایستابی را پس از آن که بنا به دلایلی (مثلاً آبیاری مزرعه) سطح آب سریعاً بالا آمده و در ارتفاع  $h_0$  بالای تراز مبنای زه کش قرار می گیرد محاسبه نمود .

در این شرایط معمولاً سطح ایستابی بلافاصله پس از رگبار یا آبیاری بالا می آید و سپس به تدریج افت پیدا می کند .

$$\frac{h_t}{h_0} = 1.16e^{-\alpha t}$$

بنا به معادله «گلوور - دام» ارتفاع آب در نقطه وسط بین دوزه کش ( $h_t$ ) در زمان  $t$  نسبت به  $h_0$  عبارت است از :

$$\alpha = \frac{10Kd}{\mu L^2}$$

در این فرمولها :  $t =$  زمان (روز)

$h_0 =$  بار اولیه سطح ایستابی در زمان  $t = t_0$  (بر حسب متر)

$h_t =$  بار سطح ایستابی در زمان  $t$  (بر حسب متر)

$\alpha =$  ضریب عکس العمل ( $\text{days}^{-1}$ )

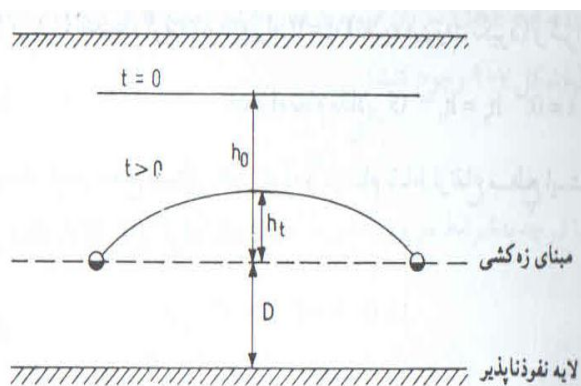
$\mu =$  تخلخل قابل زه کشی ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )

$L =$  فاصله بین زه کشها (m)

$d =$  عمق معادل تالایه غیر قابل نفوذ (m)

$K =$  ضریب هدایت هیدرولیکی ( $\text{m} \cdot \text{day}^{-1}$ )





شکل (۷-۱۰) شرایط مرزی و پارامترهایی که در معادله گلوور - دام در حالت غیرماندگار به کار برده شده است

$$\frac{h_t}{h_0} = 1.16e^{-\alpha t}$$

$$L^2 = \frac{10Kdt}{\mu} \left[ \ln 1.16 \frac{h_0}{h_t} \right]^{-1}$$

با فرض این که ، در زمانی که تغذیه صورت نمی گیرد ، مقدار دبی خروجی (q) بستگی به سرعت افت سطح ایستابی  $\left(\frac{dh}{dt}\right)$  دارد می توان معادله مشابهی را به دست آورد که به نام معادله بوور شیلف گارد (Bouwer - Schilf gaarde) معروف است .

$$q = -C\mu \frac{dh}{dt}$$

در این معادله ضریب همبستگی از دو جزء

$\mu$  (منافذ قابل زه کشی)  $C$  (ضریب تصحیح

ضریب C برای h در نقطه وسط بین دوزه کش حدود ۰/۷ تا ۰/۹ می باشد

$$\left. \begin{aligned} q &= -C\mu \frac{dh}{dt} \\ q &= \frac{8Khd}{L^2} \end{aligned} \right\} \longrightarrow dt = \frac{-C\mu L^2}{8Khd} dh$$

$$dt = \frac{-C\mu L^2}{8Kh d} dh$$

اگر بین دو حد  $t = t$  ،  $t = h_1$  و  $t = 0$  ،  $h = h_0$  انتگرال گرفته شود

(پس از جابجایی های لازم و فرض  $C = 0.8$ ) خواهیم داشت :

$$L^2 = \frac{10Ktd}{\mu} \left[ \ln \frac{h_0}{h_t} \right]^{-1}$$



$$L^2 = \frac{10Kdt}{\mu} \left[ \ln 1.16 \frac{h_0}{h_t} \right]^{-1}$$

$$q = -C\mu \frac{dh}{dt}$$

ترکیب دو معادله

$$q = \frac{8Kh(d + h/2)}{L^2}$$

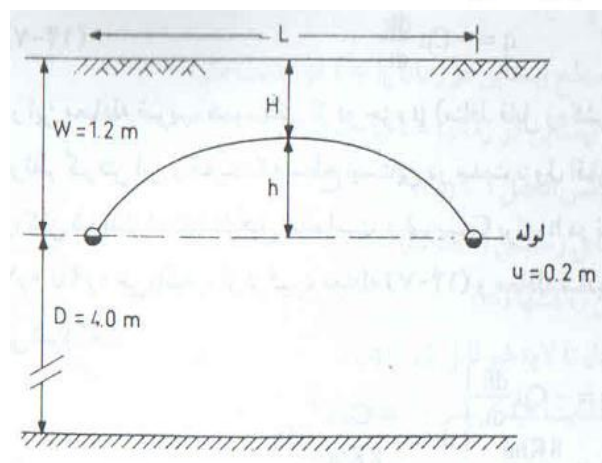


$$L^2 = \frac{10Ktd}{\mu} \left[ \ln \frac{h_0(2d + h_t)}{h_t(2d + h_0)} \right]^{-1}$$

**مثال**

داده ها : شرایط مشابه شکل زیر (حالت غیرماندگار) و معیارهای طراحی

عبارتنداز :



$$\begin{aligned} t = 0; \quad H_0 &= 0\text{m} \\ t = 4; \quad H_4 &= 0.8\text{m} \end{aligned} \quad (\text{سطح ایستابی متطبق با سطح خاک می باشد})$$

معیارهای اساسی طرح دلالت بر این دارد که سیستم باید قادر باشد در مدت ۴ روز سطح ایستابی را به عمق ۰٫۸ متری سطح خاک برساند .

$$\left. \begin{aligned} h_0 &= W - H_0 = 1.2\text{m} \\ h_4 &= W - H_4 = 0.4\text{m} \end{aligned} \right\} \quad \frac{h_4}{h_0} = \frac{0.4}{1.2} = 0.33$$

(الف) راه حل مستقیم

$$\frac{h_t}{h_0} = 1.16e^{-\alpha t} \quad \rightarrow \quad \alpha t = -\ln \frac{0.33}{1.16} = 1.24 \quad \rightarrow \quad \alpha = \frac{1.24}{4} = 0.31$$

$$\alpha = \frac{10Kd}{\mu L^2} = 0.31 \quad \mu = 0.05 \quad \text{و} \quad K = 2.0 \quad L^2 = 1290 \times d$$

$$L = 30\text{m} \dots\dots d = 2.20\text{m}$$

آزمون اول :

$$L = \sqrt{1290 \times 2.20} = 53.3\text{m}$$

$$L = 60\text{m} \dots d = 2.84 \quad (\text{از جدول ۷-۱})$$

آزمون دوم :

$$L = \sqrt{1290 \times 2.84} = 60.5\text{m}$$

پس جواب مسأله  $L = 60\text{m}$  است

### (ب) راه حل غیر مستقیم

معادله گلوور - دام و فرمول هوخهات را می توان در رابطه با همدیگر به کار برد و شرایط غیر ماندگار را به صورت ماندگار حل کرد .

$$\left. \begin{array}{l} \text{فرمول هوخهات} \quad L^2 = \frac{8Khd}{q} \\ \text{فرمول گلوور - دام} \quad L^2 = \frac{10Kd}{\alpha\mu} \end{array} \right\} \longrightarrow \frac{h}{q} = \frac{10}{8\alpha\mu}$$

$$\frac{h}{q} = 80.65 \leftarrow \mu = 0.05 \text{ و } \alpha = 0.31 \text{ به ازاء}$$

$$L^2 = 8Kd \frac{h}{q} \quad \text{در معادله هوخهات}$$

$$L^2 = 1290 \times d \quad \text{به ازاء } K = 2$$

از طریق آزمون و خطا مقدار  $L = 60m$  به دست می آید .

### سطح ایستابی متغیر (فرمول دو زو و هلین گا)

معادله ساده شده هوخهات را می توان برای نشان دادن رفتار غیر ماندگار

سطح ایستابی نسبت به آبیاری یا باران به کار برد .

$$q = \frac{8Kd}{L^2} \cdot h$$

اگر از طرفین معادله نسبت به زمان (t) مشتق بگیریم خواهیم داشت ،

$$\frac{dq}{dt} = \frac{8Kd}{L^2} \cdot \frac{dh}{dt}$$

چنانچه تغذیه آب زیرزمینی از بارندگی یا منبع دیگری مانند آبیاری (R) و تخلیه آن از طریق زه کشها (q) صورت گیرد بدیهی است که هدف  $(R - q) > 0$  باشد سطح ایستابی بالا می آید و هر زمان که  $(R - q) < 0$  گردد سطح ایستابی پایین خواهد رفت.

$$q = -C\mu \frac{dh}{dt} \quad \longrightarrow \quad \frac{dh}{dt} = \frac{(R - q)}{C\mu}$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{(R - q)}{C\mu} \quad \text{و با فرض } C = 0.8 \quad \longrightarrow \quad \frac{dq}{dt} = \frac{10Kd}{\mu L^2} (R - q) = \alpha(R - q)$$

$$\frac{dq}{dt} = \frac{8Kd}{L^2} \cdot \frac{dh}{dt}$$

$$\int_{q_{t-1}}^q \frac{dq}{(R - q)} = \int_{t-1}^t \alpha dt \quad \longrightarrow \quad \frac{(R - q)_t}{(R - q)_{t-1}} = e^{-\alpha \Delta t}$$

$$\frac{(R - q)_t}{(R - q)_{t-1}} = e^{-\alpha \Delta t} \quad q_t = q_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + R_{\Delta t} \cdot (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

در این معادله  $R_{\Delta t}$  میانگین R در طول مدت  $t-1$  تا  $t$  ثابت فرض شده است

$$\left. \begin{array}{l} \text{فرمول هوخها} \quad L^2 = \frac{8Khd}{q} \\ \text{فرمول گلوور-دام} \quad L^2 = \frac{10Kd}{\alpha\mu} \end{array} \right\} \quad \longrightarrow \quad \frac{h}{q} = \frac{10}{8\alpha\mu} \quad q = 0.8\alpha\mu h$$

$$q_t = q_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + R_{\Delta t} \cdot (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

$$h_t = h_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + \frac{R_{\Delta t}}{0.8\mu\alpha} (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$



برای حل مسأله در شرایط غیرماندگار زمان را به دوره های کوچک  $\Delta t$  تقسیم نموده

$$h_t = h_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + \frac{R \Delta t}{0.8 \mu \alpha} (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

و فرض می شود که در هر دوره مقدار تغذیه  $R_{\Delta t}$  ثابت است .

طول مدت این دوره ها یک روز ( $\Delta t = 1$ ) در نظر گرفته می شود

(اگر برای  $t$  واحد روز به کار برده شود  $\alpha \Delta t$  بدون بعد خواهد بود زیرا معادله ابعادی  $\alpha$  ،  $\text{day}^{-1}$  می باشد) .

معمولاً اولین بارانی که پس از یک دوره خشکی صورت می گیرد رطوبت آن در خاک نگهداشته می شود و تا زمانی که خاک بالای سطح ایستابی به رطوبتی معادل ظرفیت زراعی نرسد سطح سفره آب بالا نخواهد آمد .

#### • ضریب عکس العمل ( $\alpha$ )

- شاخص است که نشان دهنده رفتار یا تغییرات دبی زه کش در اثر میزان تغذیه می باشد.
- مقدار آن برای زمین هایی که عکس العمل آنها کم است
- (مقدار کوچک KD، فاصله زیاد زه کش ها، بالا بودن تخلخل قابل زه کشی) مقدار 0.2-0.3
- مقدار آن برای زمین هایی که عکس العمل آنها زیاد است
- (مقدار بزرگ KD، فاصله کم زه کش ها، پایین بودن تخلخل قابل زه کشی) مقدار 2-5 می باشد

#### • تعیین ضریب عکس العمل ( $\alpha$ )

- بهترین روش برای تخمین ضریب عکس العمل مشاهده عینی عکس العمل شبکه در مزرعه است.
- در زمانی که میزان تغذیه صفر است ( $R=0$ )

$$h_t = h_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + \frac{R \Delta t}{0.8 \mu \alpha} (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

$$q_t = q_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + R_{\Delta t} \cdot (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

$$\alpha = \frac{\ln q_{t-1} - \ln q_t}{\Delta t} = 2.30 \frac{\log q_{t-1} - \log q_t}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{\ln h_{t-1} - \ln h_t}{\Delta t} = 2.30 \frac{\log h_{t-1} - \log h_t}{\Delta t}$$

### • ضریب عکس العمل ( $\alpha$ )

مقادیر مشاهده شده  $q_t$  و  $h_t$  را می توان روی یک کاغذ لگاریتمی که محور افقی آن زمان ( $t$ ) باشد رسم کرد .

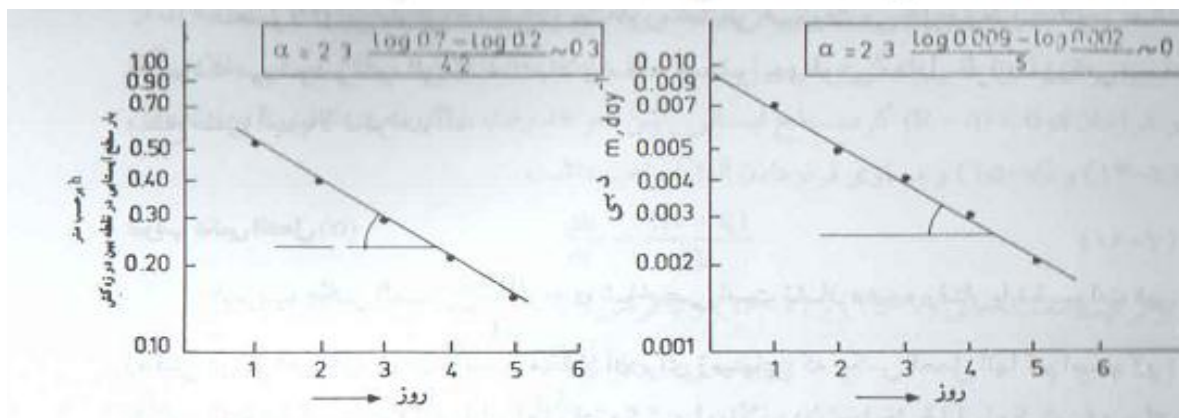
بهتر است اندازه گیری یا مشاهده دبی و سطح ایستابی

اولاً زمانی صورت گیرد که تبخیر از سطح زمین کم باشد

ثانیاً چند روز بارندگی خوب به صورت مداوم باریده باشد

ثالثاً اندازه گیری بلافاصله پس از پایان گرفتن بارندگی

یعنی از زمانی که سطح ایستابی شروع به افت می کند آغاز گردد



شکل (۷-۱۱) تعبیین ضریب عکس العمل ( $\alpha$ ) از طریق اندازه گیری سطح

ایستابی و دبی زه کش در زمان فروکش نمودن سطح آب

## • مثال

$$W = 1.20m$$

$$L = 40m$$

$$Kd = 2.5m^2 \cdot day^{-1}$$

$$\mu = 0.05m^3 \cdot m^{-3}$$

$$\alpha = \frac{10Kd}{\mu L^2} = \frac{10 \times 2.5}{0.05 \times 1600} = 0.31$$

$$\Delta t = 1.0day$$

سیستم زه کشی با لوله های موازی با شرایط

در شروع بارندگی (روز 0) بار سطح ایستابی ۰٫۱ متر است .

$$H = W - h = 1.20 - 0.10 = 1.10m$$

سطح ایستابی در نقطه وسط بین دو لوله

$$q = \frac{8Kdh}{L^2} \longrightarrow q = \frac{8 * 2.5 * 0.1}{1600} = 0.001 m \cdot day^{-1}$$

دبی خروجی از زه کش

با فرض اینکه درصد رطوبت لایه خاکی که بالای زهکش قرار گرفته است با ذخیره

۱۵ میلیمتر آب به حد ظرفیت زراعی برسد و مقدار تبخیر و تعرق نیز کم و در حد ۱

تا ۲ میلیمتر در روز باشد

تمام بارندگی در خاک نفوذ کرده و آب اضافی وارد سفره زیر زمینی می شود

در روز اول ۱۵ میلیمتر ذخیره و یک میلیمتر تبخیر می شود

روز	بارندگی (P, m)	تبخیر و تعرق (E, m)	تغذیه (R, m)	بار سطح ایستابی (h, m)	جریان خروجی از زه کش ۲ (q, m.day <sup>-1</sup> )
0				0.10	0.001
1	0.020	0.001			
2	0.020	0.001			
3	0.010	0.002			
4	0.025	0.001			
5	0.005	0.002			
6		0.002			
7		0.002			
8		0.002			
9		0.02			
10		0.002			

$$R_1 = 20 - 15 - 1 = 4mm$$

$$R_2 = 20 - 1 = 19mm$$

$$R_n = P_n - ET_n$$



$$e^{-\alpha \Delta t} = e^{-0.31} = 0.73$$

$$(1 - e^{-\alpha \Delta t}) = 0.27$$

$$0.8\mu\alpha = 0.012$$

$$h_t = h_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + \frac{R \Delta t}{0.8\mu\alpha} (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

$$q_t = q_{t-1} e^{-\alpha \Delta t} + R_{\Delta t} (1 - e^{-\alpha \Delta t})$$

$$t = 1: h_1 = (0.10 \times 0.73) + \left( \frac{0.004}{0.012} \times 0.27 \right) = 0.073 + 0.090 = 0.16$$

$$\text{برای } t = 1: q_1 = (0.001 \times 0.73) + (0.004 \times 0.27) = 0.002$$



$$\text{برای } t = 2: h_2 = (0.16 \times 0.73) + \left( \frac{0.019}{0.012} \times 0.27 \right) = 0.117 + 0.427 = 0.54$$

$$\text{برای } t = 2: q_2 = (0.002 \times 0.73) + (0.019 \times 0.27) = 0.007$$

روز	بارندگی (P, m)	تبخیر و تعرق (E, m)	تغذیه (R, m)	بار سطح ایستایی ۱ (h, m)	جریان خروجی از زه کش ۲ (q, m.day <sup>-1</sup> )
0				0.10	0.001
1	0.020	0.001	0.004	0.16	0.002
2	0.020	0.001	0.019	0.54	0.007
3	0.010	0.002	0.008	0.57	0.007
4	0.025	0.001	0.024	0.96	0.012
5	0.005	0.002	0.003	0.77	0.010
6		0.002		0.56	0.007
7		0.002		0.41	0.005
8		0.002		0.30	0.004
9		0.02		0.22	0.003
10		0.002		0.16	0.002 <sup>3</sup>

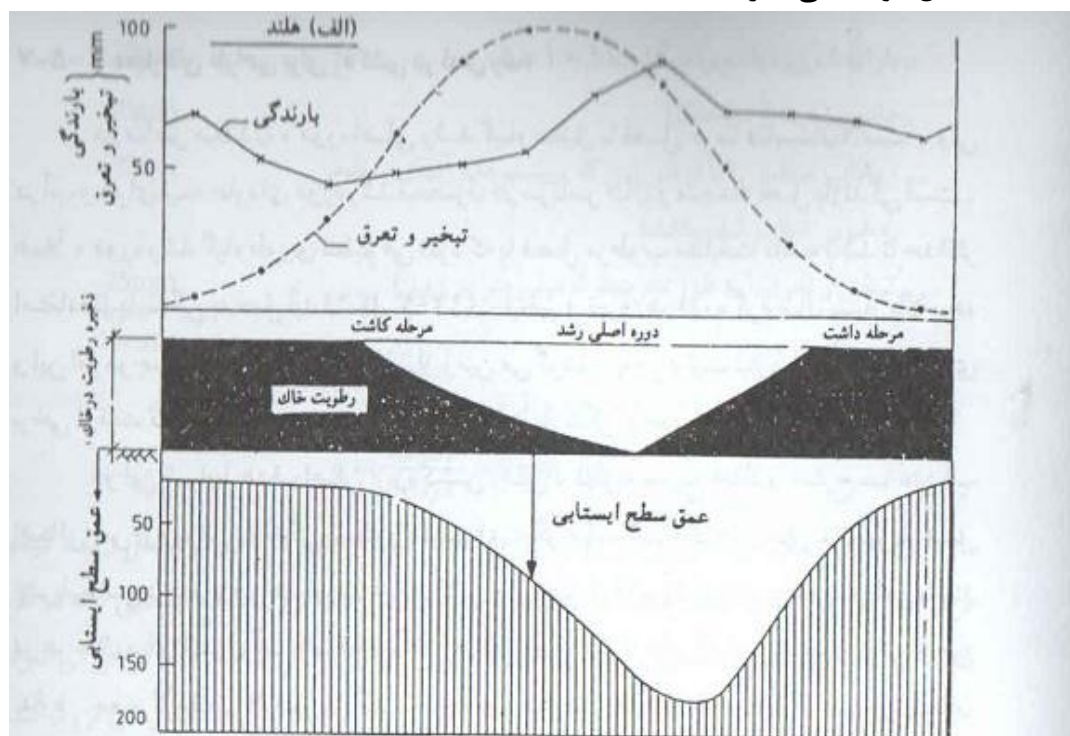
### • معیارهای اساسی طرح

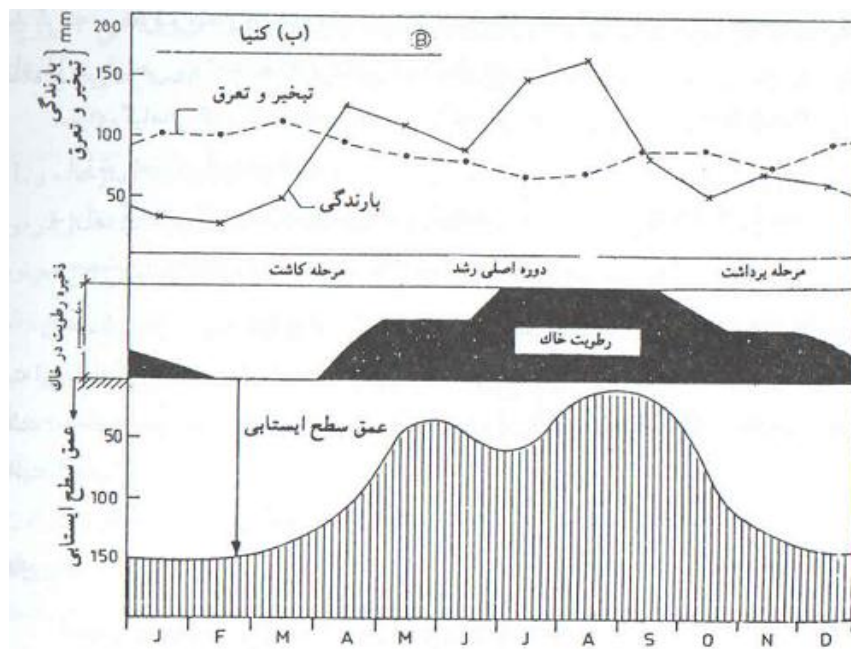
برخی از هدفهای معمول در ایجاد سیستمهای زه کش عبارتند از :

- بهبود وضعیت تهویه در منطقه توسعه ریشه ها .
- فراهم کردن هرچه زودتر امکان کار در روی زمین پس از بارندگیها .
- گرم شدن هرچه سریعتر زمین در اوایل بهار .
- تشدید فرایندهای بیولوژیکی ، بیوشیمیایی و میکروبیولوژیکی خاک به خصوص در رابطه با ازت و قابل استفاده کردن آن برای گیاه .

### • معیارهای طراحی برای فصل غیر زراعی

- در اکثر شرایط مرطوب و معتدل شمال غربی اروپا (مقدار بارندگی سالانه بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ میلیمتر) مورد استفاده قرار می گیرد.
- در طول فصل زمستان بارندگی بیشتر از تبخیر است و سطح ایستابی شروع به بالا آمدن می کند.
- اما در این فصل چون کمتر محصولی بر روی زمین است که مورد خسارت واقع گردد.
- اما اگر ماندابی شدن زیاد به طول انجامد بر ساختمان خاک و موجودیت مواد غذایی آن در فصل رشد بعدی تاثیر منفی خواهد داشت
- همچنین ماندابی شدن در اواخر زمستان یا اوایل بهار زمان کشت را به تعویق انداخته و تهویه خاک را با اشکال مواجه می سازد





- در فصل تابستان میزان تبخیر بیشتر از بارندگی می باشد و سطح ایستابی نزول می کند.
- در پاییز مقدار بارندگی افزایش می یابد، سطح ایستابی نیز بالا آمده و برداشت محصول در این مرحله ممکن است با اشکالاتی مواجه گردد.
- در هر حال خطرانی که در این مرحله از فصل رشد متوجه گیاه می شود نسبت به فصل بهار کمتر است.
- برای کنترل سطح ایستابی در اواخر زمستان و اوایل بهار معیارهایی که در کشورهای شمال غرب اروپا به کار می رود بر اساس معیار  $h/q$  می باشد.
- از معادله ساده شده هوخهات می توان چنین استنباط کرد که در یک سیستم زهکشی مشخص مقدار  $h/q$  مقدار ثابتی است

$$\frac{h}{q} = \frac{L^2}{8Kd}$$

- این مقدار مشخص کننده شدت زه کشی یا درجه کنترل سطح ایستابی در سیستم می باشند.
- اگر در سیستمی  $h/q$  مقدار کوچکتری باشد خواهد توانست مقادیر زیاد تغذیه را کنترل نموده و سطح ایستابی را در تراز پایین تری نگهدارد.
- برای شرایط شمال غربی مقدار ۵۵ تا ۱۰۰ کفایت می کند.

جدول (۳-۷) معیارهای اساسی طراحی که معمولاً در زه کشی نواحی مختلف شمال غربی اروپا به کار برده می شود .

بالا آمدن سطح ایستایی تا سطح شاک	$h/q$ (روز)	$h = W - H$ (m)	$H$ (m)	$q$ (m.day <sup>-1</sup> )	
گیاهان مقاوم					
پنک یا دو بار در سال	85-100	0.60-0.70	0.30-0.40	0.007	یا کم ارزش (اکثر گونه های چمنی)
گیاهان حساس یا					
پنک بار در سال	55-70	0.40-0.50	0.50-0.60	0.007	گیاهان با ارزش
	70	0.50	0.50	0.007	شرایط متوسط

توجه : ارقام این جدول برای عمق مبنای زه کشی ۱ متر ( $W = 1m$ ) و تخلخل منافذ قابل زه کشی ۵ درصد ( $\mu \sim 5\%$ ) صادق است .

### • معیارهای طراحی برای زه کشی در فصل رشد

- در این شرایط هدف از زه کشی تهویه سریع خاک و خارج ساختن اب اضافی پس از ریزش بارندگی است.
- معمولاً  $H$  کمی بزرگتر از آنچه در معیارهای طراحی در خارج فصل رشد بیان شد گرفته می شود مقدار آن حدوداً برابر عمق توسعه ریشه ها در نظر گرفته می شود.
- مقدار  $q$  از روی بارانهای ۵ روزه با دوره بازگشت ۱ تا ۲ سال به دست می آید. البته این بارندگی باید در رابطه با دوره بحرانی گیاه (فصل رشد) باشد. ذخیره رطوبت و تبخیر تعرق باید از مقدار بارندگی کاسته شود.
- در عمل:

$$H = 0.50m$$

- برای گیاهانی که ریشه سطحی دارند و یا گیاهانی که ارزش تجارتي آنها کم است .

$$H = 0.75-1.00m$$

- برای گیاهانی که ریشه عمیق دارند و یا گیاهان حساس و محصولاتى که ارزش تجارتي آنها بالاست .

### • مثال



معیارهای طراحی برای زه کشی در فصل رشد سبزیجات :

– (گیاه از نوع حساس ، با ارزش و دارای ریشه های سطحی است)  $H = 0.50m$

120mm	– باران ۵ روزه با دوره برگشت $1 \times 1$ سال
-30mm	– ذخیره (عمدتاً در خاک)
-20mm	– رواناب سطحی (با فرض این که سینسزم دفع آبهای سطحی به خوبی تنظیم شده باشد)
-25mm	– تبخیر و تعرق (به طور متوسط ۵ میلی متر در روز)
45mm	

بنابر این دبی تخلیه (q) عبارت است از :  $q = \frac{45mm}{5days} = 9mm \cdot day^{-1}$

### • راه حل دیگر

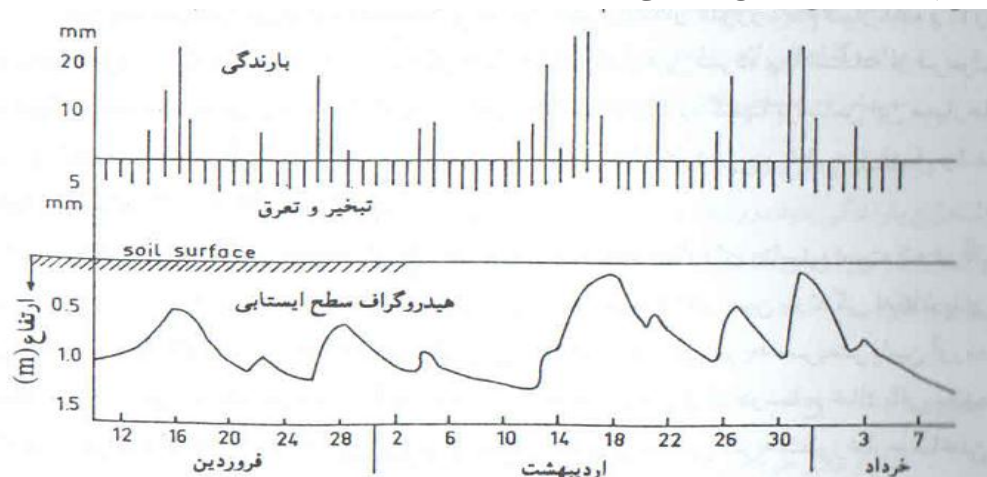
- تعیین معیارهای طراحی در فصل رشد گیاه فرموله کردن آن به صورت غیر ماندگار می باشد.
- در این صورت سرعت نزول سطح ایستابی مقداری قابل قبول در نظر گرفته شود. این پارامترها را می توان مستقیماً در فرمول غیر ماندگار گلوور-دام قرار داده و فاصله زه کش ها را محاسبه نمود و یا آنها را به پارامترهای حالت ماندگار تبدیل نموده و با استفاده از فرمول هوخهات فاصله زه کش ها را به دست آورد. روش غیر ماندگار غالباً برای شرایط حاره ای و نیمه حاره ای مناسب است که در آن بارندگی ها شدید بوده و تثبیت سطح ایستابی در زیر لایه ریشه ها در حین بارندگی امکان پذیر نمی باشد.
- فقط لازم است که پس از بارندگی سطح ایستابی به سرعت پایین آورده شود.
- در این موارد به دلیل رواناب شدید علاوه بر زه کش زیر زمینی، زه کش های سطحی هم به منظور خارج ساختن رواناب سطحی احداث می گردد

جدول (۷-۴) معیارهای زه کشی در فصل رشد گیاه در حالت غیرماندگار

	گیاهانی که ارزش تجارتي بالایی دارند			گیاهان مقاوم و یا گیاهانی که ارزش تجارتي آنها کم است		
	H = 0.00m	روز	t = 0	H = 0.00m	روز	t = 0
عمق توسعه ریشه ها کم	H = 0.20m	روز	t = 1	H = 0.20	روز	t = 2
	H = 0.35m	روز	t = 2	H = 0.35	روز	t = 4
عمق توسعه ریشه ها معمولی تا زیاد	H = 0.30m	روز	t = 1	H = 0.30	روز	t = 2
	H = 0.50m	روز	t = 2	H = 0.50	روز	t = 4

- **تعیین معیارهای طراحی به طریق شبیه سازی**

- ترسیم هیدروگراف سطح ایستابی به ازاء مقادیر  $q$  و  $H$  در یک دوره آماری بلند مدت (۲۰ ساله)



شکل (۷-۱۳) هیدروگراف سطح ایستابی (شبیه سازی شده)

- **تعیین معیارهای طراحی به طریق شبیه سازی**

- ترسیم جدول فراوانی وقوع بارندگی برای فصل رشد یا فصل غیر زراعی و یا مرحله مشخص از رشد که هر کدام نیازهای زه کشی خاصی دارند

جدول (۷-۵) میانگین تعداد روزهای هر سال که در آن سطح ایستابی در فصل رشد گیاه در محدوده ذکر شده نسبت به سطح زمین قرار می گیرد (عمق مبنای زه کش  $W = 1.0m$  است).

عمق سطح ایستابی نسبت به سطح زمین	$q = 7mm.day^{-1}$ $H = 0.30m$	$q = 7mm.day^{-1}$ $H = 0.50m$	$q = 10mm.day^{-1}$ $H = 0.50m$
0.00m	روز 2	روز 1	روز 0
< 0.20m	روز 4	روز 2	روز 1
< 0.40m	روز 7	روز 5	روز 3
< 0.60m	روز 12	روز 7	روز 5

- با  $H=0.3m$  و  $q=7mm/day$

- ۱- سطح ایستابی در فصل رشد گیاه به مدت دو روز در هر سال تا سطح زمین بالا می آید
- ۲- ۴ روز از سال سطح ایستابی تا عمق ۰/۲ متری از سطح زمین قرار می گیرد.
- ۳- ۷ روز از سال تا عمق ۰/۴ متری بالا آمده و ۱۲ روز از سال در محدوده ۰/۶ متری قرار می گیرد
- ۴- در بقیه مواقع سال پایین تر از عمق ۰/۶ متری است

- اگر گیاهی که قرار است کشت شود بتواند بالا بودن سطح ایستابی را به مدت یک تا دو روز در سال تحمل کند معیارهای  $q=7\text{mm/day}$  و  $H=0.5\text{m}$  می تواند مورد قبول واقع گردد

### • وابستگی معیارهای طراحی به حجم منافذ قابل زه کشی و عمق مبنای زه کشی

جدول (۶-۷) راهنمای تصحیح دبی تخلیه (q) زه کشهای زیرزمینی برای مقادیر مختلف حجم منافذ قابل زه کشی ( $\mu$ ) و عمق مبنای زه کشی (W)

	W			
	عمق مبنای زه کشی			
	0.70m	1.00m	1.50m	2.00m
$\mu = 5\%$	$1.5 \times q$	$q^*$	$0.8 \times q$	$0.60 \times q$
$\mu = 10\%$	$1.2 \times q$	$0.8 \times q$	$0.65 \times q$	$0.5 \times q$
$\mu = 15\%$	$q$	$0.65 \times q$	$0.5 \times q$	$0.5 \times q$

\* در شرایط استاندارد  $W = 1.00\text{m}$  و  $\mu = 5\%$

برای عمق مبنای زه کشی بیشتر مقادیر کم  $q$  کفایت می کند  
هر چه تخلخل قابل زه کشی بیشتر باشد می توان مقادیر  $q$  را کمتر در نظر گرفت

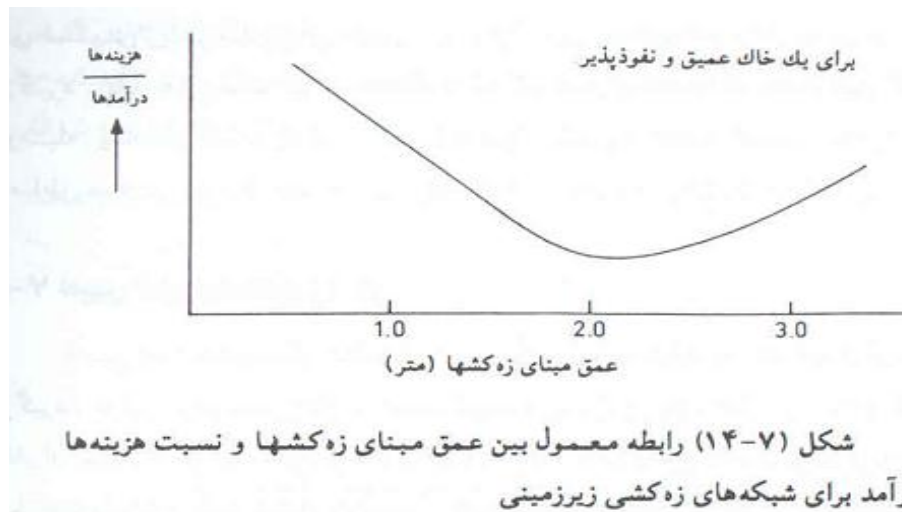
برای شرایط غیر استاندارد مانند  $w = 1.5\text{m}$  و  $\mu = 10\%$  چنانچه دبی شرایط استاندارد ۷ میلیمتر در روز باشد دبی تخلیه در شرایط غیر استاندارد را بدست آورید

$$q = 0.65q^* = 0.65 * 7 = 4.6 \text{ mm. day}^{-1}$$

### • عمق مبنای زه کش ها

- به ازای مقدار مشخص عمق سطح ایستابی (H) با افزایش عمق زه کش (W) بار سطح ایستابی (h) افزایش می یابد و می توان فاصله بین زه کش ها را بیشتر گرفت.
- با افزایش W می توان مقدار زیادتری رطوبت را در پروفیل خاک ذخیره نموده و  $q$  را کمتر گرفت.
- افزایش عمق مبنای زه کشی به معنای افزایش هزینه ها خواهد بود (به دلیل حفاری بیشتر و نصب لوله ها در اعماق بیشتر).
- تا عمق ۲-۵/۲ متری صرفه جویی حاصله از عریض شدن فاصله زه کش ها می تواند جوابگوی مخارج اضافی ناشی از عمیق شدن زه کش ها باشد.
- با افزایش عمق زه کش ها نسبت هزینه به درآمد شروع به افزایش می کند.

- به طور کلی زه کش ها را باید تا جایی که شرایط محلی اجازه می دهد (تا حد ۵/۲-۲ متری) عمیق نصب کرد



- **مهمترین شرایط محلی موثر در انتخاب عمق زه کش ها**
- **الف - عمق مبنای زه کشی در محل**
- عمق مبنای زه کشی در محل نمی تواند از رقوم مبنای زه کشی در آن محل کمتر باشد. اگر در شرایطی این حالت لتفاق نیفتد باید از پمپ استفاده شود
- **ب - نفوذ:** پایین بردن عمق زه کش ها باعث ایجاد تخلیه موضعی شده و اب مازاد به طرف آن جریان می یابد
- **ج - شرایط خاک:** لایه ای بودن خاک در یک عمق مشخص ممکن است مفید یا غیر مفید باشد
- لوله های زهکش را نباید روی لایه های شن ناپایدار یا خاک های تحکیم نشده و یا لایه هایی با نفوذ پذیری کم قرار گیرد.
- در شرایطی که ۲ تا ۵/۲ متری خاک نسبتا نفوذ ناپذیر رویی روی لایه ای از خاک نفوذ پذیر قرار گرفته باشد بهتر است زه کش ها کاملا در داخل لایه ای از خاک ناپذیر نصب شود.
- از طرف دیگر چنانچه لایه نفوذ پذیر در بالا و زیر آن لایه نفوذ ناپذیر باشد باید زه کش ها را در لایه اخیر نصب شود

- **مهمترین شرایط محلی موثر در انتخاب عمق زه کش ها**
- **د - خطر خشکی**
- زه کش های عمیق باعث تخلیه بیش از حد خاک شده و منطقه ریشه از رطوبت کمتری برخوردار خواهد بود.



- البته عمق زه کش های زیر زمینی بر اساس شرایط فصل مرطوب طراحی می گردد و اگر لازم بود در فصل تابستان زه کش ها مسدود نگهداشته می شوند تا از خروج اب جلوگیری شود
- ه- نوع ماشین آلات
- اکثر ماشین آلاتی که در مناطق معتدل به کار برده می شود قادر نیستند لوله ها را در عمق بیشتر از ۵/۱ متر نصب کنند.
- عمق کار این ماشین ها حدودا ۲/۱ - ۱ است.
- برای عمق های زیادتر ماشین های خاصی مورد نیاز است که تهیه آنها با هزینه بسیار زیاد صورت می گیرد.
- اگر عمق زه کش ها کم باشد خطر گرفتگی آنها به وسیله ریشه گیاهان زیاد است. لذا نباید عمق زه کش ها حداقل کمتر از ۷۵/ متر باشد.
- در مناطق سردسیر هم عمق نصب لوله ها فراتر از محدوده یخبندان خاک باشد

### • تعیین قطر لوله های زه کش

- در شرایط جریان یکنواخت

که در آن:

Q: دبی

I: شیب هیدرولیکی

d: قطر لوله

اگر جریان آب یکنواخت باشد ، برای محاسبه دبی در لوله های صاف از فرمول دارسی-وایسباخ (Darcy-Weisbach) و در لوله های موج دار از فرمول شزی-مانینگ (Chezy-Manning) استفاده می شود که عبارتند از :

$$Q = 50 d^{2.71} i^{0.57} \quad (۷-۲۱)$$

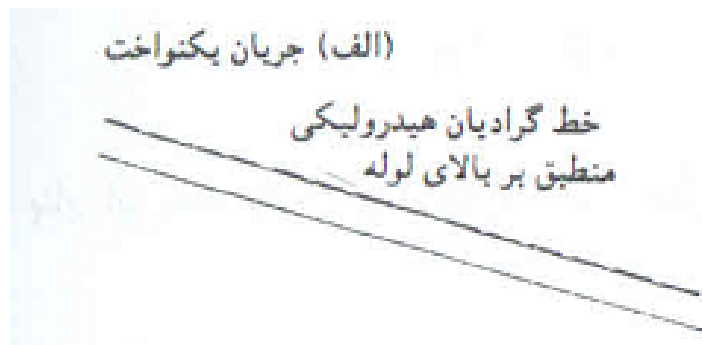
$$Q = 22 d^{2.67} i^{0.50} \quad (۷-۲۲)$$

معمولا به دلیل رسوب سیلت و مواد دیگر در داخل لوله ها توصیه می شود قطر آنها

بزرگتر انتخاب شود تا از نظر کشش آب در آینده اشکالی ایجاد نشود .

برای این منظور در فرمولهای بالا مقدار دبی Q در ضریبی که از ۱/۳۳ (برای لوله های پلاستیکی و خاکهای پایدار)

تا ۲ (برای لوله های سفالی و خاکهای ناپایدار سیلتی) متغیر است ضرب می شود .



معمولاً شیب هیدرولیکی مقدار ثابتی است و فرض می شود برای لوله هایی که دبی آنها معادل دبی طرح ( $Q_{design}$ ) است خط شیب هیدرولیکی منطبق بر خط بالای لوله باشد (به عبارت دیگر فرض می شود لوله پر از آب باشد بدون آن که فشار اضافی بر آن وارد گردد).

- تعیین قطر لوله های زه کش
- در شرایط جریان غیر یکنواخت

$$Q = 89 d^{2.71} i^{0.57} \text{ برای لوله های صاف}$$

که در آن:

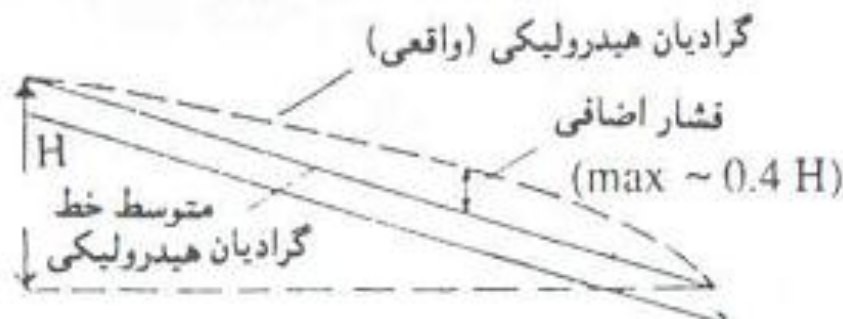
$Q$ : دبی

$i$ : شیب هیدرولیکی

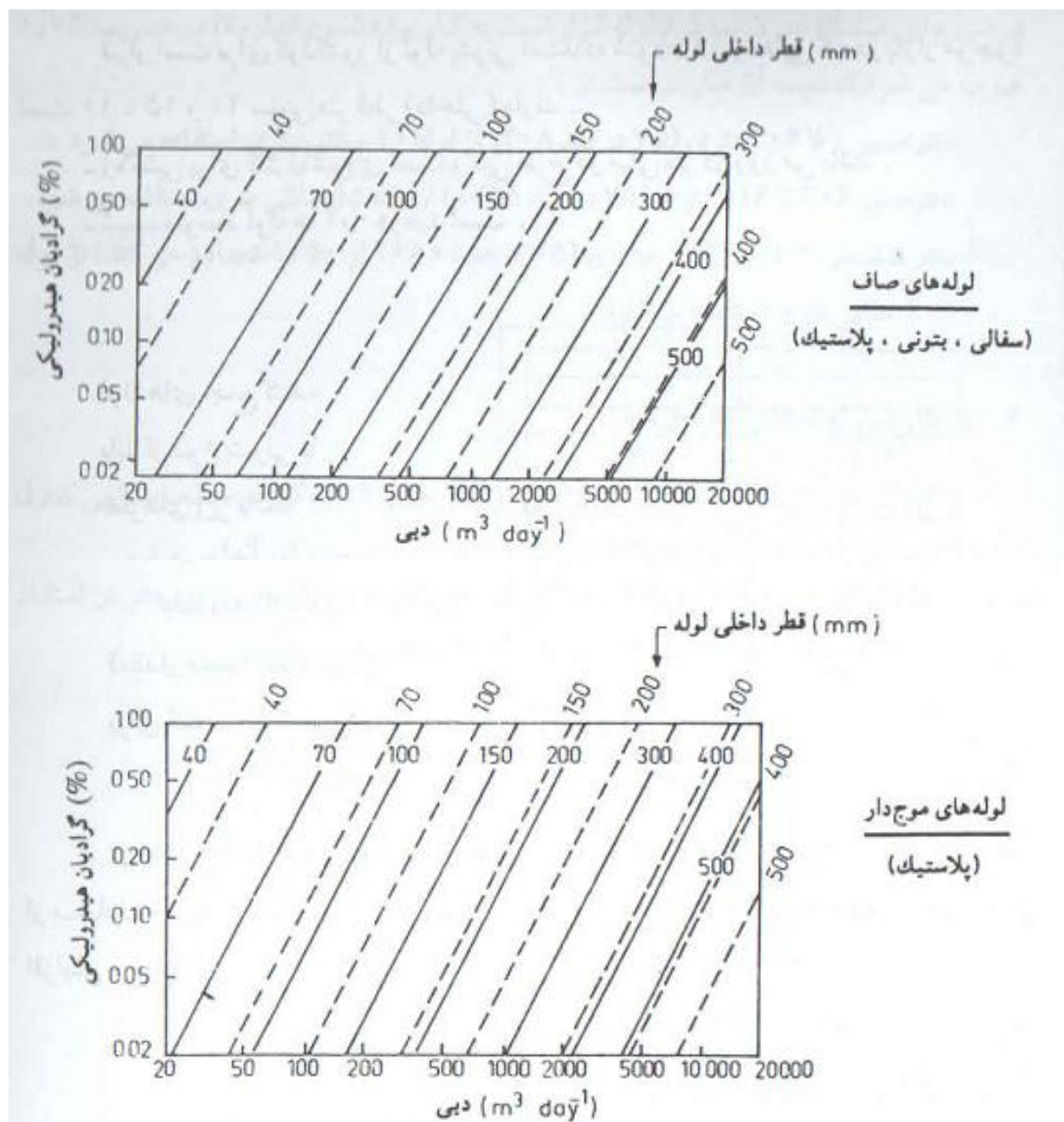
$d$ : قطر لوله

$$Q = 38 d^{2.67} i^{0.50} \text{ برای لوله های موج دار}$$

(ب) جریان غیر یکنواخت



مقایسه فرمولهای جریان در حالت یکنواخت و غیر یکنواخت نشان می دهد که مقدار دبی که یک لوله زه کش مزرعه با اندازه و شیب مشخص می تواند از خود عبور دهد حدوداً ۷۵ درصد بیشتر از لوله مشابهی است که در طول مسیر جریان ثابتی را عبور می دهد.



شکل (۷-۱۶) نوگرام تعیین قطر لوله

• مثال

شرایط مساله به شرح زیر است :

- لوله های کولکتور (جمع کننده ها) از نوع بتونی صاف .

- شیب خط لوله ۰/۱۰ درصد .

- زه آب حاصل از ۲۰ هکتار زمین به توسط زه کشهایی که براساس  $q = 5\text{mm.day}^{-1}$

طراحی شده اند خارج می گردد .

- از دبی لوله ها به دلیل رسوب گیری حدود ۲۵ درصد کاسته خواهد شد .

دبی لوله در انتهای خط عبارت است از :

$$Q = \frac{q \times A}{1000 \times 3600 \times 24} (\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1})$$

$$A = 200000\text{m}^2; q = 5\text{mm.day}^{-1}$$

$$Q = 0.0116\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$$

با در نظر گرفتن کاهش دبی به دلیل رسوب گذاری

$$Q_{\text{design}} = \frac{1}{0.75} (0.0116) = 0.0155\text{m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$$

از روی فرمول دارسی - ویسباخ قطر لوله محاسبه می شود که ،

$$Q_{\text{design}} = 50d^{2.71}i^{0.57}$$

$$d = \left[ \frac{0.0155}{50(0.001)^{0.57}} \right]^{\frac{1}{2.71}} = 0.217\text{m}$$

بنابر این باید لوله ای را انتخاب کرد که قطر داخلی آن ۲۲ سانتی متر باشد .

## • مثال

شرایط مسأله به شرح زیر است .

- سیستم زه کشی از نوع لوله های موازی با فاصله ۳۵ متر .

- نوع لوله های زه کش ، موج دار .

- طول لوله ها ، ۲۰۰ متر .

- دبی  $q = 5\text{mm.day}^{-1}$  .

- شیب خط لوله  $i = 0.10\%$  .

مقدار دبی در انتهای لوله (Q) از فرمول زیر محاسبه می گردد :

$$Q = \frac{q \times A}{1000} (\text{m}^3, \text{day}^{-1})$$

A سطح زمینی است که زه کشی می شود ( $\text{m}^2$ ) یعنی وسعت بین دو خط لوله زه کش . در مثال

$$A = 200 \times 35 = 7000\text{m}^2; q = 5\text{mm.day}^{-1} \quad \text{فوق:}$$

$$Q = 35\text{m}^3.\text{day}^{-1} \text{ یا } 0.0004\text{m}^3.\text{sec}^{-1}$$



اگر برای رسوب گذاری ۵۰ درصد دبی اضافه در نظر گرفته شود دبی طرح  $Q_{design}$  عبارت خواهد بود از :

$$Q_{design} = 2 \times 35 = 70 \text{ m}^3 \cdot \text{day}^{-1} \text{ یا } 0.0008 \text{ m}^3 \cdot \text{sec}^{-1}$$

$$Q_{design} = 38 d^{2.67} i^{0.50}$$

$$d = \left[ \frac{0.0008}{38(0.001)^{0.50}} \right]^{\frac{1}{2.67}} = 64 \text{ mm}$$

البته باید دید که قطر لوله های تولید شده چه قطری می باشد در عمل قطر لوله تجاری بزرگتر از قطر بدست آمده استفاده می شود در مورد این مثال قطر داخلی ۷۲ یا قطر خارجی ۸۰ میلیمتری استفاده می گردد.

#### • ترکیب لوله هایی که قطر متفاوت دارند

در مواردی لوله های کولکتور بزرگ از نظر اقتصادی قطر لوله در ابتدای مسیر کم و سپس با وارد شدن آب اضافی قطر لوله نیز افزایش داده می شود .  
روش کار به این طریق است که ابتدا

دو یا سه اندازه مختلف لوله مثلاً قطرهای ۱۰ و ۲۰ و ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته می شود .

سپس حداکثر طول لوله برای هریک از اندازه ها از روی معادلات مربوطه و داشتن دبی (q) و فاصله بین لوله ها به دست می آید .

اگر فقط از دو نوع لوله قرار است استفاده شود حداکثر طول محاسبه شده را در ضریب ۰/۸۵

و اگر سه اندازه لوله مورد نظر می باشد حداکثر طولهای

به دست آمده را در ضریب ۰/۷۵ ضرب می کنیم تا طول هر قطعه به دست آید

قرار است برای کولکتور از لوله بتونی استفاده شود . اندازه هایی که در بازار موجود است ۱۰ ، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر قطر (داخلی) دارند .  
 -زه کشی برای کنترل شوری است و دبی طرح دو میلی متر در روز می باشد .  
 -شیب متوسط لوله ها ۰/۲ درصد است .



لوله های جمع کننده  
 باید از نوع بتونی با  
 قطرهای زیر باشد

ID = 10, 15 و 20cm

$q = 2.0 \text{ mm} \cdot \text{day}^{-1}$

(مقدار معمول در زه کشی

برای کنترل شوری)

$i = 0.2\%$

در ابتدا حداکثر طول ممکن برای هریک از قطرهای موجود محاسبه می شود . با استفاده از معادله جریان غیریکنواخت و فرض این که دبی لوله در طول کولکتور به طور خطی افزایش می یابد .

قطر لوله (سانتی متر)

10      15      20

434      1302       $2839 \text{ m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$

حداکثر دبی لوله ها (بدون در نظر گرفتن رسوب)

$$Q_{\text{design}} = 89 d^{2.71} i^{0.57}$$

326      977       $2129 \text{ m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$

در نظر گرفتن ۲۵ درصد کاهش دبی به دلیل

رسوب گذاری  $Q = 0.75 \times Q_{\text{design}}$

163000 480000 1064500  $\text{m}^2$

سطح زه کشی  $A = (1000 Q)/q$

408      1221      2661 m

حداکثر طول لوله زه کش  $A/400$

در مورد این مسأله چون سه نوع لوله قرار است به کار برده شود اندازه ها در ضریب  $0.75$  ضرب می شود که نتیجه آن عبارت است از :

- در مسیر  $0$  تا  $306$  متری ( $75$  درصد  $408$ ) از لوله  $10$  سانتی متری استفاده می شود .

- در مسیر  $306$  تا  $916$  متری ( $75$  درصد  $1221$ ) از لوله  $15$  سانتی متری استفاده می شود .

- در مسیر  $916$  تا  $1750$  متری ( $75$  درصد  $2661$  از  $1750$  تجاوز می کند) از لوله

$20$  سانتی متری استفاده می شود .