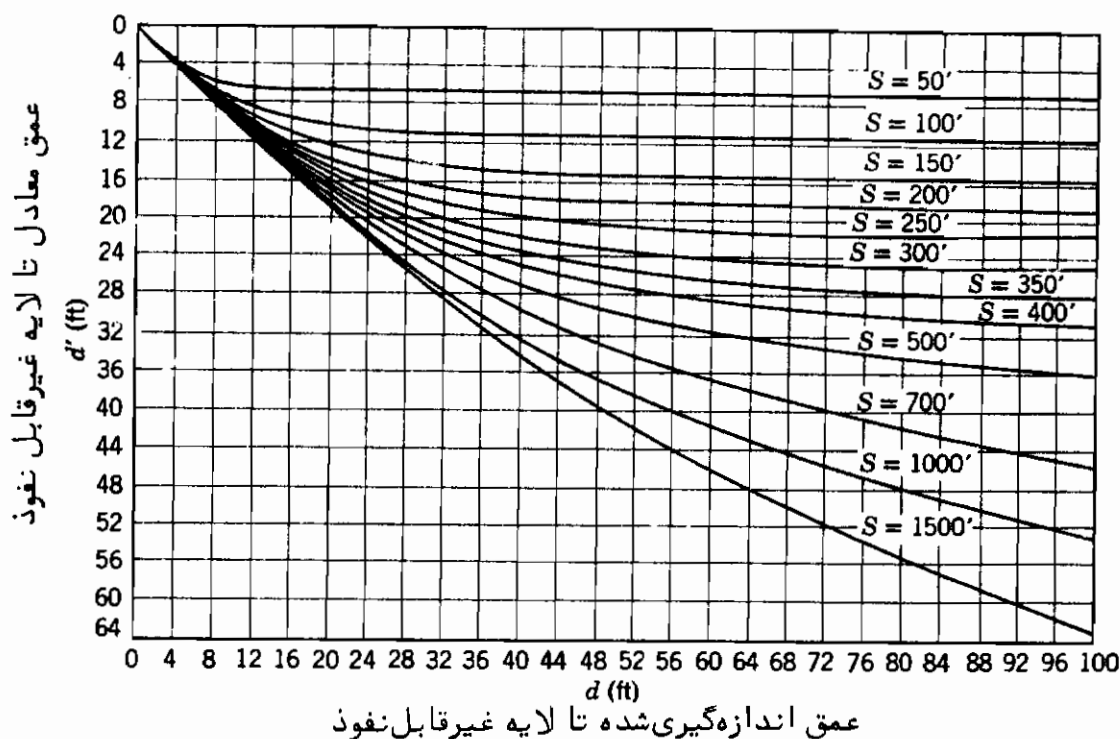


آب می‌پردازیم .

رطوبت خاک در زمان بارندگی: قبل از آن که آب به داخل خاک نفوذ کند و به لایه آبدار برسد لازم است که خاک بالای سطح ایستابی اشباع گردد . بنابراین مقدار رطوبت خاک در شروع بارندگی در تعیین مقدار و زمانی که لازم است آب به سفره آب زیرزمینی برسد نقش مهمی را ایفا می‌کند .



شکل ۱۰-۳: رابطه بین d و d' در صورتی که فوت $r = 0.8$ و S فاصله بین دو زهکش باشد . منحنیها براساس تصحیحات هوگهات رسم شده است .

تلفات به وسیله موانع یا برگاب: مقداری از بارندگی در روی زمین به وسیله گیاهان گرفته شده و هرگز به سطح خاک نمی‌رسد . مقدار تلفات بستگی به نوع گیاه دارد . یک درخت می‌تواند مقدار قابل توجهی آب را به خود بگیرد . مقدار برگاب تا اندازه‌ای هم بستگی به شدت بارندگی دارد .

تراوش عمقی: در همان زمانی که بارندگی وجود دارد ممکن است تراوش به داخل لایه‌هایی که در زیر زهکشها قرار گرفته است صورت بگیرد . برای محاسبه مقدار تغذیه آب باید تراوش عمقی از مقدار بارندگی کسر شود .

تراوش ارتزین: باید حرکت صعودی آب از آبخانه‌های پایین را به مقدار آبی که لازم است زهکشی شود افزود .

روان آب سطحی: مقدار رواناب سطحی به سرعت نفوذ آب در خاک، شیب سطح زمین، و شدت بارندگی بستگی دارد. علاوه بر این رطوبت خاک به هنگام بارندگی بر نفوذپذیری خاک و در نتیجه بر مقدار رواناب مؤثر است.

تبخیر و تعرق: مقداری از بارندگی از سطح زمین تبخیر شده و مقدار دیگری از آن به وسیله گیاهان تعرق می شود.

در نتیجه می توان اظهار داشت که « بستگی به عوامل پیچیده هیدرولوژیکی دارد. بهترین طریق به دست آوردن « اندازه گیری مقدار جریان آب خروجی از زهکشها است. در این اندازه گیریها باید رواناب سطحی را مجزا ساخت.

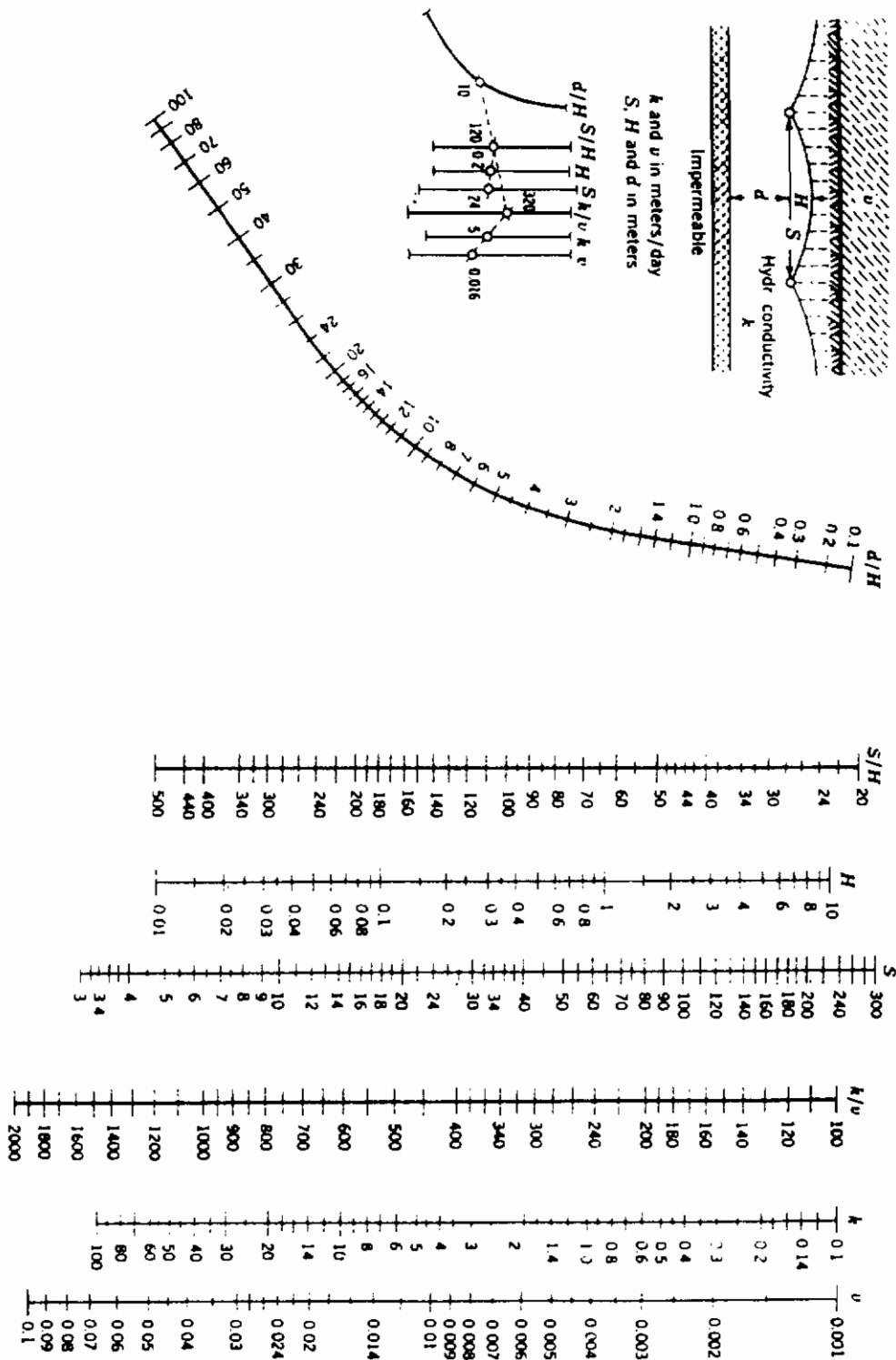
در نواحی که برای اولین بار زهکشی می شود و هیچ گونه آبراهه ای که بتواند در آن اندازه گیری صورت گیرد وجود ندارد توصیه می شود که با مراجعه به مطالعات قبلی از مقادیر « در نواحی مشابه استفاده گردد. پس از نصب زهکشهای اولیه باید اندازه گیریهای صورت گیرد و دقت مقدار فرضی « کنترل شود.

کاربرد معادله هوگهات در نواحی مرطوب

در هلند معیارهای معمولی دلالت بر این دارد که با تخلیه ۵/۵۰۷ متر آب در روز، (۷ میلی متر در روز) سطح ایستابی در اراضی زراعی بیشتر از ۵۰ سانتی متر زیر سطح خاک و در علفزارها بیشتر از ۴۰ سانتی متر نسبت به سطح زمین بالا نخواهد آمد. در این وضعیت عمق زهکشها ۸۰ تا ۹۰ سانتی متر می باشد.

یکی از روشهایی که بوسیله هلندیها به کار برده می شود و در آن شدت بارندگی مورد استفاده قرار می گیرد. به شرح زیر است: سرعت زهکشی یا « معادل ۵ تا ۷ میلی متر در روز در نظر گرفته می شود. هم چنین فرض می شود رواناب ۱۵ میلی متر در روز باشد. سپس ارتفاع سطح ایستابی که بالا خواهد آمد به عنوان تابعی از شدت بارندگی ترسیم می شود. فراوانی وقوع بارندگی روی دیاگرام مشخص شده است. مثلاً "ارتفاع سطح ایستابی برای بارانهای دو روزه، سه روزه و غیره ترسیم می گردد. سپس با مطالعه توزیع بارندگی در طی سال و با توجه به حساسیت گیاهان به بالا بودن سطح ایستابی می توان مشخص کرد که مسأله زهکشی تا چه اندازه حاد است.

با در نظر گرفتن درجه حرارت، موضوع زمان نیز بطور غیرمستقیم ملحوظ شده است. بدین ترتیب که درجه حرارت می تواند شاخص خوبی از زیان حاصله از بالا بودن سطح آب به گیاه باشد. بدین ترتیب تعداد درجه - روز که در آن درجه حرارت بیش از صفر درجه سانتی گراد

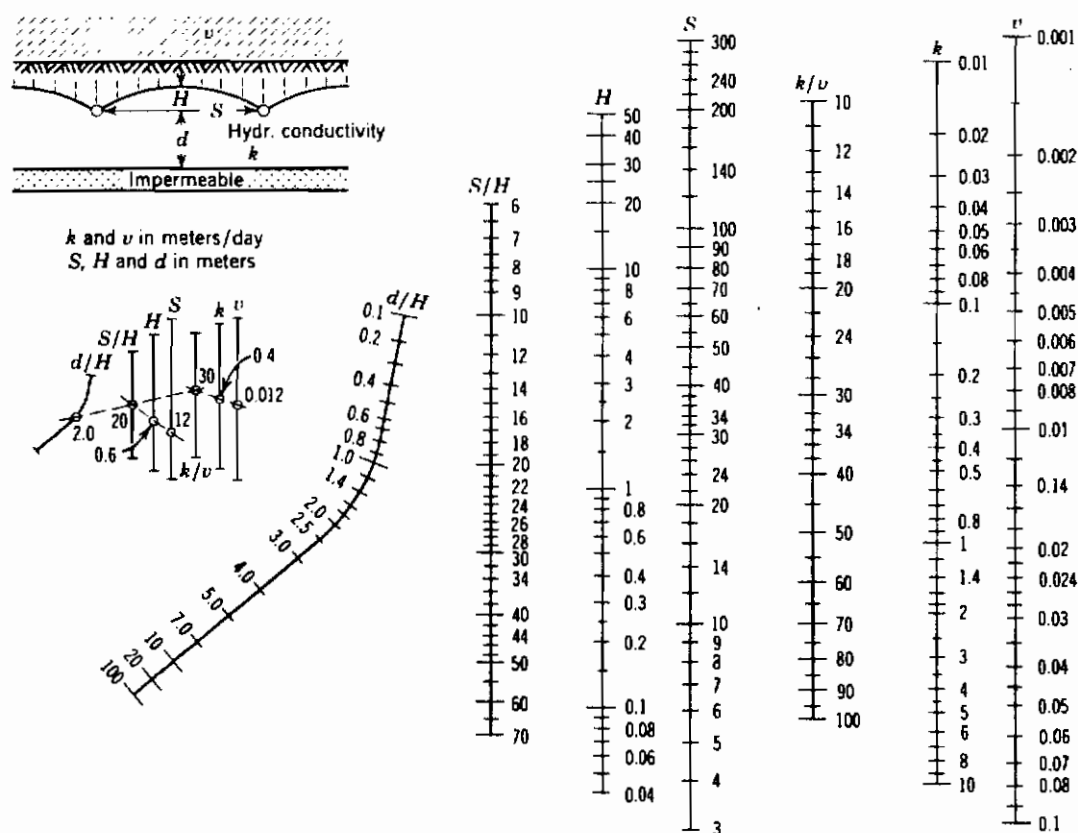


شکل ۱۰-۴: نمودراف تعیین فواصل زه‌کشها با $k/v \geq 100$

است بطور مستقیم با خسارت وارده به گیاه ارتباط داده می‌شود. مشخص شده است که این رابطه همواره صادق نمی‌باشد زیرا برخی از گیاهان مثل گوجه‌فرنگی تا زمانی که حرارت کمتر از ۶ یا ۷ درجه بالای صفر باشد از بالابودن سطح ایستابی صدمه نخواهند دید. معادله‌ای که به‌کار برده می‌شود عبارتست از:

$$t \times T^{\circ} = 30$$

اگر مقدار به‌دست آمده از ۳۰ بیشتر باشد گیاه به‌سختی صدمه دیده و باید زهکشی اضافی صورت گیرد.



شکل ۱۰-۵: نمودار تعیین فواصل زهکشها با $k/v \leq 100$

کاربرد معادله هوگهات در مناطق تحت آبیاری

در مناطق تحت آبیاری نیز مشکل تعیین v وجود دارد. دونن (Donnan) و همکارانش معادله هوگهات را در زهکشی اراضی آبیاری مورد آزمایش قرار داده‌اند. این محققین بر لزوم تعیین مقدار آبی که به‌منظور آبشویی و پایین نگه‌داشتن سطح ایستابی در

حد مطلوب، از زمین باید خارج گردد، تأکید کرده‌اند.

شستشوی موردنیاز

شستشوی موردنیاز به آن جزء از آب آبیاری اطلاق می‌شود که به منظور جلوگیری از بالا رفتن شوری خاک بایستی از ناحیه ریشه عبور نماید. شستشوی موردنیاز به شوری آب آبیاری و حداکثر غلظت مجاز نمک در منطقه توسعه ریشه‌ها بستگی دارد.

مفهوم شستشوی موردنیاز در محاسبه مقدار آبی که باید به وسیله زهکشیها خارج گردد بسیار مفید واقع می‌شود. اطلاع از شستشوی موردنیاز اهمیت زیادی دارد. در هر حال چنین محاسبه‌ای فرض می‌کند که کنترل کافی بر روی آب مصرف شده وجود دارد و آب مصرف شده دقیقاً مساوی است با مجموع نیاز آبی گیاه و شستشوی موردنیاز.

حداکثر غلظت نمکها - با استثنای قشر سطحی که به وسیله تبخیر تشکیل می‌شود - در قسمت پایین منطقه توسعه ریشه‌ها است. این غلظت، در صورتی که شستشوی اضافی وجود نداشته و آب آبیاری بطور یکنواخت به سطح زمین داده شود، برابر غلظت آب زهکشی می‌شود. افزایش غلظت نمکها در آب زهکشی نسبت به غلظت آب آبیاری، نتیجه مصرف آب توسط گیاه است. گیاه آب را از خاک گرفته و بیشتر نمک را در خاک باقی می‌گذارد. بطور خلاصه فرضیات زیر در کاربرد ساده شستشوی موردنیاز در نظر گرفته شده است:

۱ - پخش یکنواخت آب در سطح زمین

۲ - عدم بارندگی

۳ - عدم خارج شدن نمک از خاک به وسیله محصولات جمع آوری شده.

۴ - عدم رسوب نمک در خاک.

این محاسبات بر اساس مقدار کل ارتفاع آبی که در یک دوره زمانی به زمین داده می‌شود پایه‌گذاری شده است. در این فرضیات ساده سازیهای ذخیره رطوبت و نمک در خاک عکس‌العملهای تبادلی کاتیون، عمق نفوذ ریشه‌ها و استفاده گیاه از نمک نادیده گرفته شده است. بهر حال ثابت شده که شستشوی موردنیاز مفهوم بسیار سودمندی است.

همانطور که قبلاً تعریف شد شستشوی موردنیاز برابر است با نسبت ارتفاع معادل آب زهکشی به ارتفاع آب آبیاری، D_{dw}/D_{Iw} و ممکن است بصورت درصد یا اعشاری بیان شود. همچنین ممکن است آن را بصورت دیگر بر حسب مقایسه هدایت الکتریکی آب زهکشی و آب آبیاری توصیف کرد. در این مورد شستشوی موردنیاز عبارت خواهد بود از:

$$LR = \frac{D_{dw}}{D_{Iw}} = \frac{EC_{Iw}}{EC_{dw}} \quad (4)$$

برخی از محصولات زراعی قادرند $EC_{dw} = 8$ mmho/cm را تحمل کنند. برای آب آبیاری با هدایت ۱، ۲، ۳ mmho/cm شستشوی مورد نیاز ۱۳، ۲۵ و ۳۸ درصد خواهد بود. البته این ارقام به علت انتقال مقداری نمک توسط گیاه و احتمالاً "رسوب مقدار دیگری نمک به شکل کربنات کلسیم یا گچ در خاک، با یک دید محافظه کارانه انتخاب شده است. در استفاده از شستشوی مورد نیاز این موضوع را باید در نظر داشت که نزولات جوی در زمستان ممکن است برای شستشوی خاک کافی باشد. باید تمام آبی که از منطقه توسعه ریشه‌ها عبور می‌کند در معادله منظور شود. هدایت آب آبیاری را باید متوسط وزنی هدایت آب بارندگی و آب آبیاری و بصورت زیر در نظر گرفت:

$$EC_{(rw+iw)} = \frac{D_{rw}EC_{rw} + D_{iw}EC_{iw}}{D_{rw} + D_{iw}}$$

که در آن D_{iw} و D_{rw} به ترتیب ارتفاع بارندگی و آب آبیاری است. به منظور استفاده از مفهوم شستشوی مورد نیاز در تحلیل مسائل آب زهکشی در یک منطقه وسیع ابتدا لازم است که تبخیر و تعرق گیاه یا گیاهان زراعتی را بدانیم. مقدار آب آبیاری برابر خواهد بود با مجموع تبخیر و تعرق و آب زهکشی به ترتیبی که معادله زیر نشان می‌دهد:

$$D_{iw} = D_{cw} + D_{dw} \quad (5)$$

با استفاده از معادله (۴) می‌توان D_{dw} را حذف و در نتیجه عمق آب آبیاری را بر حسب تبخیر و تعرق و شستشوی مورد نیاز به دست آورد.

$$D_{iw} = \frac{D_{cw}}{(1 - LR)}$$

اگر معادله را بر حسب نسبت هدایت الکتریکی بنویسیم خواهیم داشت که:

$$D_{iw} = \left(\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}} \right) D_{cw}$$

باید بخاطر داشت که EC_{dw} نماینده میزان تحمل گیاه به نمک می‌باشد. تحمل بعضی از گیاهان به نمک در جدول ۱۰-۱۱ نشان داده شده است.

مثال زیر استفاده از شستشوی مورد نیاز را جهت مجاسبه میزان تغذیه آب در یک منطقه تحت آبیاری نشان می‌دهد.

اگر EC_{iw} حدود ۱ mmho/cm و $EC_{dw} = 8$ mmho/cm و تبخیر و تعرق برابر ۰/۳۵ اینچ در روز در نظر گرفته شود خواهیم داشت:

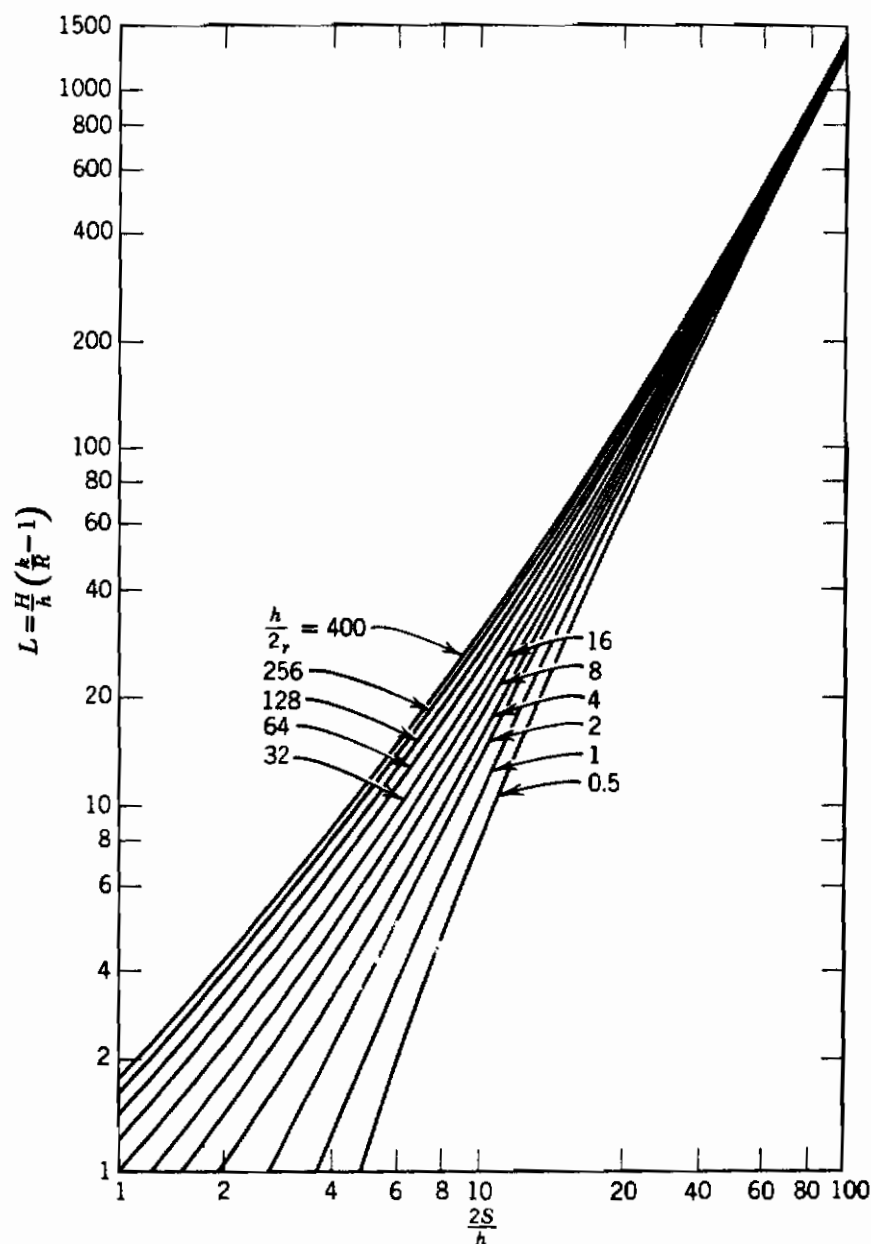
$$\begin{aligned} D_{iw} &= \left(\frac{EC_{dw}}{EC_{dw} - EC_{iw}} \right) D_{ew} \\ &= \left(\frac{8}{8 - 1} \right) 0.35 = 0.40 \text{ in./day} \\ v = D_{dw} &= \left(\frac{1}{8} \right) (0.40) = 0.050 \text{ in./day.} \end{aligned}$$

جدول ۱۰-۱) رابطه بین شوری خاک و واکنش محصول (شوری در عصاره اشباع خاک)

واکنش محصول	هدایت الکتریکی عصاره mmhos/cm در ۲۵°C
آثار شوری روی بیشتر محصولات ناچیز و کم اهمیت است.	۰-۲
ممکن است اثر منفی بر عملکرد گیاهان خیلی حساس داشته باشد.	۲-۴
بر عملکرد اکثر گیاهان اثر منفی دارد.	۴-۸
تنها گیاهان مقاوم به شوری عملکرد رضایت بخشی خواهند داشت.	۸-۱۶
تنها چند گیاهی که در برابر شوری خیلی مقاوم هستند عملکرد رضایت بخشی خواهند داشت.	بیشتر از ۱۶

سایر عواملی که بر عمق و فاصله زه‌کش مؤثر می‌باشد

اثر سطح ایستابی بر رشد گیاه بر عواملی مانند مرحله رشد گیاه، شرایط آب و هوایی خاک و خصوصیات ریشه گیاه بستگی دارد. در این رابطه لازم است که برخی از شرائط متوسط گیاهان ذکر شوند. تجربه نشان داده است که در مناطق تحت آبیاری سطح ایستابی با عمق حدود ۱ متر یا بیشتر برای رشد گیاهان و جلوگیری از جمع شدن نمک در سطح خاک کافی است.



شکل ۱۰-۶: نموداری برای حل فرمول کرکهام

دونن و همکارانش در نتیجه آزمایشهای وسیعی که در دشت امپریال کالیفرنیا انجام داده‌اند باین نتیجه رسیده‌اند که عوامل زیر بر v مؤثر می‌باشد.

۱- مقدار آب آبیاری

۲- طول مسیر جریان آب در سطح زمین

۳- شیب

۴- نوع خاک

۵- نفوذپذیری

۶ - تبخیر و تعرق

۷ - تراوش آب به داخل یا به خارج منطقه

۸ - فشار آرتزینی

۹ - نوع خصوصیات ریشه‌دهی گیاه و عمق ریشه

۱۰ - تعداد دفعات آبیاری

۱۱ - رطوبت خاک در موقع آبیاری

در دشت امپریال، یونجه براساس مصرف آب سالیانه مهمترین مصرف‌کننده به‌شمار می‌رود. براساس پیشنهاد دونن و آرنووچی میزان آبی که باید از زهکشیها خارج شود ۱۰ درصد مصرف سالانه یونجه منظور می‌شود. قسمتی از این ۱۵ درصد ممکن است بوسیله تراوش عمقی یا تراوش جانبی از منطقه خارج شود همانطور که تراوش به خارج و (یا) تراوش آرتزینی ممکن است بر ۱۵ درصد بیفزاید لذا پیشنهاد این است که قبل از برآورد کلی این درصد در طرح لیستی از کلیه آمار موجود در منطقه که به‌نحوی به‌این مسأله مربوط می‌گردد تهیه شود.

پیشنهاد آنها برای یونجه این بود که هر ۲ درصد آب اضافی مازاد بر این ۱۰ درصد به‌اندازه ۰/۰۵۳۶ گالن در فوت مربع در روز از زهکش خارج گردد.

اساس این پیشنهاد فرضیات زیر بوده: (۱) تأمین متوسط مصرف آب سالیانه به‌میزان ۴/۸ ایکر-فوت برای یونجه (۲) تلفات سطحی به‌میزان ۱۰ درصد (۳) تعداد ۱۲ آبیاری در سال (۴) دور آبیاری ۱۵ روز.

فرمول کرکهام (Kirkham, 1958)

کرکهام با استفاده از روشهای دقیق ریاضی مسأله را تجزیه و تحلیل کرده است. لذا نتایجی را که به‌دست آورده دقیق‌تر و از طرفی پیچیده‌تر از معادله هوگهات می‌باشد. وسلینگ (Wesseling) اختلاف دو معادله را کمتر از ۵ درصد ذکر نموده است. فرمول کرکهام بدین صورت است:

$$H^d = (2SR/k)F(2r/2S, h/2S)$$

که در آن:

H^d = حداکثر فاصله سطح ایستابی در بالای زهکشیها

R = شدت بارندگی

k = هدایت هیدرولیکی

h = فاصله لایه غیرقابل نفوذ تا سطح ایستابی روی زهکشها

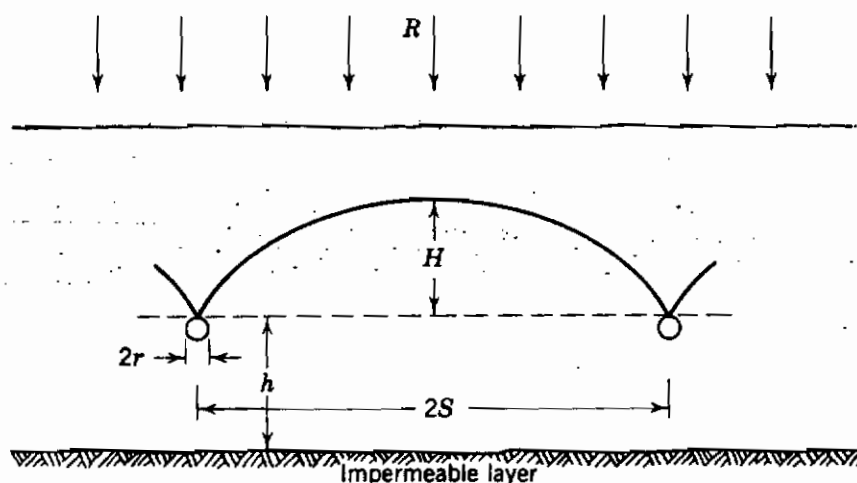
$2S$ = فاصله زهکشها

r = شعاع زهکش

در معادله فوق؛

$$F = \frac{1}{\pi} \left(\ln \frac{2S}{\pi r} + \sum_{m=1}^{\infty} \left[\frac{1}{m} \left(\cos \frac{m\pi r}{S} - \cos m\pi \right) \left(\coth \frac{m\pi h}{S} - 1 \right) \right] \right)$$

برای حل این معادله گرافهایبوسیله صدیق توکسوز (Sadik Toksoz) تهیه شده است.



شکل ۱۰-۷: مثالی از نحوه استفاده از گرافهای صدیق توکسوز برای حل

معادله کرکهام

$$H = 0.6 \text{ متر}$$

$$h = 6 \text{ متر}$$

$$k = 1/2 \text{ متر در روز}$$

$$R = 0.2 \text{ لیتر در ثانیه در هکتار} = 0.00173 \text{ متر در روز}$$

$$2r = 10 \text{ سانتی متر} = 0.1 \text{ متر}$$

$$L = \frac{H}{h} \left(\frac{k}{R} - 1 \right) = \frac{0.6}{6} \left(\frac{1.20}{0.00173} - 1 \right) = 69.3$$

$$\frac{h}{2r} = \frac{6}{0.10} = 60$$

با استفاده از منحنی

$$\frac{2S}{h} = \frac{2S}{6} = 19.7$$

$$2S = 118.2 \text{ meters}$$

فرمول دفتر عمران آمریکا

بسیاری از طراحان سیستمهای زهکشی در یافته‌اند که فرمولهایی که سطح ایستابی را در حالت تعادل با بارندگی یا آبیاری توصیف می‌کنند در شرایط مزرعه که سطح ایستابی همواره در خاک متغیر است صادق نیستند. این پژوهندگان باین نتیجه رسیده‌اند که معادله‌ای که بتواند بیان کننده حرکت سطح ایستابی در خاک باشد دقیق‌تر خواهد بود. حرکت سطح ایستابی در خاک یک حالت غیرماندگار است. بار هیدرولیکی در هر نقطه از خاک ثابت نبوده بلکه با زمان متغیر است. بنابراین حالتی که غیرماندگار نامیده می‌شود برعکس حالت ماندگار که در آن بار هیدرولیکی با زمان تغییر نمی‌کند می‌باشد.

پیشگامان مطالعه حالت غیرماندگار در زهکشی، کارکنان دفتر عمران ایالات متحده و مخصوصاً یکی از اعضاء آن به نام گلاور (Glover) می‌باشد. فرمول زیر بوسیله گلاور و دیگر کارکنان دفتر عمران ارائه شده است. برای سهولت، این فرمول را از این پس به نام فرمول دفتر عمران خواهیم خواند.

$$\frac{S}{kD} \frac{dy}{dt} = \frac{d^2y}{dx^2}$$

که در آن :

$$k = \text{هدایت آبی}$$

$$D = \text{عمق متوسط جریان زیرزمینی آب}$$

$$S = \text{آبدهی ویژه}$$

$$y = \text{ارتفاع سطح ایستابی نسبت به یک سطح مقایسه}$$

معادله فوق معادله‌ایست که باید برای حالت غیرماندگار حرکت سطح ایستابی حل شود. تذکر این نکته لازم است که این معادله همانند معادله گرما است. روشهای حل معادله گرما بطور مفصل توسط جیگروکار سلاو مورد بحث قرار گرفته است. این روش می‌تواند برای سطح ایستابی غیرماندگار هم بخوبی مورد استفاده قرار گیرد.

گلاور و همکاران وی برای کاربرد این معادله در اراضی که توسط زهکشهای موازی زیرزمینی زهکشی می‌شوند راه‌حلهایی ارائه کرده‌اند. در نخستین راه‌حل فرض بر این بوده که سطح ایستابی در ابتدا مسطح و موازی سطح خاک باشد و در راه‌حلهای بعدی شکلهای دیگری برای سطح ایستابی در نظر گرفته‌اند. در راه‌حلی که اخیراً "بوسیله دفتر عمران توصیه شده، فرض بر این بوده است که سطح ایستابی در ابتدا شکلی شبیه یک منحنی سهمی درجه

چهار را داشته باشد. شکل سطح ایستابی در زمان $t = 0$ با معادله زیر توصیف می‌شود:

$$y = \frac{8H}{L^4} (L^3x - 3L^2x^2 + 4Lx^3 - 2x^4)$$

سطح ایستابی در هر دو زهکش مساوی در نظر گرفته می‌شود یا

$$\begin{aligned} y = 0 & \quad t = 0 & \quad x = 0 \\ y = 0 & \quad t = 0 & \quad x = L \end{aligned}$$

که در آن L فاصله بین زهکشها است.

اگر معادله را براساس این حدود و شرایط اولیه حل کنیم خواهیم داشت:

$$y = \frac{192H}{\pi^5} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(2m+1)^2\pi^2 - 8}{(2m+1)^5} \exp\left(-\frac{(2m+1)^2\pi^2\alpha t}{L^2}\right) \sin \frac{(2m+1)\pi x}{L}$$

که در آن $kD/s = \alpha$:

k = هدایت آبی

D = عمق متوسط منطقه جریان

s = آب‌دهی ویژه (برحسب درصد حجمی)

L = فاصله زهکشها

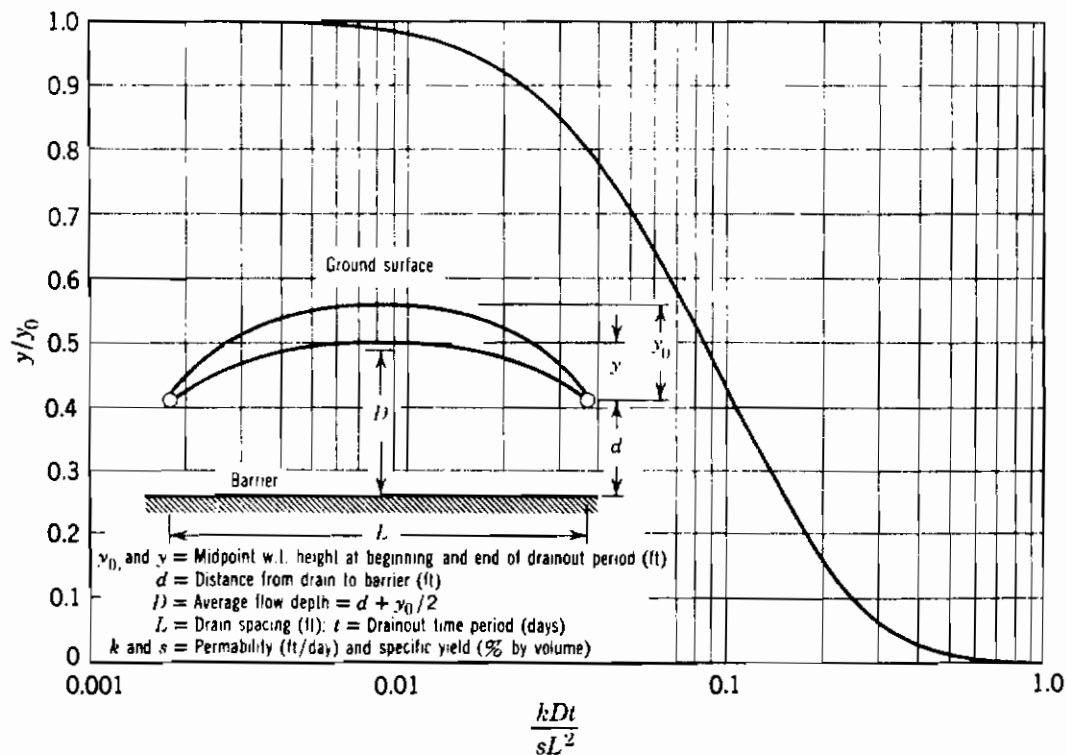
H = ارتفاع آب در بالای زهکشها در نقطه‌ای که در وسط دوزهکش قرار دارد.

چون توجه اصلی به ارتفاع سطح ایستابی در وسط زهکشها است می‌توان عبارت زیر را برای y برحسب $x = L/2$ به دست آورد:

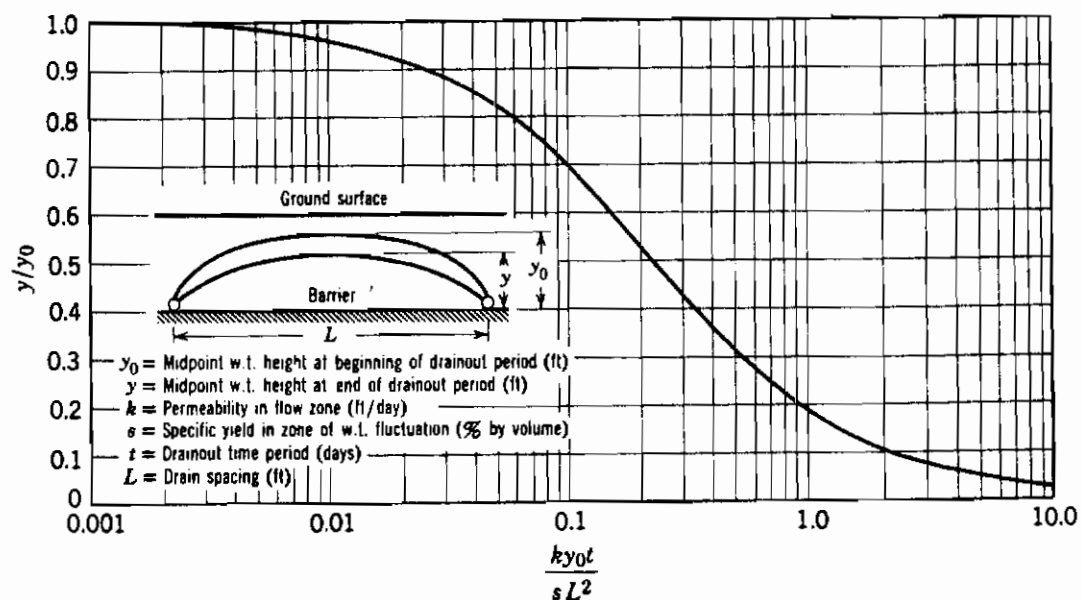
$$H = \frac{192}{\pi^3} \sum_{n=1,3,5}^{\infty} (-1)^{(n-1)/2} \frac{n^2 - 8/\pi^2}{n^5} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2 \alpha t}{L^2}\right)$$

با در نظر گرفتن قسمت اول این سری می‌توان به یک راه حل تقریبی دست یافت. توجه داده می‌شود که فاصله به دست آمده از این فرمول با فاصله حاصله از فرمول دیگری که براساس مسطح بودن اولیه سطح ایستابی به دست می‌آید تفاوت مختصری دارد. بهر حال کارشناسان این دفتر براین عقیده‌اند که استفاده از منحنی سهمی درجه چهار برای مشخص کردن وضعیت اولیه سطح ایستابی به حقیقت نزدیک‌تر است.

منحنیهایی هم تهیه شده که رابطه بین پارامترهای بدون بعد y/y_0 و kDt/sL^2 را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰-۸: منحنی نمایش دهنده رابطه بین y/y_0 و kDt/sL^2 در نقطه وسط بین زهکشیها (در جایی که زهکش روی لایه غیر قابل نفوذ قرار نگرفته باشد).



شکل ۱۰-۹: منحنی نمایش دهنده رابطه بین y/y_0 و ky_0t/sL^2 در نقطه وسط بین زهکشیها (در جایی که زهکش روی لایه غیر قابل نفوذ قرار گرفته باشد).

مورد استعمال معادله دفتر عمران

اندازه D که در فرمول مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در فرمول ارائه شده بوسیله دفتر عمران، D عبارت است از ضخامت متوسط خاک عبور دهنده آب به زهکشیها، در حالت غیر ماندگار سطح ایستابی، مقدار D ثابت نیست و بسته به شیب و موقعیت سطح ایستابی تغییر می‌کند. بعلاوه اندازه D دقیقاً "عکس العمل جریانی را منعکس نمی‌کند که در زیر زهکش اتفاق می‌افتد". قبل از هر چیز جریان را در منطقه زیر زهکشیها مورد بررسی قرار می‌دهیم در این منطقه مسیر جریان همانند خطوط مستقیم بیان شده به وسیله فرضیات دوپوئی - فورشایمر نبوده بلکه برعکس بصورت منحنی الخط می‌باشد. هوگهات از طبیعت شعاعی بودن جریان زیر زهکشیها استفاده کرده و معادله لاپلاس را برای این گونه جریانه‌ها حل نمود. در نتیجه یک ضریب تصحیح یا یک سری فواصل معادل به دست آورد که می‌تواند جانشین فاصله حقیقی زهکش از لایه غیر قابل نفوذ گردد. استفاده از عمق معادل تا لایه غیر قابل نفوذ در بخشی که مربوط به استفاده از معادله هوگهات بود مورد بحث قرار گرفت. ابتدا برآوردی از فاصله زهکش به عمل می‌آید سپس با استفاده از گرافهای هوگهات عمق معادل تعیین می‌شود. بعد از آن عمق معادل حاصله را در فرمول دفتر عمران قرار داده، فاصله تصحیح شده زهکش را به دست می‌آورند. اگر فاصله محاسبه شده با فاصله فرضی اولیه اختلاف زیادی داشت با استفاده از فاصله محاسبه شده و گرافهای هوگهات مقدار جدید عمق معادل را به دست می‌آوریم و محاسبه را تکرار می‌کنیم. برای به دست آوردن مقدار قابل قبول عمق معادل معمولاً لازم است که محاسبه فقط یک مرتبه تکرار گردد. تخمین دیگری که مورد لزوم است متوسط فاصله سطح ایستابی نسبت به صفحه‌ای است که بطور افقی از زهکش می‌گذرد. برای این منظور فاصله سطح ایستابی در وسط دو زهکش بر ۲ تقسیم می‌شود. بدین ترتیب ضخامت کل خاکی که جریان از آن عبور می‌کند به دست می‌آید.

$$D = d + \frac{y_0}{2}$$

که در آن d عبارت است از عمق معادل فاصله زهکش از لایه غیر قابل نفوذ که از گرافهای هوگهات به دست می‌آید.

کاربرد فرمول در مناطق تحت آبیاری

نحوه استفاده از فرمول بوسیله دفتر عمران اراضی در بخش زیر مورد بحث قرار می‌گیرد.

مطالعه سطح آب زیرزمینی بوسیله هیدروگرافها نشان می دهد که سطح ایستابی در طول فصل آبیاری نوسان دارد. بطور کلی سطح ایستابی در شروع فصل آبیاری در پایین ترین عمق و در پایان فصل آبیاری در بالاترین سطح خود قرار می گیرد. بلافاصله بعد از هر آبیاری سطح ایستابی به بالاترین حد خود می رسد. اما تمایل کلی در سرتاسر فصل در جهت افزایش ارتفاع سطح ایستابی است در فصول خارج از آبیاری سطح ایستابی دوباره پایین رفته و با شروع فصل آبیاری بعدی بالا می آید. اگر افت سطح ایستابی در طول فصلی که آبیاری قطع می شود، کمتر از بالا آمدن آن در طول فصل آبیاری باشد سطح ایستابی در طول سالها دارای یک حرکت بالارونده تدریجی خواهد بود و اگر قرار باشد خاک به طرز صحیحی زهکشی شود باید از این افزایش جلوگیری شود.

به عبارت دیگر برای نگه داشتن سطح آب در حد قابل قبول باید میزان تخلیه سالیانه از یک سفره در منطقه تحت آبیاری مساوی یا زیادتر از تغذیه سالیانه آن باشد. اگر تغذیه سالیانه در حدود تخلیه سالیانه باشد نوسانهای سالیانه سطح ایستابی از سالی به سال دیگر ثابت خواهد ماند. دفتر عمران اراضی این شرایط را تعادل پویا "dynamic equilibrium" نامیده است:

در استفاده از فرمول فاصله زهکشیها بوسیله دفتر عمران اراضی کوشش شده است که رژیمهای متغیر تخلیه و تغذیه آب زیرزمینی در نظر گرفته شود. هدف از تجزیه و تحلیل آنها این است که فاصله بین زهکش طوری انتخاب شود که با در نظر گرفتن ارتفاع سطح ایستابی، نوع خاک، آبیاری، محصول و خصوصیات اقلیمی منطقه، یک حالت معادل پویا بوجود آید.

برای انجام این تجزیه و تحلیل لازم است که از نیازهای تبخیر و تعرق، عملیات زراعی و نیازها و برنامه ریزی آبیاری اطلاع داشته باشیم.

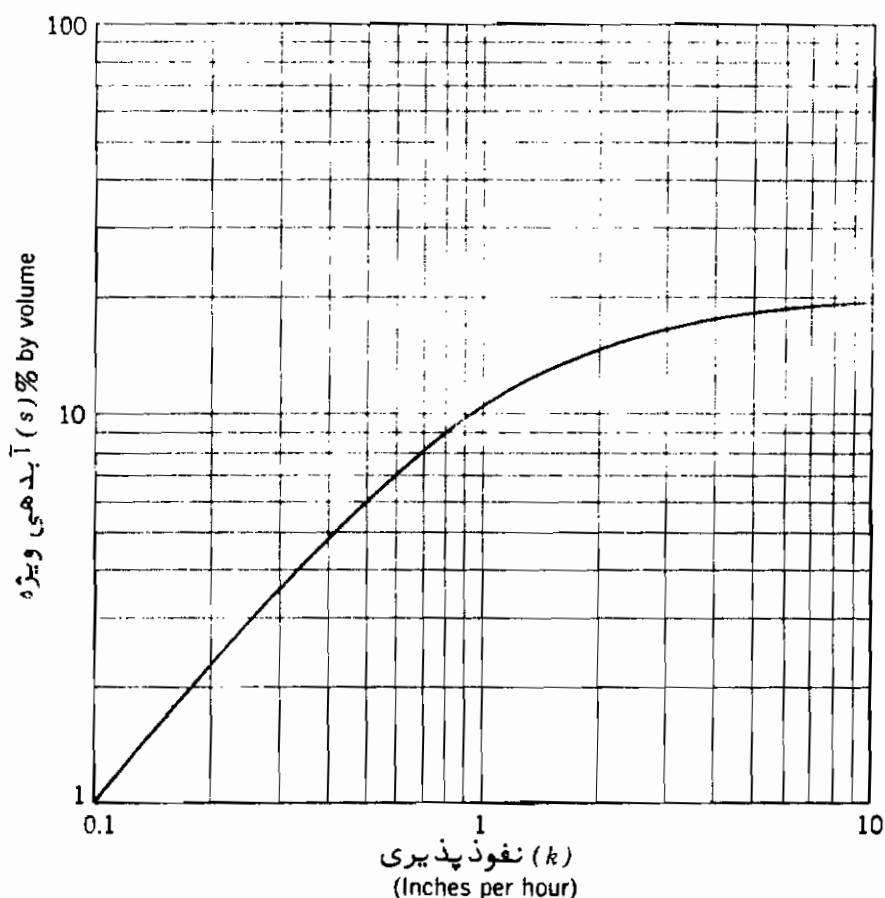
دفتر عمران مفهوم آب دهی ویژه را مورد استفاده قرار می دهد. فرض می کنیم که پس از زهکشی مقدار رطوبت خاک در بالای سطح ایستابی در تمام نقاط یکسان گردد. این فرض صادق نیست اما تقریبی از شرایط واقعی رطوبت خاک می باشد. علی رغم ایراداتی که به مفهوم آب دهی ویژه وارد است، کاربرد آن در شرایط مزرعه آسان است.

هاسکیوو تالسما (Haskew, Talsma) رابطه ای بین آب دهی ویژه و هدایت هیدرولیکی خاک ارائه داده اند که توسط دفتر عمران در مورد تعدادی از خاکها بسط داده شده است. به این رابطه نباید به صورت یک رابطه مطلق نگاه کرد بلکه تنها در مورد خاکهایی که آزمایش روی آنها انجام شده است صدق می کند.

در مورد این رابطه دلائل معینی وجود دارد. آب دهی ویژه معیار و میزانی از توزیع

خلل و خرج در خاک می باشد. انتظار می رود که بین توزیع خلل و فرج و هدایت آبی خاک نیز همبستگی وجود داشته باشد. گرچه این رابطه هرگز نمی تواند بهتر از یک تقریب باشد ولی این تقریب در همان حد تغییراتی است که یک نفر می تواند از اندازه گیری هدایت الکتریکی در مزرعه انتظار داشته باشد.

شکل ۱۰-۱۰ رابطه ای را نشان می دهد که توسط دکتر عمران به منظور برآورد آب دهی ویژه از روی هدایت آبی مورد استفاده قرار می گیرد. در استفاده از این شکل باید بخاطر داشت که مقدار آب دهی ویژه تنها مربوط به زمان نهایی است از خاک که زهکشی می شود لذا اندازه گیری نفوذپذیری این لایه ضرورت دارد.



شکل ۱۰-۱۰: آب دهی ویژه نسبت به نفوذپذیری

محاسبات در حالتی که سطح ایستابی به حداکثر ارتفاع خود رسیده باشد شروع می شود. این حالت در پایان فصل آبیاری و بعد از آخرین آبیاری پیش می آید. لازم است که عمق متوسط جریان D برای حداکثر ارتفاعی که سطح ایستابی پیدا خواهد کرد محاسبه کنیم. برای این کار قبل از هرچیز مقداری برای L یا فاصله بین زهکشها فرض می شود سپس از مقادیر

k ، t و s که اندازه گیری یا محاسبه شده است جهت پی بردن به نوسانهای سطح ایستابی با توجه به فاصله فرض شده استفاده می شود.

با استفاده از گرافها می توان افت سطح ایستابی را در طی فاصله زمانی t محاسبه کرد. بعد از هر تغذیه موقعیت جدید سطح ایستابی محاسبه شده و سپس افت آن محاسبه می شود. در پایان فصل باید سطح ایستابی در همان موقعیت شروع محاسبات یا پایین تر از آن واقع باشد. اگر سطح ایستابی بالاتر قرار گیرد باید فاصله زهکشها را تغییر داد و محاسبات را تکرار کرد تا فاصله صحیح به دست آید. دودفعه آزمایش معمولاً "برای برآورد فاصله صحیح زهکشها کافی است".

محاسبه دبی زهکش در فرمول دفتر عمران.

فرمول دبی آب در زهکشی که بالای یک لایه غیر قابل نفوذ واقع شده باشد عبارت است از:

$$q = \frac{2\pi k y D}{L}$$

که در آن:

q = دبی زهکش بر حسب فوت مکعب در هر فوت طولی زهکش در روز

k = نفوذپذیری بر حسب فوت مکعب در فوت مربع در روز و y ، D ، L دارای

همان مفهوم هستند که در محاسبه فاصله زهکشها به کار برده شده است.

فرمول دبی برای زهکشهای موازی واقع بر روی لایه غیر قابل نفوذ عبارت است از:

$$q = \frac{4k y_0^2}{L}$$

زهکشی مناطق آرتزینی

مناطق که مسأله زهکشی آنها ناشی از تراوش رو به بالای آب از سفره آبی تحت فشار است خوشبختانه چندان زیاد نیست، در ایالات متحده آمریکا این مسائل در مناطق خاصی از ایالات غربی وجود دارد. مسأله زهکشی مناطق آرتزینی در اصل محدود می شود به مناطق تحت آبیاری که بر روی خاک رسوبی مطبق قرار می گیرد.

برای این منظور چندین فرمول پیشنهاد شده است. بعضی از فرمولها فاصله زهکشها

را برای تراوش روبه بالای آب از یک سفره آرتزین به همراه حالت نفوذ رو به پایین آب آبیاری و بارندگی در نظر گرفته اند. فرمولهایی که با توجه به این فرضیات به دست می آید نیاز به این دارد که فاصله زهکشها خیلی نزدیک به هم انتخاب می شود. از طرف دیگر اگر تنها نفوذ رو به بالای آب از یک سفره آرتزینی در نظر گرفته شود. در این صورت فاصله بین زهکشها با توجه به فاصله تغییراتی که عملاً اتفاق می افتد معقول به نظر می رسد.

بر اساس مجموعه شرایط زیر فرمولی به دست آمده است که به تشریح آن می پردازیم. فرض بر این است که یک سری لوله با فواصل مساوی در عمق ثابتی در زیر سطح خاک کار گذاشته شده و خاک نسبت به هدایت هیدرولیکی یکنواخت و همگن بوده و در عمق ثابتی روی یک لایه آرتزین قرار گرفته است. هم چنین فرض می شود که فشار آب در لایه آرتزینی معلوم و حالت ماندگار برقرار باشد.

فرض دیگر این است که تا فاصله نامحدودی در بالای لوله های زهکش خاک وجود داشته باشد این فرض خلاف واقعیت است از این رو ارتفاع سطح ایستابی که فرمول به دست می دهد قدری زیاده از ارتفاع واقعی آن در مزرعه خواهد بود. از این رو استفاده از این فرمول برای هدفهای طراحی تا حدی محافظه کارانه می باشد. ارتفاع سطح ایستابی در نقطه وسط بین دو زهکش عبارت است از:

$$H = -\phi_n \left/ \frac{\ln 2/(\cosh 4\pi h/S + 1)}{\ln \frac{\cosh 2\pi r/S - 1}{\cosh 2\pi(r + 2h)/S - 1}} \right. \quad (6)$$

که در آن:

ϕ_n = بار هیدرولیکی در سفره آرتزینی

r = شعاع زهکش

S = فاصله زهکشها

h = فاصله لایه آرتزین از لوله زهکش

x, y = مختصات افقی و عمودی نسبت به مبدا که منطبق بر نقطه فوقانی مقطع زهکش می باشد.

\ln = لگاریتم طبیعی

نتایج معادله ۶ محاسبه شده و به صورت شکل ۱۰-۱۱ ترسیم می شود.

طرز استفاده از گراف بدین ترتیب است ابتدا عمق لایه آرتزینی و بار فشار آرتزین در مزرعه تعیین می شود. عمق لوله زهکش غالباً تحت تأثیر عواملی است که در کنترل طراح

نیست برای مثال می‌توان آزمایشهای ترانشه‌زن و محل خروجیها نام برد. بعد از تصمیم‌گیری در مورد عمق لوله‌گذاری لازم است ارتفاع سطح ایستابی در بالای لوله طوری محاسبه می‌شود که سه فوت (یا هر ارتفاعی که لازم باشد) از خاک بالای آن غیر اشباع بماند. محل تقاطع خط افقی و خط عمودی روی منحنی مربوطه، فاصله مورد نیاز برای زهکشها را به ما می‌دهد. به عنوان مثال فرض می‌کنیم که ۳ فوت خاک غیر اشباع مورد نیاز باشد مفروضات عبارتند از:

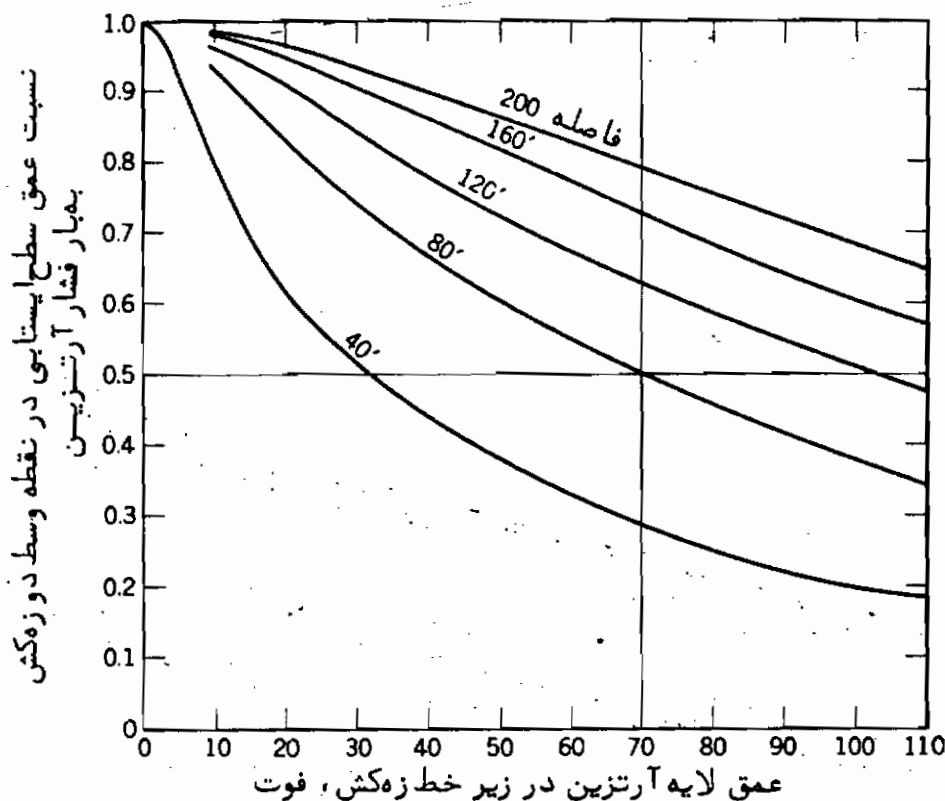
(۱) : عمق لایه آرتزین از لوله زهکش = ۷۰ فوت

(۲) : بار آرتزین نسبت به لوله زهکش = ۸ فوت

(۳) : بار آرتزین نسبت به سطح خاک = ۱ فوت

(۴) : عمق لوله‌گذاری = ۷ فوت

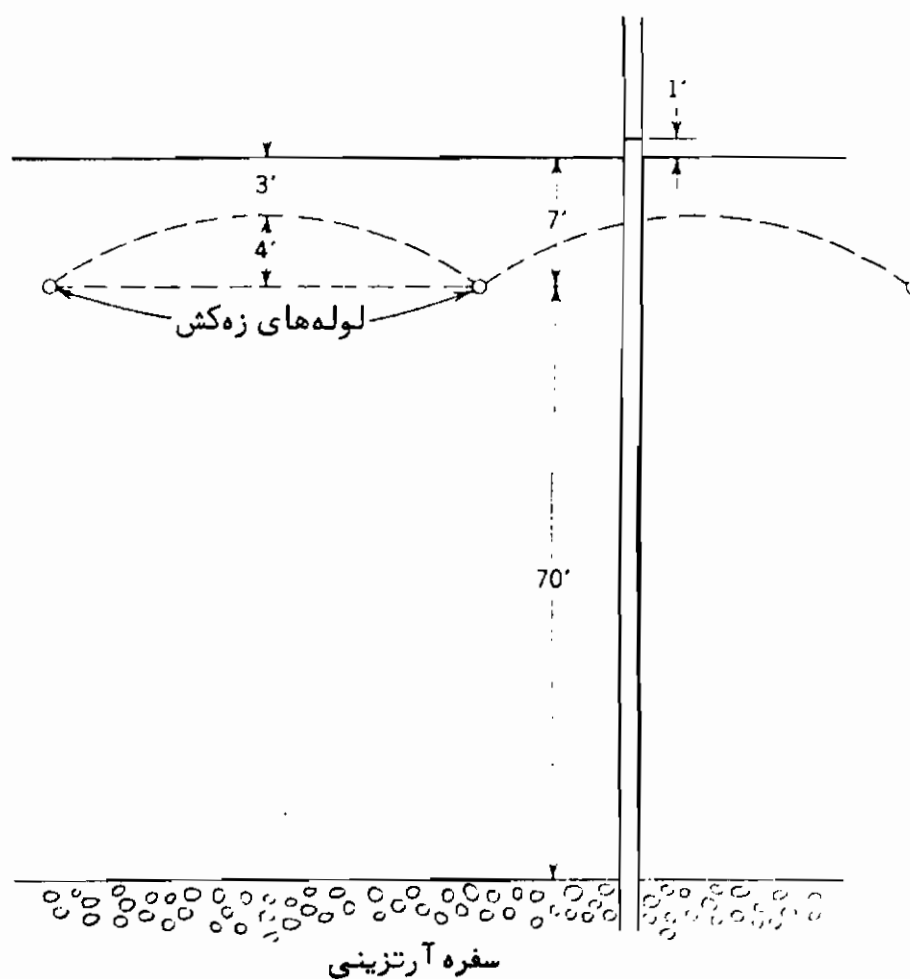
با استفاده از گرافها مشاهده می‌شود برای این که سطح ایستابی بیش از ۴ = ۳ - ۷ فوت بالاتر از لوله زهکش قرار نگیرد باید فاصله زهکشها ۸۰ فوت انتخاب شود.



شکل ۱۰-۱۱: نمودار تعیین فاصله زهکش در مناطق آرتزینی، شعاع زهکش ۵/۲۵ فوت و تمام فواصل نسبت به سطح تراز لوله‌های زهکش گرفته شده است.

امکان استفاده از چاههای قابل پمپاژ جهت زهکشی اراضی آرتزین باید مورد توجه قرار گیرد. همینطور امکان استفاده از چاههای غیر قابل پمپاژ هم وجود دارد. اگر بتوان از آب

زهکشی استفاده مجدد کرد در این صورت از نظر اقتصادی استفاده از چاهها جهت زهکشی در اولویت قرار می گیرد. از طرف دیگر اگر فاصله لایه آرتزین از سطح خاک کم باشد می توان مساله را با قراردادن لوله های افقی در آن برطرف کرد. در بعضی موارد برای برطرف کردن فشار آرتزین زهکشها را حتی در عمق ۱۷ فوت تعبیه شده و منجر به زهکشی منطقه وسیعی گردیده است. اگر زهکش به داخل لایه آرتزین رخنه کند گرافها در باره آن صادق نیست و نباید از گراف استفاده شود. اغلب یک زهکش باعث برطرف شدن فشار آرتزین منطقه وسیعی می شود.



شکل ۱۰-۱۲: مثالی برای نشان دادن نحوه استفاده از نمودارها جهت تعیین فاصله زهکشهای زیرزمینی در مناطقی که فشار آرتزین وجود دارد.

مسائل

۱- با استفاده از گرافهای دفتر عمران آمریکا تعیین کنید فاصله زهکشها را بهطوری که بتواند سطح ایستابی را در طول مدت ۲ روز از سطح خاک به عمق یک فوتی برسانند. اطلاعات زیر در دست است:

هدایت آبی ۱/۸ اینچ در ساعت

زهکشا در عمق ۳/۵ فوتی زیر سطح خاک تعبیه شده.

لایه غیرقابل نفوذ در عمق ۶/۵ فوتی زیر سطح خاک واقع شده است.

متوسط جریان خروجی از یک مزرعه ۲۰۰ ایکری در مدت ۲ روز چقدر است؟

۲- با استفاده از مونوگراف بومن فاصله زهکشها را برای شرایط زیر محاسبه کنید.

شدت یکنواخت بارندگی $= 0.009$ متر در روز

مقدار جریان سطحی آب $= 0.001$ " "

تراوش عمقی $= 0.001$ " "

هدایت آبی $= 0.001$ " "

عمق لوله‌های زهکش ۱/۲ متر، عمق لایه غیرقابل نفوذ ۲/۵ متر است. فاصله سطح ایستابی از سطح خاک باید حداقل ۷۰ سانتی‌متر باشد.

۳- در سطح ۳۰۰۰ ایکر محصولاتی کشت شده که می‌تواند هدایت الکتریکی 6 mmhos/cm را در آب زهکشی تحمل نماید. تبخیر و تعرق آنها ۳۸ اینچ و آب و بارندگی زمستانه ۶ اینچ است. بارندگی دیگری هم در طول سال وجود ندارد. اگر هدایت آب آبیاری 2 mmhos/cm باشد حساب کنید.

(a) نیاز آبی‌شویی چقدر است.

(b) چه مقدار آب بایستی از این زمین زهکشی شود؟

۴- هدایت الکتریکی آب آبیاری $1/3 \text{ mmhos/cm}$ است فرض کنیم که تبخیر و تعرق 0.35 اینچ در روز، تحمل محصول 6 mmhos/cm و هدایت آبی خاک 0.3 اینچ در ساعت باشد. زهکشها بشعاع 0.3 فوت در عمق ۸ فوتی تعبیه شده‌اند. حداقل فاصله سطح ایستابی از سطح خاک باید $4/5$ فوت باشد. اگر عمق لایه غیرقابل نفوذ از سطح خاک ۱۲ فوت باشد.

(a) فاصله زهکشها با استفاده از فرمول هوگهات چقدر است؟

(b) جریان خروجی از یک مزرعه ۴۰۰ ایکری برحسب فوت مکعب در ثانیه چه اندازه

خواهد بود؟

- (c) اگر شیب مجرای خروج ۰/۰۰۱ باشد چه قطری از لوله مورد نیاز است ؟
- (d) اگر سطح ایستابی بعد از آبیاری به حدود ۲ فوتی سطح خاک برسد . برای پایین بردن آن تا عمق ۴ فوتی زیر سطح خاک چه مدت زمان وقت لازم است ؟ (با توجه به فاصله زهکشها که از قسمت (a) به دست می آید از چارتهای دفتر عمران آمریکا استفاده شود .

مآخذ

- Donnan, W. W. 1946. Model tests of a tile spacing formula. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 2:131-136.
- Donnan, W. W., Aronovici, V. S. and H. F. Blaney. 1947. *Report on Drainage Investigations in Irrigated Areas of Imperial Valley, California*. Mimeographed report. U.S. Dept. of Agric.
- Drainage-Vraagstukken, Voordrachten 16 Mei 1952 van De Cultuurtechnische Vereniging.
- Engelund, F. 1951. *Mathematical Discussion of Drainage Problems*. Danish Academy of Sciences No. 3.
- Hooghoudt, S. B. 1940. Bijdragen tot de kennis van eenige natuurkundige grootheden van den grond, 7, Algemeene beschouwing van het probleem van de detail ontwatering en de infiltratie door middel van parallel loopende drains, greppels, slooten, en kanalen. *Versl. Landbouwk. Ond.*, 46:515-707.
- Isherwood, J. D., and A. F. Pillsbury. 1958. Shallow groundwater and tile drainage in the Oxnard Plain. *Trans. Am. Geo. Union*, 39:1101-1110.
- Kirkham, D. 1945. Artificial drainage of land: Streamline experiments. *Trans. Am. Geo. Union*, 26:393-406.
- Kirkham, D. 1958. Seepage of steady rainfall through soil into drains. *Trans. Am. Geo. Union*. 39:892-908.
- Ligon, J. T., D. Kirkham, and H. P. Johnson. 1964. The falling water table between open ditch drains. *Soil Sci.*, 97:113-118.
- Maasland, M. 1956. The relationship between permeability and the discharge, depth and spacing of tile drains. *Bull. 1, Water Conservation and Irrigation Commission, New South Wales*.
- U.S. Dept. of Agric. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Handbook 60.
- Van Schilfgaarde, J., D. Kirkham, and R. K. Frevert. 1956. Physical and mathematical theories of tile and ditch drainage and their usefulness in design. *Res. Bull. 436, Iowa Agric. Expt. Sta.*
- Van Someren, C. L. Undated. *Grafische Berekening Drainafstanden*. Cultuurtechnische Dienst, Ministerie van Landbouw, Visserijen Voedselvoorziening.
- Visser, W. C. 1954. Tile drainage in the Netherlands. *Neth. J. Agr. Sci.*, 2:69-87.
- Wesseling, J. 1964. A comparison of the steady state drain spacing formulas of Hooghoudt and Kirkham in connection with design practice. *Tech. Bull. 34, Inst. for Land and Water Management Research, Wageningen*.
- Wesseling, J. 1964. The effect of using continually submerged drains on drain spacings. *Tech. Bull. 35. Inst. for Land and Water Management Research, Wageningen*.

فصل یازدهم

زه کشهای زیرزمینی

زه کش زیرزمینی نوعی زه کش است که در زیر سطح خاک قرار می گیرد. امتیاز مهم این زه کشها در این است که به علت واقع شدن آنها در زیر زمین مانعی برای اجرای عملیات کشاورزی به حساب نمی آیند. روی زه کشها می تواند زیر کشت قرار گرفته و بدین ترتیب این روش از تلفات زمین نیز جلوگیری خواهد کرد.

علی الاصول مخارج اولیه زه کشهای زیرزمینی نسبت به مخارج اولیه زه کشهای روباز تا حدودی بیشتر خواهد بود، ولی با در نظر گرفتن ارزش زمین زراعی که توسط زه کشهای روباز هدر می رود، مخارج این دو روش غالباً مساوی است.

بطور کلی مخارج نگهداری زه کشهای زیرزمینی از زه کشهای سطحی بیشتر است. ولی این اشتباه است که تصور کنیم این زه کشها به هیچگونه نگهداری نیازمند نیستند. یکی از معایب زه کشهای زیرزمینی در این است که به اشکال می توان پی برد که آیا سیستم به خوبی کار می کند یا خیر.

مواد مختلفی برای زه کشهای زیرزمینی به کار برده می شود. از این مواد می توان لوله های سفالی کوچک، لوله های سیمانی به طولهای مختلف، قراردادن لایه های از شن درشت در خاک، قراردادن بقایای چوبی گیاهان در خاک (از قبیل دفن کردن شاخه های درخت بید) لوله های پلاستیکی و سایر موادی را نام برد که می توان در داخل خاک قرارداد و زمان نسبتاً زیادی در آنجا باقی بمانند. زه کشهای لانه موشی (Mole drains) نیز جزء زه کشهای زیرزمینی هستند. زه کشهای لانه موشی با کشیدن شیئی فلزی استوانه ای در داخل خاک درست می شود. هدف اصلی این زه کشها جمع آوری و هدایت آبهای داخل خاک، به یک آبراه خروجی است. تمام زه کشهای زیرزمینی، علی رغم اختلاف در نوع ماده مصرفی برای یک منظور واحد

مورد استفاده قرار می‌گیرند .



شکل ۱۱-۱ : یک گاواهن برای حفره زهکش لانه‌موشی

خروجی زهکشهای زیرزمینی

بطور کلی دونوع خروجی برای سیستمهای زهکشی در سطح مزرعه مورد استفاده قرار می‌گیرد . خروجی ثقلی و خروجی با استفاده از پمپ . خروجی ثقلی بطریقی است که آب توسط نیروی ثقلی بخودی خود از زهکشها خارج و به‌نه‌رهای طبیعی ، زهکش روباز ، دریاچه ، چاه جمع‌آوری آب یا دیگر امکاناتی که آب را خارج می‌نمایند می‌ریزد . پستی و بلندی و نفوذ پذیری خاک تعیین‌کننده نوع خروجی می‌باشند . برای استفاده از خروجی ثقلی محل آن می‌بایستی برای جمع‌آوری آبی که در زهکشها جریان دارد کافی باشد .

چاههای تخلیه زه‌آب

چاههای تخلیه زه‌آب یا چاههای زهکشی چندان کاربردی ندارند . مصرف آنها محدود به اراضی

است که لایه زیرین آنها نفوذپذیر باشند؛ از قبیل مواد آتشفشانی و یا سنگهای آهکی متخلخل .
 قبل از احداث چاه زهکشی بهتر است که در مورد قانونی بودن چنین اقدامی مطالعه کرد
 زیرا امکان آلودگی آب زیرزمینی وجود دارد .



شکل ۱۱-۲: یک زهکش زیرزمینی که بصورت منحنی است و لوله‌ها به خوبی
 جاگذاری شده است . به صاف بودن منحنی و محل اتصالات توجه شود .

تحلیه به یک زهکش روباز

معمولاً "خروجی زهکشهای زیرزمینی مستقیماً" وارد کانالهای جمع کننده روباز می شوند. لوله خروجی می بایستی محکم و حداقل ۳ متر طول داشته باشد. لوله بایستی تا روی آب در داخل نهر امتداد داشته و به این ترتیب آب لوله مستقیماً "به داخل آب نهر بریزد تا از فرسایش جلوگیری شود. لوله باید حدود ۵/۰ متر بالاتر از سطح آب داخل کانال باشد تا به هیچ وجه زیر آب داخل کانال قرار نگیرد. شاید لازم باشد که کناره نهر در جایی که لوله زهکش ظاهر می شود، با نوعی پوشش محافظت گردد. یک جعبه چوبی یا بتونی این محافظت را می تواند تأمین نماید.

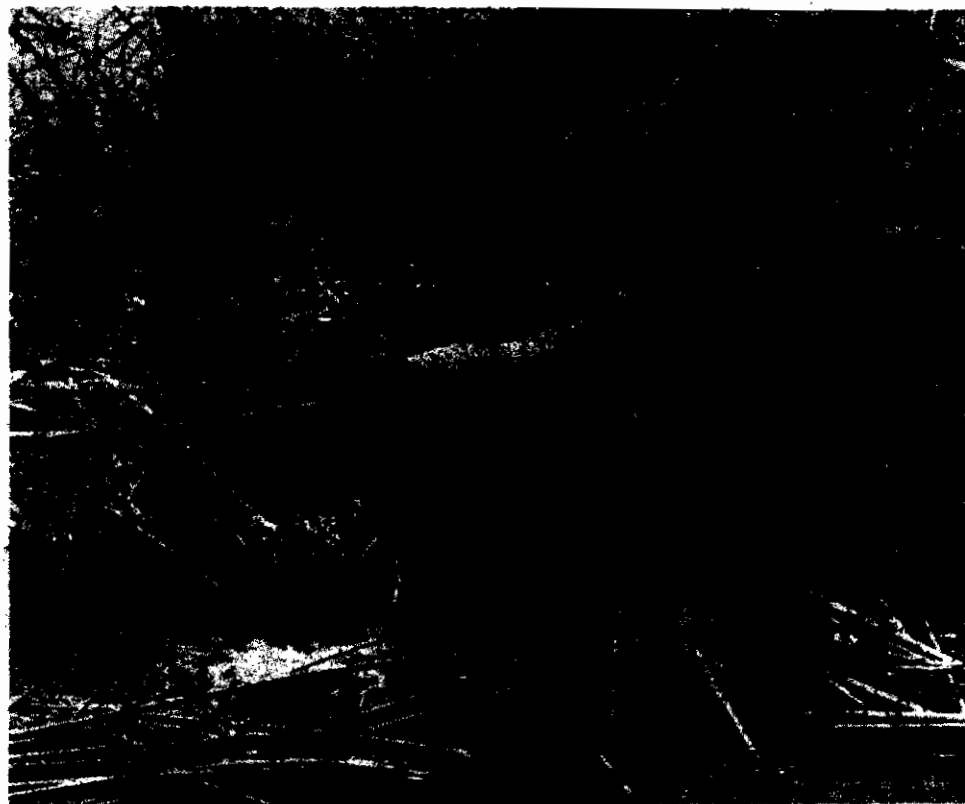
زهکش روباز یا کانال جمع آوری آب ممکن است به نوبه خود آبراهه های طبیعی که به دریا یا دریاچه می ریزند هدایت کنند. در زمینهای بارز برای زهکشهای اصلی لوله های محکمی به کار برده می شود. در این گونه زمین ها طراحی زهکشها و کانال های جمع آوری آب بسیار مهم است زیرا اینها باید طوری طراحی گردند که تمامی آب زهکشها را خارج نمایند.



شکل ۱۱-۳: گودال زهکشی برای انتقال آب سطحی به داخل تشکیلاتی که از مواد آتشفشانی نفوذپذیر تشکیل شده است.

استخرهای تبخیر

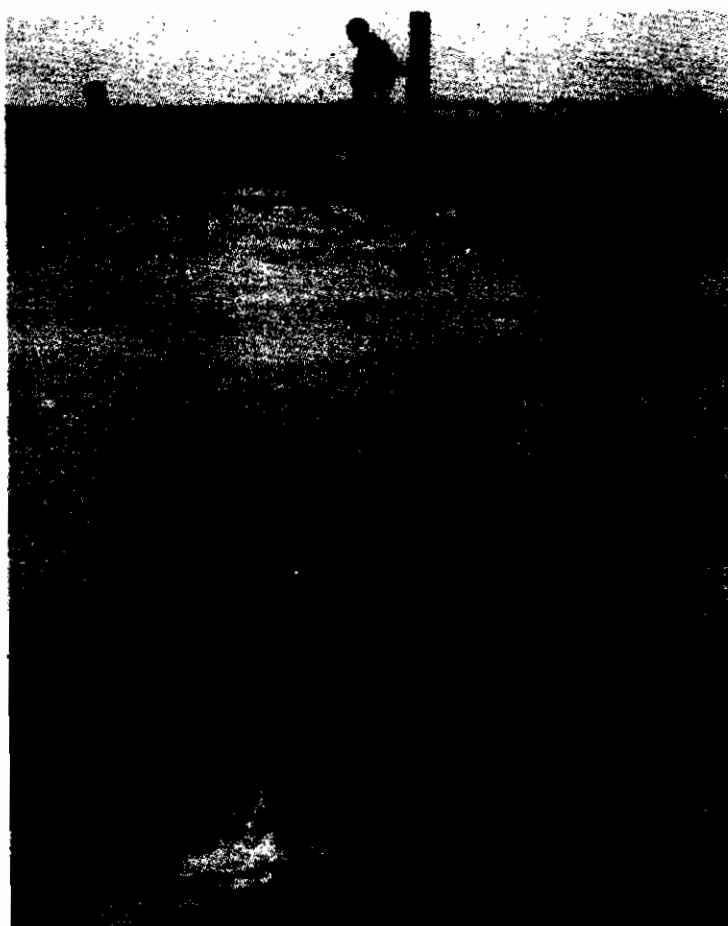
در بعضی مناطق ممکن است رودخانه یا زهکش طبیعی برای خارج کردن آب زهکشی وجود نداشته باشد و یا آن که شوری آب زهکشی مانع از آن شود که بتوان این آب را در کانالهای موجود تخلیه کرد زیرا ممکن است آب این نهرها برای آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. در این گونه مواقع باید از استخرهای تبخیر استفاده کرد. از این استخرها در استرالیا به تعداد زیادی در امتداد رودخانه مورای (Murray) استفاده می شود. در طراحی این استخرها باید به میزان تبخیر در منطقه توجه کافی مبذول گردد. اگر قرار باشد که استخرها منطقه وسیعی را بپوشانند باید این نکته را در نظر داشت که مقدار تبخیر در واحد سطح در یک پهنه بزرگ کمتر از پهنه کوچکتر است. یکی از نمونه های بارز استخرهای تبخیر دریای سالتون (Salton) در کالیفرنیا است. کلیه زه آبهای دشت امپریال به داخل این دریاچه می ریزد. این دریاچه هیچ گونه راه آبی به اقیانوس ندارد و ابعاد آن ۳۵×۱۵ مایل است میزان تبخیر از سطح دریای سالتون تقریباً برابر است با مقدار زه آبی که وارد آن می شود به اضافه مقدار باران که روی آن می بارد.



شکل ۱۱-۴: یک خروجی ثقلی که به زهکش اصلی می ریزد. توجه کنید که لوله تا روی سطح آب در داخل کانال جلو آمده است.

خروجی با پمپ

در مناطقی که زه‌کش اصلی به اندازه کافی عمیق نیست و یا اگر لازم باشد که زه‌آب از زمینهایی که سطح آنها پائین‌تر از سطح دریاست به داخل دریا پمپ شود می‌توان از پمپ استفاده کرد. اندازه این تأسیسات از پمپ کوچکی با قدرت نیم اسب بخار که فقط چند لیتر آب را در دقیقه تخلیه می‌کند تا تأسیسات بزرگی که زه‌آب مربوط به هزارها هکتار را با دبی چندین متر مکعب در ثانیه خارج می‌کند متغیر است.

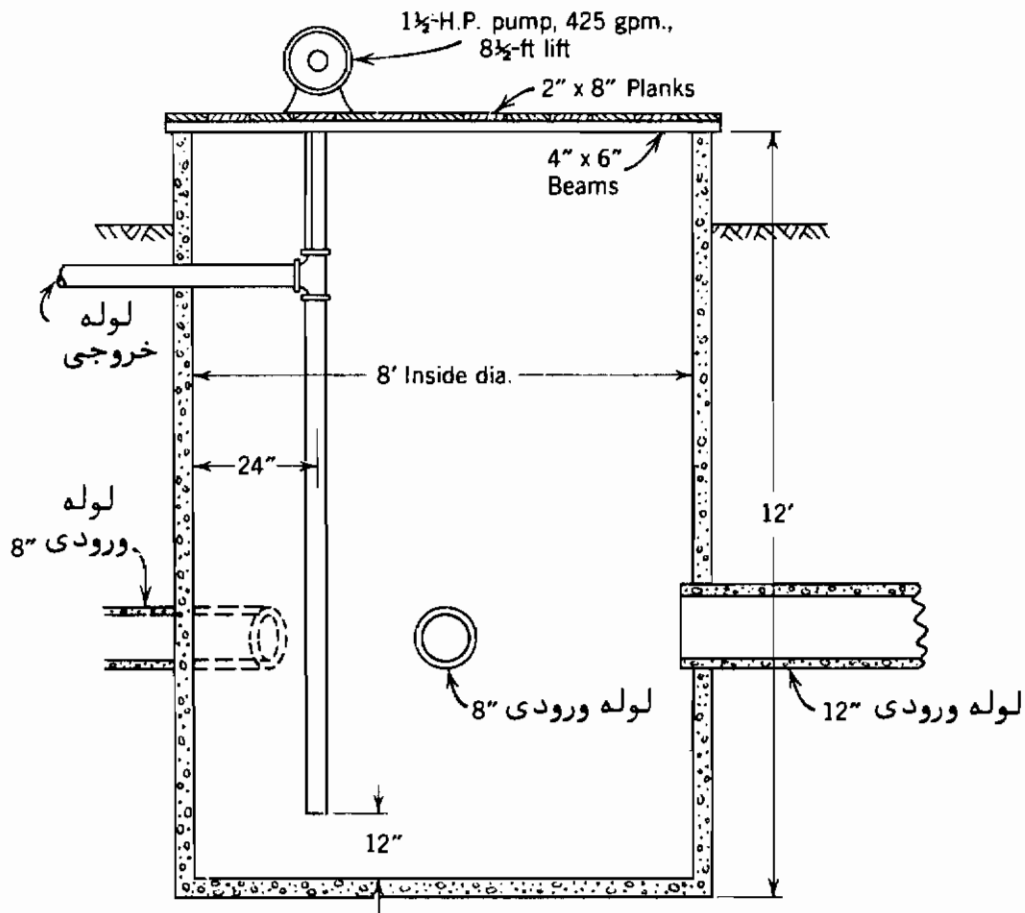


شکل ۱۱-۵: تخلیه آب از یک چاهک زه‌کش به داخل نهر روباز، مژدی که در زمینه تصویر دیده می‌شود در کنار چاهک ایستاده است.

در یک مزرعه، به دلیل کم عمق بودن زه‌کشهای جمع‌کننده، چاهک همراه با ایستگاههای پمپاژ برای تخلیه آب ضروری است. برای جمع کردن آب روشهای زیادی وجود دارد. ساده‌ترین روش احداث چاهک عمودی است. زه‌کشها آب را به داخل چاهک هدایت نموده و یک پمپ تخلیه که توسط جسم شناور کنترل می‌شود به تناوب آب را خارج می‌کند. معمولاً

سطح آب داخل چاهک از انتهای لوله‌های زهکش پایین‌تر است . ولی ممکن است سطح آب در داخل چاهک از لوله زهکش نیز بالاتر آید . در این صورت گنجایش چاهک به‌اندازه ظرفیت لوله‌های زهکش افزایش پیدا می‌کند .

زهکشهای روبازی که شیب آنها صفر است نیز به‌عنوان چاهک عمل می‌کنند .



شکل ۱۱-۶: چاهک جمع‌کننده زه آب که پمپی جهت تخلیه آب روی آن نصب گردیده است .

طرح هیدرولیکی زهکشهای زیرزمینی

خصوصیات هیدرولیکی موادی که برای زهکشها مورد استفاده قرار می‌گیرد باید بخوبی شناخته شود زیرا از این مواد برای انتقال زه آبها و هدایت آن به خارج از مزرعه استفاده می‌شود . اندازه زهکشها باید با توجه به شیب مورد نظر برای خارج کردن آب کافی باشد .

ضریب زهکشی

در مورد ظرفیت انتقال زهکشها یارنل (Yarnell) وودوارد (Woodward) (در سال ۱۹۲۵ تحقیقات وسیعی انجام دادند و گراف بسیار جالبی را تهیه کردند که در طراحیهای زهکشی زیرزمینی مورد استفاده قرار میگیرد. دبی داخل لولهها براساس فرمول مانینگ و با در نظر گرفتن ضریب زبری ۰/۰۱۰۸ محاسبه شده است. البته این ضریب برای لولههای سفالی و بتونی عدد مناسبی است ولی احتمالاً برای لولههای پلاستیکی صادق نمیباشد. برای استفاده از این گراف ابتدا باید ضریب زهکشی را در دست داشته باشیم. ضریب زهکشی مقدار آبی است که باید در مدت ۲۴ ساعت از زمین خارج گردد. در مناطق مرطوب ضریب زهکشی معمولاً بین $\frac{1}{8}$ تا ۱ اینچ در روز متغیر است و مقدار آن بستگی به میزان بارندگی و مقدار آب دریافتی از زهکشهای سطحی دارد. علاوه بر این وسعت حوضه آبریز نیز بر ضریب زهکشی موثر است.

با اندازه گیری مقدار آبی که توسط زهکشهای موجود در اراضی تحت آبیاری خارج می شود معیارهایی به دست آمده که می توان از آن در طراحیها استفاده کرد.

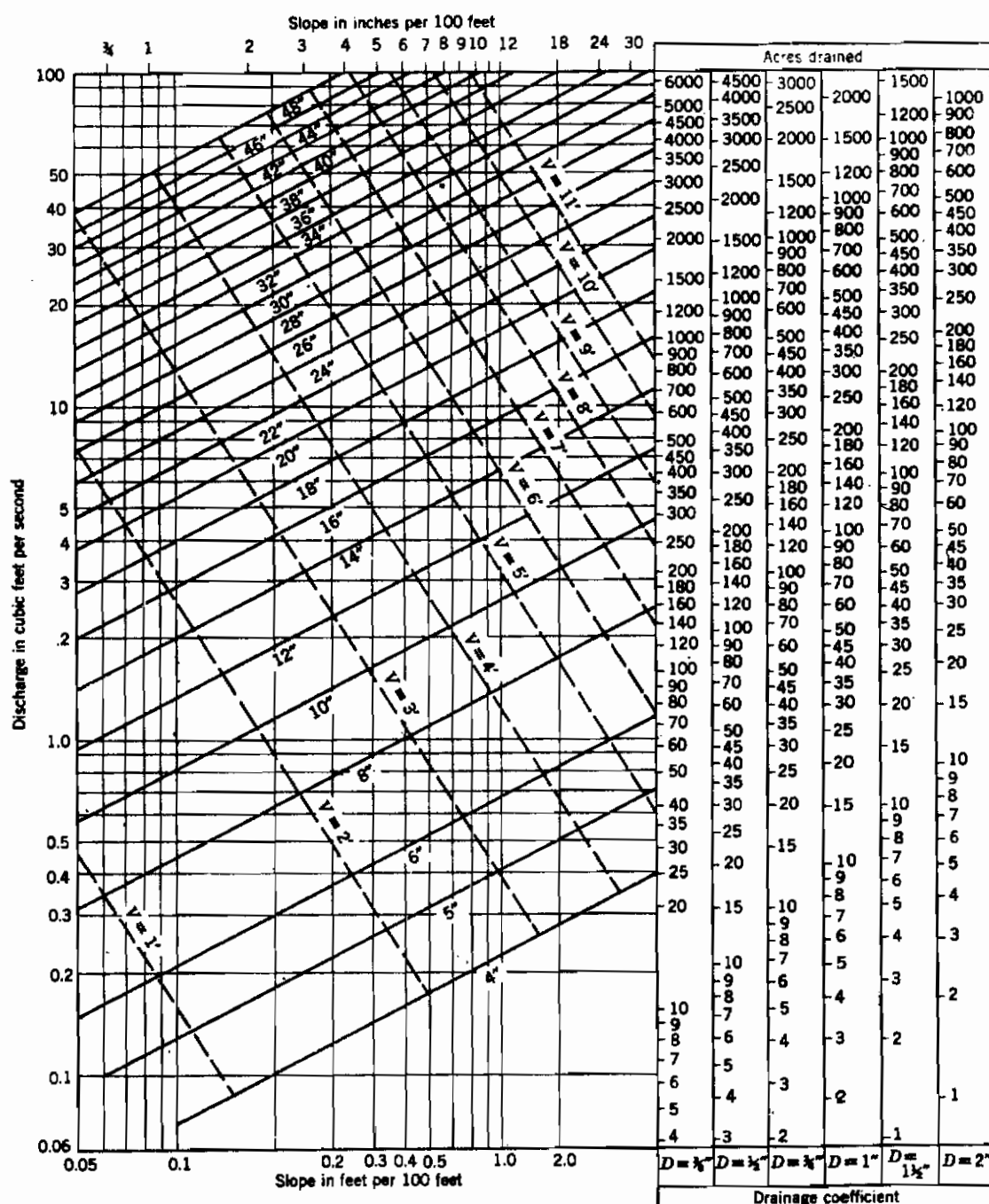
ظرفیت کشت زهکشها	مساحت
۱۱ لیتر در ثانیه	۵ تا ۲۰ هکتار
۱۹ لیتر در ثانیه	۲۱ تا ۴۰ هکتار
۶ لیتر در ثانیه برای هر قطعه ۲۰ هکتاری اضافی	۴۱ تا ۴۵ هکتار
۳ لیتر در ثانیه برای هر قطعه ۲۰ هکتاری اضافی	۵۰۰ تا ۱۵۰۰ هکتار

در آمریکا، دفتر عمران اراضی نیز همین معیارها را با کمی تغییر بسته به شرایط محلی به کار می برد.

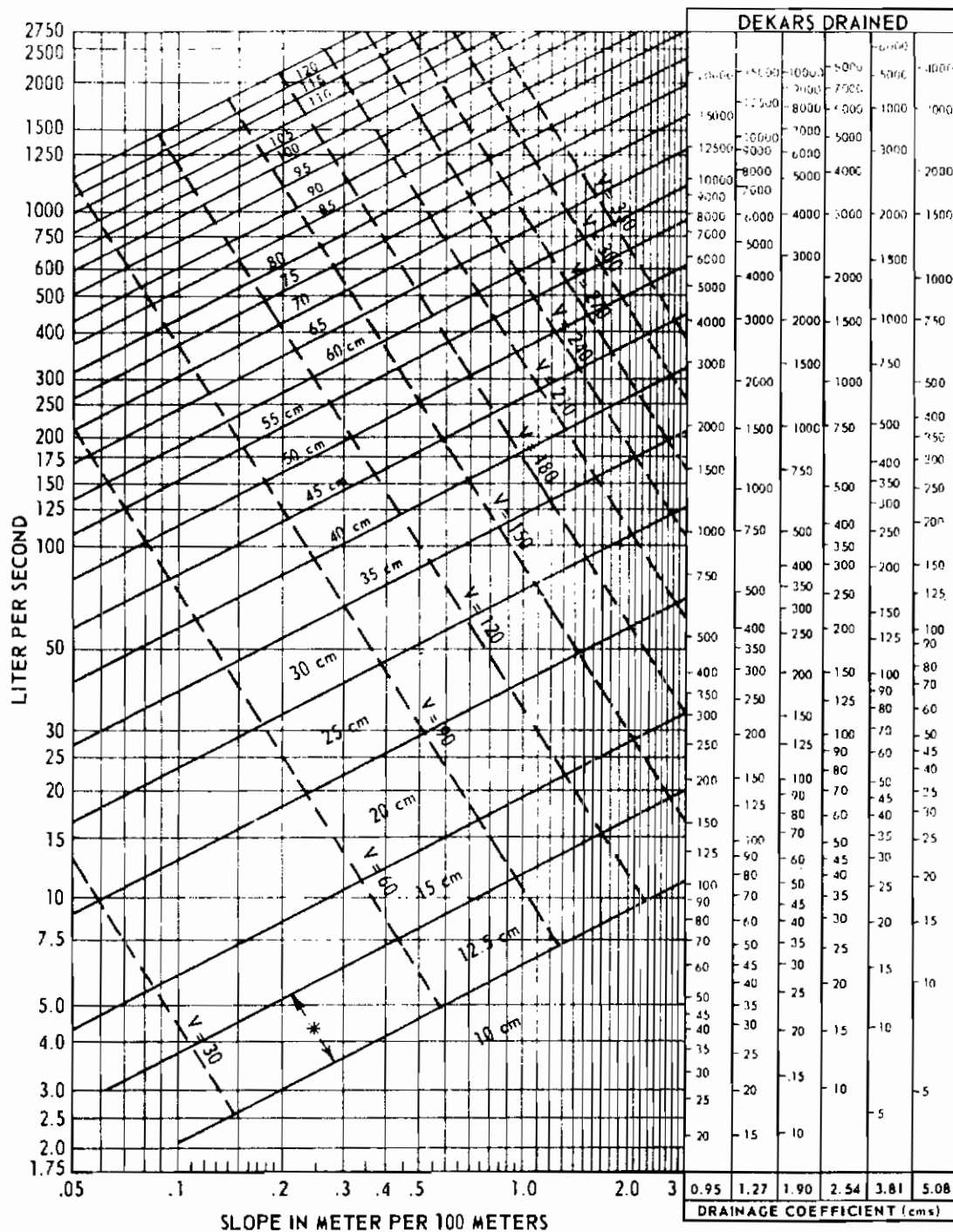
شیب خطوط زهکش

زهکشهای زیرزمینی را می توان با شیبهای مختلف کار گذاشت. در برخی شرایط ممکن است شیب آنها به صفر نیز برسد. ولی برای جلوگیری از رسوب گذاری در داخل لولهها بهتر است زهکش دارای شیب کافی باشد تا آب سرعت لازم را برای حمل رسوب پیدا کند. در نوشته های اروپایی، سرعت لازم برای حمل رسوبات ۲۰ تا ۲۵ سانتی متر در ثانیه ذکر شده است حال آن که در تحقیقاتی که در آمریکا صورت گرفته است سرعتی معادل ۳۰ تا ۴۵ ذکر گردیده است. در این سرعتها فرض شده است که لوله های زهکش پراز آب باشد. این

سرعتها را می‌توان از گرافهای یارنل و وودوارد نیز بدست آورد .
 فری ورت و همکارانش (Frevert, et al , ۱۹۵۳) در مورد حداقل شیب مورد نیاز
 برای زهکشها آزمایشهایی انجام داده و توصیه کرده‌اند که شیب لازم از مقدار ۵/۱۵ درصد
 برای لوله‌های ۴ اینچی تا ۵/۵ درصد برای لوله‌های ۱۲ اینچی و بزرگتر متغیر است .



شکل ۱۱-۷: گراف یارنل - وودوارد (Yarnell - woodward) برای
 طراحی زهکشها . فاصله بین خطوط ، دامنه تغییرات ظرفیت زهکشها را برای
 اندازه‌هایی که روی خطوط نوشته شده است نشان می‌دهد .



شکل ۱۱-۸: دیاگرام طراحی زهکشهای سفالی، فاصله بین خطوط دامنه
 تھیرات ظرفیت زهکشا را برای لوله‌هایی که اندازه آنها روی خطوط نوشته
 شده است نشان می‌دهد.

ایجاد شیب ۱/۵ درصد بوسیله ماشین آلات مشکل است. بررسی زهکشهای موجود
 شیبهای معکوس را هم در خطوط لوله‌ها نشان می‌دهد. مقدار کمی شیب معکوس اشکالی ایجاد

نمی‌کند ولی اگر این شیب بیش از ۱۰ درصد قطر داخلی زهکش باشد مقدار آبی که از لوله‌های می‌گذرد کاهش می‌یابد و ممکن است خطر رسوب‌گذاری در داخل لوله را نیز به دنبال داشته باشد.



شکل ۹-۱۱: کوچک کردن قطر لوله زهکش در انتهای لوله به منظور کم کردن میزان دبی ورودی به داخل زهکش اصلی. در این حالت زمان لازم برای پایین آوردن سطح آب زیرزمینی افزایش می‌یابد.

مشخصاتی که دفتر عمران وضع کرده است به شرح زیر می‌باشد:

حداکثر تغییر شیب مجاز نبایستی از ۱۰ درصد قطر داخلی لوله زهکش بیشتر باشد و در هر حال نباید از ۱/۵ فوت بیشتر شود. در صورتی که شیب از مقدار معمول منحرف شده باشد برگشت به حالت اولیه نباید طوری باشد که از ۲ درصد قطر لوله در هر قطعه بیشتر باشد (به عبارت دیگر برگشت شیب باید به تدریج صورت گیرد).

محافظت لوله‌های زهکش

عوامل زیادی موجب می‌گردد که یک زهکش بخوبی کار نکند از آن جمله می‌توان موارد

زیر را نام برد :

(۱) گشادن بودن درز بین دو قطعه لوله متوالی و یا سوراخهائی که در لوله‌های پلاستیکی ایجاد شده است .

(۲) در یک خط نبودن قطعات لوله‌های سفالی یا سیمانی .

(۳) شیب معکوس در خطوط لوله .

(۴) شکسته شدن یا خراب شدن زهکش در اثر بار اضافی و یا عدم استقامت لوله‌ها .

(۵) نشست قسمتی از لوله‌ها به دلیل ناپایدار بودن زیرسازی .

(۶) فرسایش خاک روئی زهکش به داخل لوله‌ها در هنگام خاکریزی و کوبیدن آن .

(۷) انتخاب غیر صحیح لایه گراولی که برای جلوگیری از ورود ذرات ماسه به داخل لوله‌ها طراحی می‌شود .

(۸) انتخاب غیر صحیح محل لایه گراولی .

بسیاری از این اشکالات ، بخصوص پیدایش شیب معکوس یا پشت سرهم نبودن لوله‌ها و شکاف بین قطعات لوله‌ها می‌توان در هنگام ساختن زهکشها برطرف کرد . فرسایش خاک نرم روی خطوط زهک به داخل لوله‌ها به هنگامی روی می‌دهد که برای نشست کردن خاک روی خطوط لوله آب انداخته می‌شود . برای جلوگیری از این مشکل می‌توان لایه‌ای از مواد غیر قابل نفوذ را روی خط لوله زهکش پخش کرد .

در اطراف لوله‌های زهکش زیرزمینی مواد مختلفی به عنوان صافی ریخته می‌شود تا از ورود شن و ماسه به داخل لوله‌ها جلوگیری شود . از جمله این مواد می‌توان گراول ، ریگ ، مواد آلی مثل بقایای گیاهی ذرت و گلرنگ و غیره را نام برد .

از طرف دیگر هزارها کیلومتر زهکش زیرزمینی وجود دارد که بدون این که هیچ لایه فیلتری در آنها به کار برده شود بخوبی کار می‌کند . در قسمتهای غرب میانه آمریکا و ایالات اوهایو ، آیوا ، الینویز حدود ۲۰ درصد از اراضی دارای زهکش زیرزمینی بوده و همگی یا فاقد فیلتر هستند یا به مقدار کمی دارای فیلتر می‌باشند ، در این مناطق خاکها پایدار است و مشکلی ایجاد نمی‌کنند . در اراضی تحت آبیاری ، ممکن است خاک در عمق پایین تر از محل نصب زهکشها و یا جاهایی که درصد سدیم قابل تبادل زیاد است ناپایدار باشد . در این گونه موارد لازم است برای جلوگیری از ورود ذرات خاک به داخل زهکشها ، پیش‌بینیهای لازم صورت گیرد . برای این منظور باید در اطراف زهکشها یک لایه فیلتر تعبیه کرد .

این لایه باید به نحوی طراحی شود که ذرات کوچک رس از داخل آن حرکت کند ولی از حرکت ذرات ماسه جلوگیری به عمل آید . اگر این لایه زیاده از حد مانند صافی عمل کند باعث خواهد شد که ذرات رس در قسمت خارجی آن رسوب کند و یک لایه غیر قابل نفوذی را

بوجود آورد. این وضعیت در مورد لایه‌های پشم شیشه پیش می‌آید که قبلاً" برای این منظور به کار می‌رفت. از طرف دیگر اگر منافذ این لایه بیش از حد بزرگ باشد ذرات ماسه نیز همراه با ذرات رس از آن عبور می‌کند و لایه بدون اثر خواهد بود. در این صورت زهکش از رسوب پر و بلااستفاده می‌شود.

پس از نصب لوله‌های زهکش و کوبیدن خاک روی لوله‌ها بزرگترین خطری که ممکن است پیش آید ناشی از جریان آب به داخل لوله‌ها از قسمت‌های زیرین است. جریان ورودی آب نیرویی را به ذرات خاک وارد می‌کند و اگر این نیرو از وزن خیس شده ذرات بیشتر باشد آنها را از جای می‌کند و با خود وارد لوله می‌کند. چنانچه شیب هیدرولیکی جریان ورودی به داخل لوله بیش از یک باشد باعث می‌گردد که ذرات خاک وارد لوله شود. این حالت را "وضعیت سریع" (quick condition) نامند و در صورت وقوع، تمامی توده خاک پایداری خود را از دست می‌دهد و ممکن است همگی وارد زهکش شود.

این مشکل را می‌توان با طراحی صحیح لایه گراول اطراف زهکش کنترل کرد. سازمانهای دولتی دستورالعملهایی را برای طراحی لایه گراولی اطراف زهکش ارائه داده‌اند که با به کار گرفتن آنها از ورود شن و ماسه به داخل زهکشها جلوگیری می‌شود. اکثر این دستورالعملها براساس طراحی لایه گراولی در اطراف قسمت مشبک لوله‌های چاههای عمیق است. مبنای طراحی نسبت بین اندازه معینی از ذرات خاک به اندازه مشخص از دانه‌های لایه گراولی است. دفتر عمران معیارهای زیر را برای طراحی لایه گراولی پیشنهاد کرده است.

$$\frac{D_{50} \text{ (فیلتر)}}{D_{50} \text{ (خاک)}} = 5 - 10 \quad \text{دانه‌بندی یکنواخت}$$

$$\frac{D_{50} \text{ (فیلتر)}}{D_{50} \text{ (خاک)}} = 12 - 58 \quad \text{دانه‌بندی خوب}$$

مطالعات جدیدی که بر روی لایه‌های گراول اطراف لوله‌های زهکش صورت گرفته نشان می‌دهد که این لایه نباید محتوی موادی باشد که از الک شماره ۵۰ عبور نماید. زیرا این مواد خود از داخل لایه حرکت کرده وارد لوله می‌شود و باعث مسدود شدن آن می‌گردد. وجود سنگ ریزه‌های بزرگ به ابعاد ۵/۰ سانتی‌متر یا بزرگتر کارآیی لایه را کاهش می‌دهد. اگر بزرگی ذرات تشکیل‌دهنده لایه به اندازه نخود باشد چنین لایه‌ای نخواهد توانست مانع ورود ماسه و سیلت به داخل لوله گردد. مواد تشکیل‌دهنده لایه اطراف زهکش باید به خوبی دانه‌بندی (well graded) شده باشد تا نقش خود را بخوبی ایفا نماید.

لایه گراولی اطراف زهکش علاوه بر این که به لحاظ جلوگیری از ورود ذرات ماسه و سیلت به داخل زهکش حائز اهمیت است خود نقش هادی آب را نیز بازی می‌کند. به علاوه این لایه

قطر مؤثر زهکش را در خاکهای چسبنده افزایش می‌دهد و مقدار جریان ورودی به داخل زهکشها در اثر ریختن این مواد در اطراف لوله‌ها را به مقدار قابل توجهی اضافه می‌کند. این مواد ممکن است شامل ذرات یک اندازه یا هر ماده‌ای باشد که قابلیت هدایت آن نسبت به آب بیش از خاکهای اطراف باشد.

وارد شدن آب به داخل زهکشهای زیرزمینی

در زهکشهای زیرزمینی آب باید از شکاف بین لوله‌هایی که پشت سرهم قرار گرفته‌اند و یا از سوراخهایی که برای جریان آب در محیط لوله‌ها ایجاد می‌گردد وارد زهکشها گردد. لوله‌هایی از جنس مواد متخلخل نیز بطور آزمایشی ساخته شده است ولی مقدار آبی که از جدار این لوله‌ها وارد می‌شود هیچ و یا بسیار کم بوده است. در زهکشهای نوع لانه‌موشی آب از تمامی محیط قابل نفوذ آن و نیز از شکافهایی که روی آنها ایجاد می‌شود وارد تونل می‌گردد.

آزمایش نشان داده است، که در وضعیتی که سطح زمین حالت ماندابی داشته باشد، دوبرابر کردن عرض شکاف بین لوله‌ها می‌تواند مقدار جریان ورودی به داخل زهکش را تا ۱۰ درصد افزایش می‌دهد.

در خاکهای ناپایدار معمولاً توصیه می‌شود که شکافها تا حد امکان کوچک باشد. صاف نبودن دوسر هر قطعه لوله به نحوی است که خود به خود برای عبور آب شکافی را به وجود می‌آورد. در مواردی که دو انتهای لوله خیلی صاف باشد ممکن است اشکالاتی از نظر وارد شدن آب به داخل زهکشها به وجود آید.

اگر اطراف لوله از یک لایه پوشیده شود در این صورت لوله طوری عمل می‌کند که گویی کاملاً نفوذپذیر است و این در موقعیتی صادق است که نفوذپذیری لایه بیشتر از نفوذپذیری خاک باشد. اگر برای اطراف لوله لایه گراولی در نظر گرفته شود می‌توان طول هر قطعه لوله را بزرگتر گرفت بدون این که اثر قابل توجهی بر دبی ورودی به داخل زهکش داشته باشد. مقدار دبی ورودی به لوله‌های بتونی ۷۵ سانتی‌متری با دبی در لوله‌های ۳۰ سانتی‌متری برابر خواهد بود به شرط آن که اطراف لوله‌ها را لایه‌ای از گراول بپوشاند.

در نواحی مرطوب اگر اطراف لوله‌ها فاقد پوشش گراولی باشد برای درز بین قطعات لوله عرض مشخصی توصیه می‌شود. مقدار آن در مورد خاکهای پایدار ۳ تا ۶ میلی‌متر است ولی در خاکهای ناپایدار باید تا حد ممکن لوله‌ها به هم چسبیده شوند.

جریان آب به داخل زهکشهای زیرزمینی بشدت تحت تاثیر شرایط هیدرولیکی اطراف

زهکشها است. بیشترین افت بار هیدرولیکی در محیط مجاور زهکشها روی می‌دهد. جریانی که داخل زهکشها می‌شود تحت تأثیر کلیه عواملی است که بر بار هیدرولیکی اثر می‌گذارد. شدت جریان به داخل زهکشها حائز اهمیت است زیرا نسبت مستقیم با میزان افت سطح سفره آب زیرزمینی دارد. پایین آمدن سطح سفره آب زیرزمینی نیز به فاصله زهکشها بستگی دارد. از این رو عوامل مؤثر بر جریان به داخل زهکشها بر فاصله زهکشها و بنابراین بر هزینه زهکشی مؤثر است.

برخی از عوامل مؤثر بر مقدار جریان عبارتند از:

۱ - قطر زهکش.

۲ - طول هر قطعه لوله (بدون لایه گراولی در اطراف لوله‌ها)

۳ - طول هر قطعه لوله (با لایه گراولی در اطراف لوله‌ها)

عوامل مؤثر بر مقدار جریان ورودی به داخل زهکشها توسط لوتین و هیک (Luthin and Haig 1972) در تانکهای آزمایشی بررسی شده است. وقتی نتایج حاصله از آزمایش با تئوری مقایسه گردید ملاحظه می‌شود که با دوبرابر شدن قطر زهکش از ۵ به ۱۰ سانتی متر مقدار دبی ۳۵ تا ۶۰ درصد افزایش پیدا می‌کند. افزایش قطر زهکش از ۵ به ۱۹ سانتی متر موجب می‌گردد که دبی ورودی به داخل زهکش بسته به ارتفاع سطح سفره آب بین ۹۰ تا ۱۳۰ درصد افزایش یابد. با کوچک کردن طول هر قطعه لوله از ۹۰ سانتی متر به ۳۰ سانتی متر میزان جریان ورودی تا ۲/۵ برابر افزایش پیدا می‌کند. پوشش لوله‌ها با پشم شیشه این اثر را کاهش می‌دهد و مقدار افزایش دبی به ۵۰ درصد می‌رسد.

اگر در قسمت زیر لوله درز، ترک و یا سوراخی باشد مقدار دبی رودی به داخل لوله به دلیل بیشتر بودن بار هیدرولیکی اضافه می‌شود. ولی اگر جریان خروجی برای بار هیدرولیکی تنظیم شده باشد، تغییر محل سوراخها تغییری در دبی ایجاد نمی‌کند. تنها اثر قابل مشاهده‌ای که سطوح مختلف آب زیرزمینی در زهکشها (خالی، یک چهارم پر و نیمه پر) دارد به دلیل تغییر اندکی است که در بار کل هیدرولیکی به وجود می‌آورد. در مطالعات فوق از این اثر صرف نظر گردیده است.

اثر فاصله زهکشها و عمق لایه غیر قابل نفوذ

بار دیگر خاکی را در نظر بگیرید که در سطح آن ارتفاعی از آب قرار گرفته باشد (حالت ماندابی) و در آن زهکشهایی با فواصل یکسان نصب شده باشد. می‌خواهیم بدانیم که فاصله زهکشها چه اثری بر دبی ورودی به داخل زهکشها دارد؟. بر اساس روش کرکهام برای حالت

ماندابی ، شدت جریان به داخل یک زهکش مستقل از فاصله زهکشها است به شرط آن که فاصله زهکشها از یکدیگر از ۱۰ متر بیشتر باشد . تغییر فواصل زهکشها اثری بر میزان جریان ورودی به داخل زهکش ندارد . به عبارت دیگر دبی ورودی به داخل زهکشها (برای فواصل معمول) مستقل از فاصله زهکشها است . یعنی از یک مزرعه که فواصل زهکشها در آن ۱۵ متر باشد دو برابر موقعی که فواصل زهکشها ۳۰ متر باشد آب زهکشی می شود و اگر فواصل زهکشها ۷/۵ متر باشد مقدار آب زهکشی ۴ برابر می شود . این وضعیت بدون در نظر گرفتن عمق لایه غیرقابل نفوذ صادق است به شرط آن که عمق لایه غیرقابل نفوذ در تمام نقاط مزرعه یکسان باشد . گرچه مقدار دبی ورودی به هر یک از زهکشها در فواصل معمول ، مستقل از فاصله زهکشها است ولی این جریان مستقل از عمق لایه غیرقابل نفوذ نیست مگر این که این لایه چندین متر زیر زهکش قرار گرفته باشد . اگر لایه غیرقابل نفوذ در عمقی بیش از ۶۰ سانتی متر زیر زهکش قرار گرفته باشد اثر آن بر دبی ورودی به داخل زهکش ناچیز است ولی اگر در عمقی کمتر از ۶۰ سانتی متر قرار گرفته باشد دبی ورودی به همان نسبت کم می شود . این مطلب که دبی ورودی به داخل زهکش با نزدیک شدن زهکش به لایه غیرقابل نفوذ کاهش می یابد الزاما به معنی این است که باید زهکش بالای لایه غیرقابل نفوذ کار گذاشته شود . در عملیات زهکشی هدف این است که سطح سفره آب زیرزمینی تا حد امکان پایین آورده شود .

اثر قراردادن لوله های زهکش در لایه هایی که قابلیت نفوذ آنها زیاد است

در بعضی موارد این امکان وجود دارد که زهکشها در لایه ای قرار داده شوند که قابلیت نفوذ آن زیاد است . از مدتها قبل مشخص شده است که اگر زهکشها در لایه های قابل نفوذ کار گذاشته شوند مقدار دبی ورودی به داخل آنها افزایش می یابد . در مورد لایه های قابل نفوذی که زیر خاکهای معمولی قرار گرفته اند ، لوتین مشاهده کرد که اگر بخواهیم دبی ورودی به داخل زهکش دو برابر شود باید نسبت ضرائب نفوذپذیری k_1/k_2 از ۱ به ۱۸/۰ تغییر کند به عبارت دیگر نفوذپذیری لایه ای که زهکشها در آن نصب گردیده باید ۵/۵ برابر نفوذپذیری خاک رویی باشد تا میزان دبی دو برابر حالتی که خاک بطور همگن می بود (Luthin 1953) ، باشد .

مشبک کردن لوله های زهکش

اثر مشبک کردن لوله های زهکش توسط کرکهام و شواب مورد مطالعه قرار گرفته است . با افزایش تعداد سوراخهای لوله مقدار افزایش نسبی که در دبی به وجود می آید کاهش می یابد .

بخصوص اگر تعداد سوراخها از ۲۰ عدد در هر فوت لوله تجاوز نماید . دوبرابر کردن قطر سوراخها از ۶ میلی متر به ۱۲ میلی متر در مورد لوله‌ای که در عمق ۱۲۰ سانتی متری نصب شده بود مقدار دبی را برای لوله‌ای که فقط ۴ سوراخ داشت ۶۸ درصد و برای لوله‌ای که ۱۰ سوراخ داشت به مقدار ۴۶ درصد افزایش داد . اثر مشبک کردن لوله در کاهش جریان برای لوله‌هایی که در عمق زیادتر نصب شده کمتر از لوله‌هایی است که در نزدیک سطح خاک نصب شده است . استفاده از لایه گراول در اطراف لوله‌های مشبک به این معنی است که برای عبور مقدار جریان معین به تعداد کمتری سوراخ در اطراف لوله نیاز می باشد .

بار وارده بر لوله‌های زهکش .

لوله‌هایی که در نزدیکی سطح زمین کار گذاشته‌اند ، نه تنها تحت تأثیر نیروی وزن خاک رویی بلکه فشار وارده از طرف حیوانات و ماشین‌آلاتی که از روی آن عبور می کنند نیز واقع می گردند . ولی لوله‌هایی که در عمق زیادتر نصب شده فقط تحت تأثیر نیروی وزن خاک می باشند . چون فشار ناشی از حرکت ماشین‌آلات عمدتاً " در یک نقطه متمرکز می شود ، لذا در مورد لوله‌هایی که در عمق کمتری نصب شده خطر شکستگی وجود دارد . کار گذاشتن لوله در داخل ترانشه یا گودال بستگی به نحوه زیرسازی آن دارد . با انتخاب شیوه مناسب برای این عمل ، مقاومت لوله‌ها در مقابل شکستگی اضافه می شود . برای محاسبه مقدار فشار وارده روی لوله‌ها دو فرمول مورد استفاده دارد . یکی از این فرمولها (Projecting-Conduit formula) برای قراردادن لوله در ته یک ترانشه عریض به کار می رود . عرض ترانشه به مراتب بیشتر از قطر خارجی لوله است . اگر عرض ترانشه از ۲ تا ۳ برابر قطر لوله بیشتر باشد فرمول مذکور باید به کار گرفته شود . برای گودالهای کم عرض معادله دیگری بنام (ditch-conduit load formula) به کار برده می شود .

ترانشه کم عرض

خاکی که برای پوشاندن روی لوله زهکش به کار می رود به نام مواد پرکننده معروف است و فرض می شود که وزن مخصوص ظاهری آن کمتر از خاکهای اطراف باشد . در اثر نشست کردن مواد پرکننده ، بین این مواد و دیواره ترانشه اصطکاکی به وجود می آید . فشار وارده بر لوله در اثر وزن مواد پرکننده به دلیل وجود همین اصطکاک کاهش می یابد . بر طبق فرمول مارستون فشار وارده بر لوله در ترانشه‌های باریک به شرح زیر است (Marston, 1930) :

$$W_e = C_d w B_d^2$$

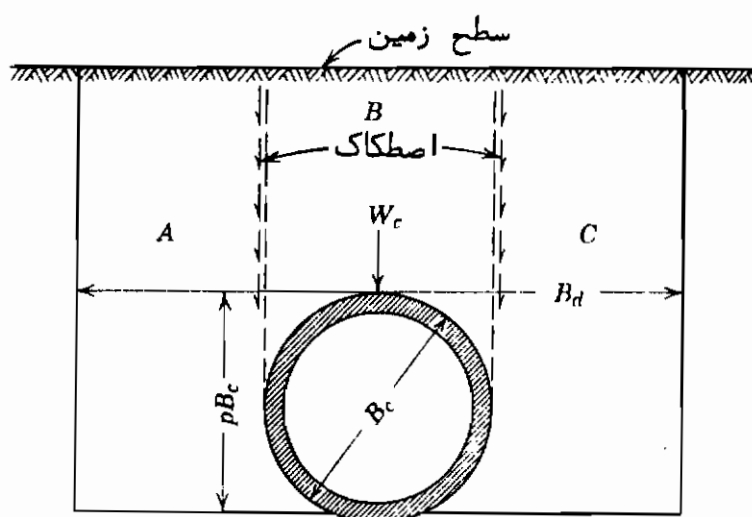
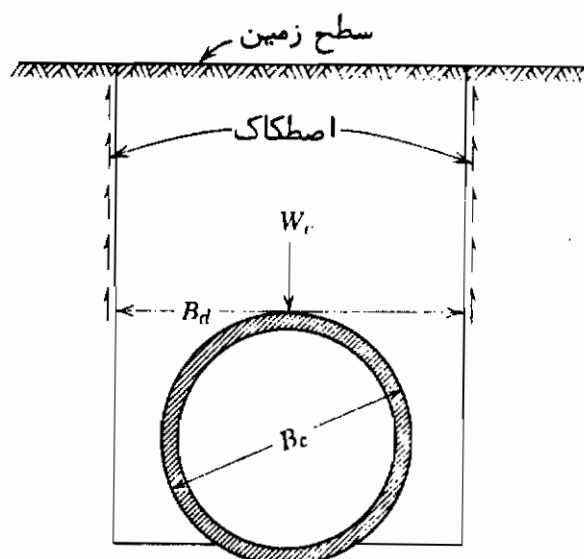
در این فرمول :

W_c = فشار وارده بر لوله

C_d = ضریب فشار

w = وزن مخصوص مواد پرکننده

B_d = عرض ترانشه در قسمت بالا



شکل ۱۱-۱۰: بالا، لوله در گودال یا ترانشه کم عرض و پایین، لوله در ترانشه عریض

ترانشه‌های عریض (Projecting-Conduit Formula)

این فرمول برای لوله‌هایی که در ترانشه‌های عریض کار گذاشته‌اند و یا لوله‌هایی که در گودالهای حفر شده بوسیله بیل‌های مکانیکی نصب شده‌اند به کار می‌رود. وضعیت فشار در ترانشه‌های عریض با وضعیت در ترانشه‌های کم عرض بسیار متفاوت است. در این جا اصطکاک

بین دیواره و مواد پرکننده نقش چندانی ندارد. موادی که مستقیماً روی لوله قرار گرفته‌اند کمتر از مواد اطراف لوله نشست می‌کنند. در نتیجه فشار وارده بر لوله، نشست مواد دوطرف افزایش پیدا می‌کند. فرمول مارستون در این مورد به شرح زیر است (Marston, 1930):

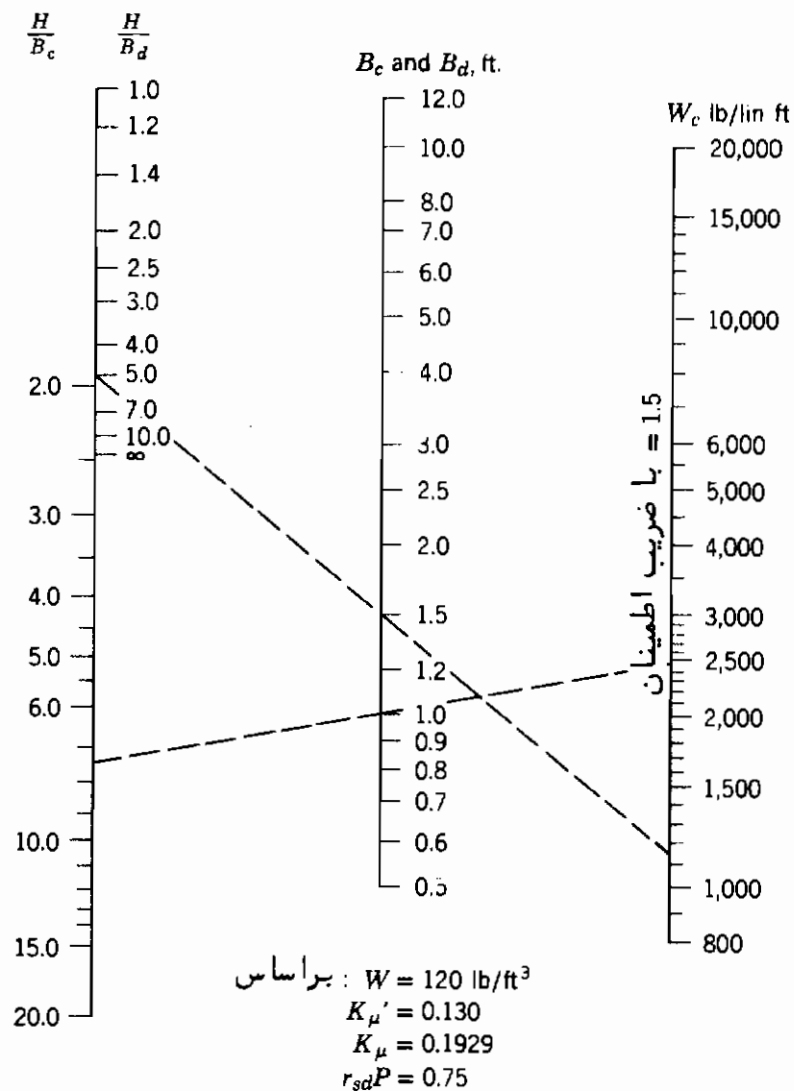
$$W_c = C_r W B_c^2$$

که در آن:

C_r = ضریب فشار

B_c = قطر خارجی لوله

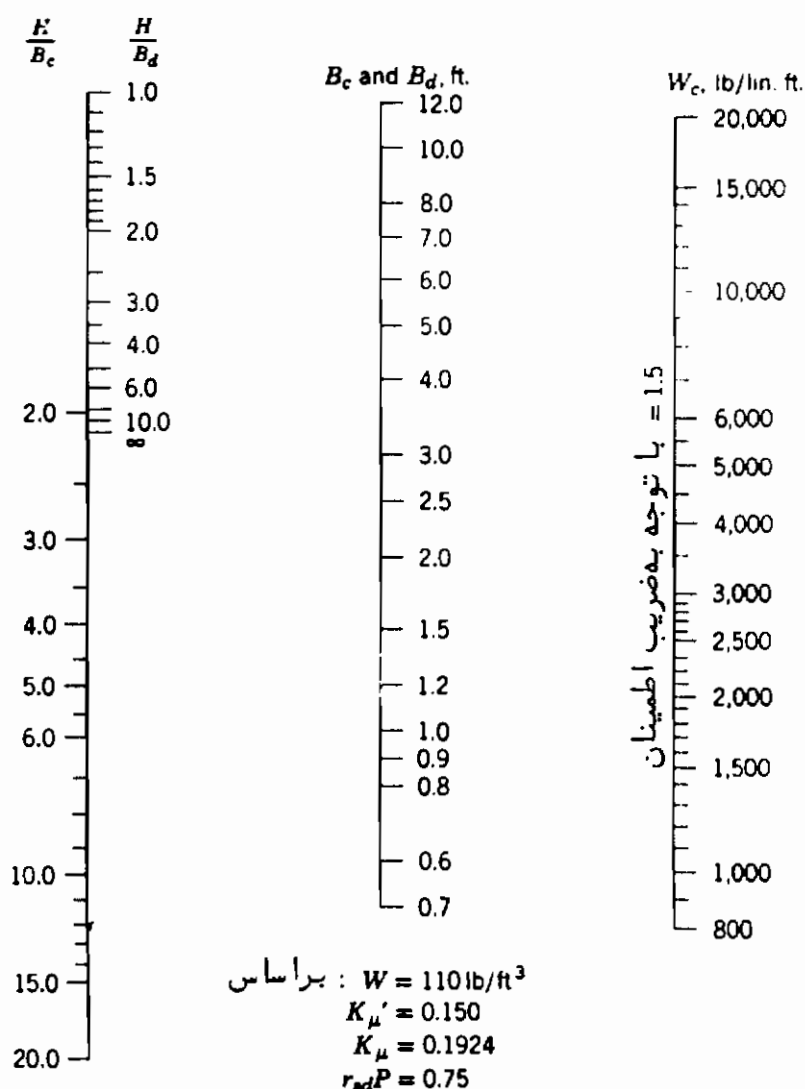
و بقیه علائم مشابه فرمول قبلی است که در مورد ترانشه‌های کم عرض گفته شد.



شکل ۱۱-۱۱: نمودار محاسبه فشار روی لوله‌های زهکش در خاکهای رسی
 مرطوب. H - عمق خاک روی لوله زهکش (فوت)
 B_c - قطر خارجی لوله زهکش (فوت)
 B_d - عرض ترانشه در بالا (فوت)
 W_c - فشار وارده بر لوله (پوند در هر فوت طولی)

نموگراف فشار

حل معادلات مارستون به دلیل وابستگی آنها به خصوصیات خاک که تعیین و اندازه گیری آنها مشکل و نیاز به وسایل خاصی دارد پیچیده است. برای ساده کردن محاسبات مربوط به فشارهای وارده، وان شیلف گارد و همکارانش گرافهایی را در این مورد تهیه کرده اند (Van Schilggaarde et al, 1951). نمودگراف برای سه نوع خاک مختلف ارائه شده



شکل ۱۱-۱۲: نمودگراف فشار وارده بر لوله های زهکش در خاکهای شنی اشباع

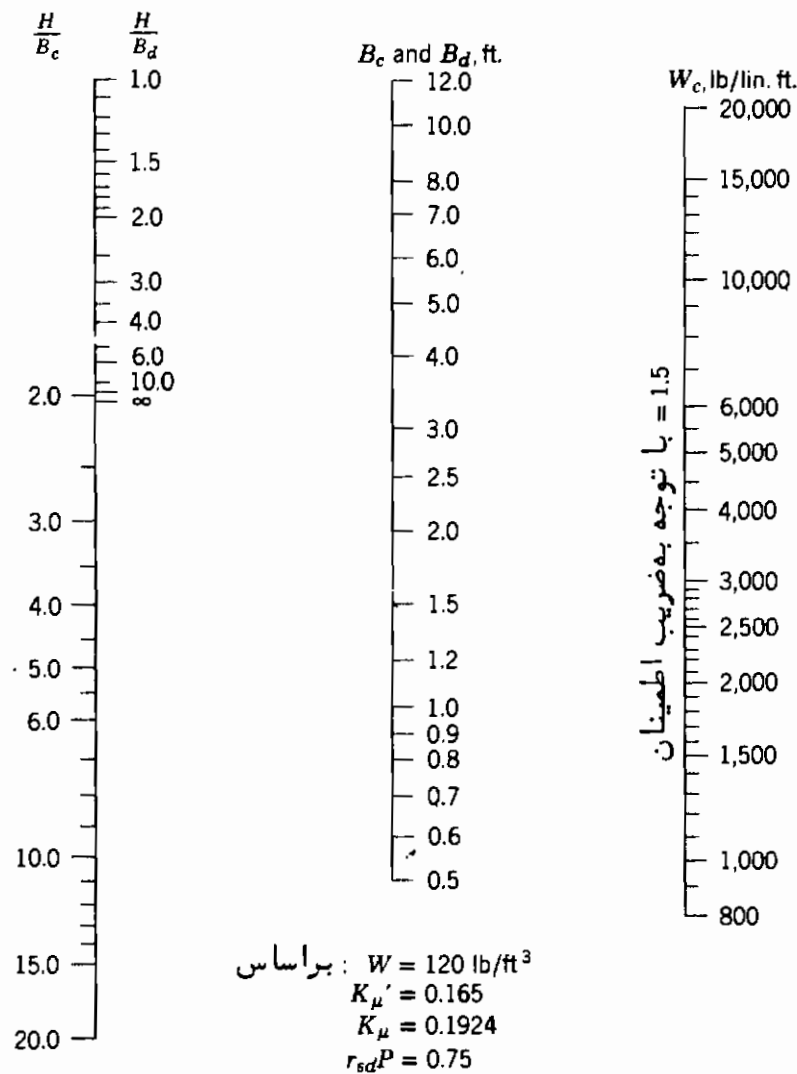
H = عمق خاک روی لوله زهکش (فوت)

B_c = قطر خارجی لوله (فوت)

B_d = عرض ترانشه در بالا (فوت)

W_c = فشار وارده بر لوله (پوند در هر فوت طولی)

است. گرچه ممکن است که خاک موردنظر ما با خاکی که در تهیه این نمودرافها استفاده شده است متفاوت باشد ولی با استفاده از آنها می توان تخمین قابل قبولی از فشارهای وارده را بدست آورد.



شکل ۱۱-۱۳: نمودراف محاسبه فشار وارده بر لوله های زهکش در صورتی که خاک بالای آن اشباع باشد.

H = عمق خاک روی لوله زهکش (فوت)

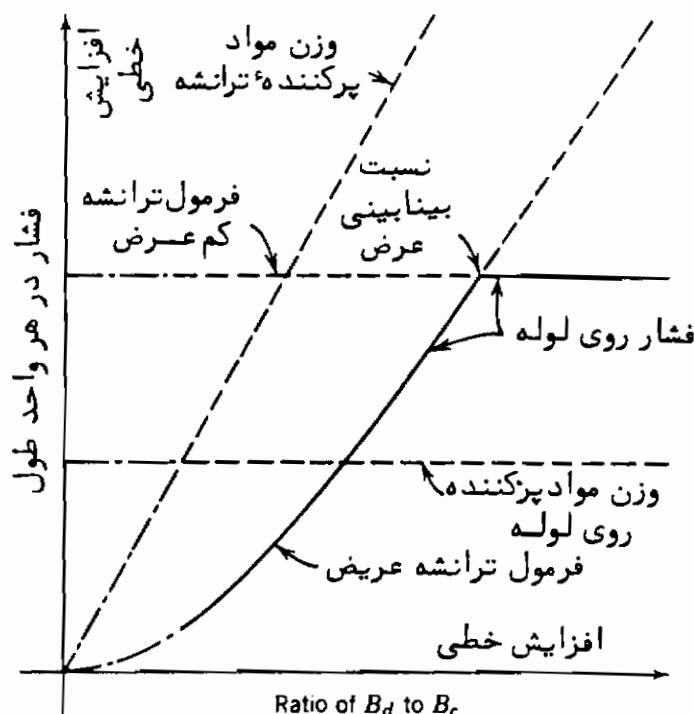
B_c = قطر خارجی لوله زهکش (فوت)

B_d = عرض بالائی ترانشه (فوت)

W_c = فشار وارده روی لوله (پوند در هر فوت طولی)

برای نشان دادن اثر افزایش عرض ترانشه بر فشار وارده روی لوله دو فرمول فول الذکر

در شکل ۱۱-۱۴ ترسیم شده است. توجه شود که فشار بوسیله هریک از فرمولها محاسبه شده است و کمترین مقدار فشار در نظر گرفته شده است

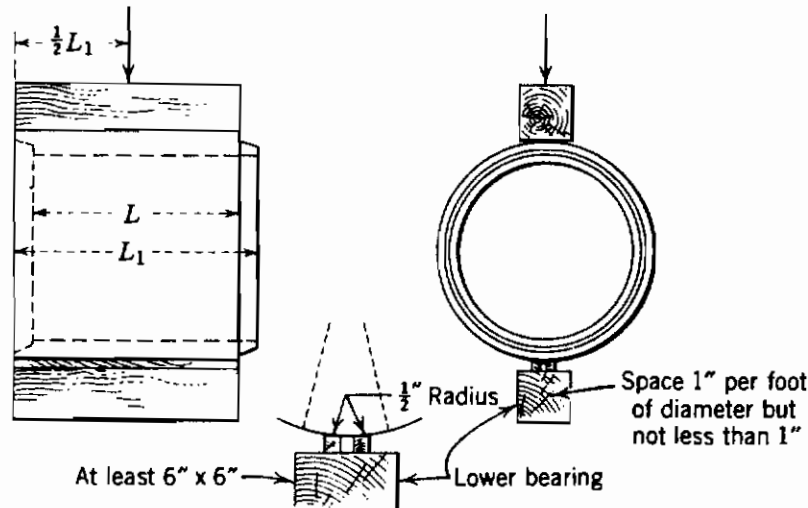


شکل ۱۱-۱۴: اثر افزایش عرض ترانسه بر فشار وارده بر لوله

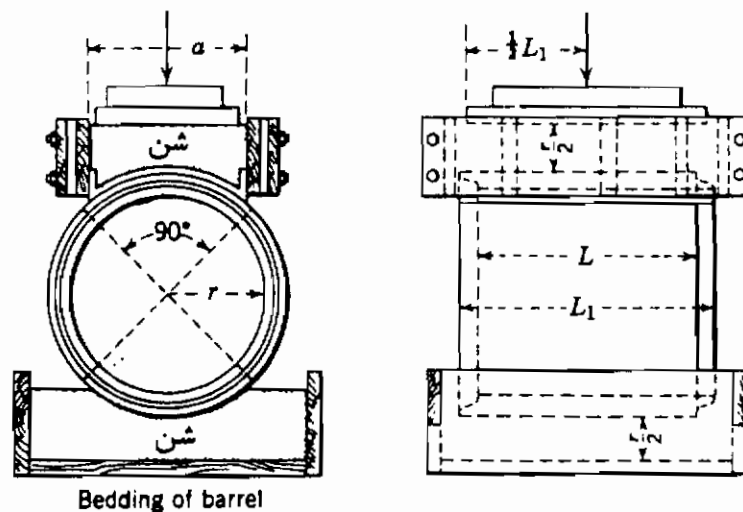
مقاومت لوله‌های زهکش

برای آزمایش مقاومت لوله‌های زهکش دو روش معمول است. اولین و معمولی‌ترین روش آزمایش مقاومت سه‌لبه است (Three-edge bearing test). وسایل مورد نیاز در این آزمایش بسیار ساده است. لوله مطابق شکل ۱۱-۱۵ مابین دو مکعب چوبی طوری قرار می‌گیرد که قسمت تحتانی آن روی دو قطعه جداگانه باشد. سپس فشار وارده از قسمت بالا به تدریج اضافه می‌شود که این کار را می‌توان بوسیله یک جک مکانیکی یا هر وسیله هیدرولیکی دیگر انجام داد. برای آشنایی با جزئیات آزمایش می‌توان مراجعه کرد به: دفترچه مشخصات استاندارد آزمایش مواد ASTM C412-60، بخش مربوط به مشخصات لوله‌های زهکش سیمانی ASTM C4-59T یا لوله‌های سفالی و یا نشریات اتحادیه سازندگان لوله‌های سیمانی. در آزمایش مقاومت بر روی شن قسمت تحتانی لوله بر روی یک بستر شنی قرار داده می‌شود اگرچه آزمایش مقاومت بر روی شن کمتر از آزمایش مقاومت سه‌لبه‌ای معمول است ولی شرایط بستری که در آزمایش مقاومت بر روی شن وجود دارد به وضعیت طبیعی قرار گرفتن

نزدیکتر است. در آزمایش روی شن، لوله مقاومت بیشتری نسبت به آزمایش سلهای از خود نشان می‌دهد. مشاهده شده است که مقاومت لوله در برابر شکسته شدن در روش آزمایش شده روی شن ۱/۵ برابر زمانی است که آزمایش بوسیله روش مقاومت سلهای انجام شده باشد.



شکل ۱۱-۱۵: آزمایش مقاومت سه لبه
(Three-edge bearing test)



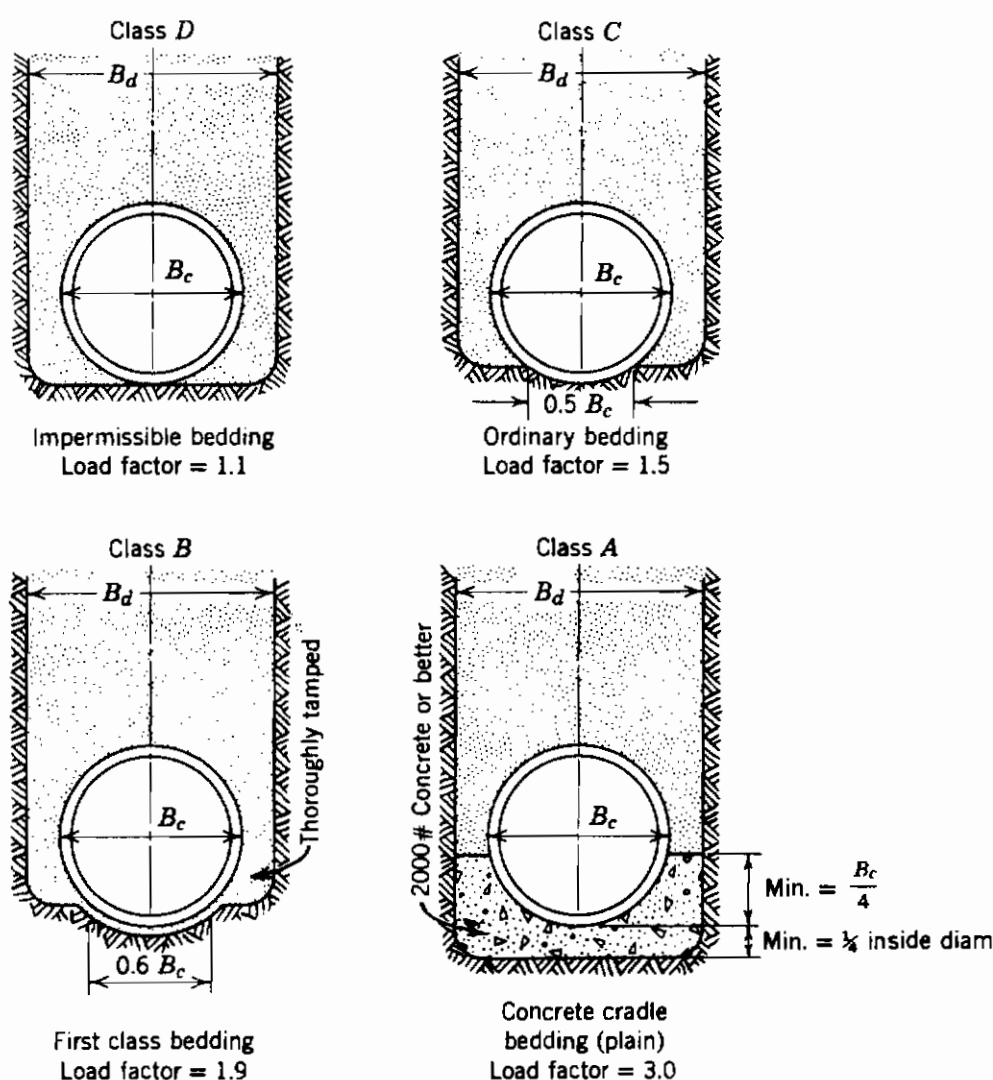
شکل ۱۱-۱۶: آزمایش مقاومت روی شن

وضعیت بستر و ضریب بار

نحوه قرار گرفتن لوله در ته ترانشه بر مقدار فشاری که می‌تواند تحمل کند مؤثر است. در این رابطه تغییرات میزان تحمل بار با ضریبی به نام "ضریب بار" نشان داده می‌شود. بنابراین مقاومتی که به روش آزمایش سلهای به دست می‌آید در این ضریب ضرب می‌شود تا مقدار مقاومت لوله در آن موقعیت بخصوص به دست آید.

در این محاسبات یک ضریب اطمینان نیز باید در نظر گرفته شود. برای این منظور معمولاً عدد محاسبه شده در $1/5$ ضرب می‌شود.

نمونه‌هایی از بسترهای مختلف در شکل ۱۱-۱۷ نشان داده شده است. بستر معمولی عمومی‌ترین نوعی است که در سیستمهای زهکشی مشاهده می‌شود. این وضعیت تقریباً "وضعیتی مشابه آزمایش مقاومت روی شن است و ضریب بار در آن $1/5$ است. اگر لوله مستقیماً در ته ترانشه کار گذاشته شود به دلیل این شرایط غیرمجاز ۳ درصد از مقاومت آن کاسته خواهد شد.



شکل ۱۱-۱۷: انواع مختلف وضعیت بستر

بستر نوع کلاس اول و کلاف بتونی معمولاً در زهکشهای مزرعه مورد استفاده ندارد ولی برای تأسیسات زهکشی در سدهای خاکی یا دیوارهای ساحلی از این نوع استفاده می‌شود.

آزمایش لوله‌های پلاستیک

استفاده از لوله‌های پلاستیکی موج‌دار در زهکشی اراضی کشاورزی در چند سال اخیر رواج پیدا کرده است. ۲۵٪ از زهکشیهای مزرعه که در سال ۱۹۷۰ در آمریکا وجود داشته لوله‌های پلاستیکی موج‌دار بوده است. این درصد هر ساله در حال افزایش است. آزمایش لوله‌های پلاستیک هنوز در حال تکوین است. در هر حال عدم موفقیت در کاربرد این لوله‌ها ممکن است به دلیل یک یا ترکیب عوامل زیر باشد:

(الف) انحنای بیش از حد

(ب) فشار حلقوی زیاد در جدار لوله، یا

(ج) پیچ‌خوردگی در جدار لوله

فوس، (Fass، ۱۹۷۲) خاطرنشان کرده است که براساس تحقیقات انجام شده در مورد ارزیابی کار لوله‌های پلاستیکی موج‌دار با قطر ۴ اینچ اگر لوله زیاده از حد انعطاف پذیر باشد اساسی‌ترین عاملی که سبب شکست این لوله‌ها با چنین قطری می‌شود انحنای زیاده از حد آن است. در لوله‌های بزرگتر فشار زیاده از حد در دیواره لوله و یا پیچ‌خوردگی دیواره ممکن است در مقایسه با لوله‌های پلاستیکی موج‌دار ۴ تا ۶ اینچ بیشتر موجب شکست گردد.

اداره حفاظت خاک آمریکا روشی برای آزمایش لوله‌های پلاستیکی ابداع کرده است که در آن لوله پلاستیکی را در یک جعبه شن دفن می‌کنند. شن خشک نوع اوتاوا برای آزمایش مصرف می‌شود برای ایجاد فشار بر روی سطح شن از یک صفحه فولادی استفاده می‌شود. حداقل ابعاد برای جعبه آزمایش D ۳ در D ۳/۷۵ است که D قطر داخلی لوله می‌باشد. نمونه‌ای از لوله را در جعبه شن بطریقی قرار داده که بالای لوله به اندازه D ۱/۵ از سطح صفحه فشار فاصله داشته باشد. اندازه صفحه فشار D ۲ مربع می‌باشد. لوله باید طوری باشد که بتواند حداقل ۲۳/۵ پوند بر اینچ مربع را تحمل کند. هیچگونه شرطی در مورد انحنای مجاز لوله برای این حداقل مقاومت داده نشده است.

آزمایش جعبه شن اداره حفاظت خاک برای لوله‌های ۴ اینچ (قطر داخلی) موج‌دار خوب است، ولی برای اندازه‌های بزرگتر انجام این آزمایش پراشکال و نتایج حاصله قابل اطمینان نیست.

آزمایش دیگری به نام انحراف صفحات موازی وجود دارد که بیشتر در مورد لوله‌های با قطرهای بزرگتر از قبیل ۸ و ۱۲ اینچ به کار برده می‌شود. نشان اصلی شکست در این لوله‌ها انحنای زیاده از حد می‌باشد. معیارهای استاندارد شده ASTM برای این آزمایش وجود دارد که با شماره ۶۸-۲۴۱۲ (مشخصات لوله‌های پلاستیکی در مقابل بار خارجی توسط صفحات

موازی بار) مشخص شده است .

علاوه بر آزمایش مقاومت در مقابل انحنای آزمایش ضربه برای تشخیص لوله‌های زهکش پلاستیکی که زیاده از حد شکننده یا با کیفیت بد هستند ، پیشنهاد شده است . مشخصات استاندارد چنین آزمایشی در ASTM تحت شماره ۶۷-۲۴۴۴ درج شده است (مقاومت در مقابل ضربه لوله و اتصالات پلاستیکی توسط یک TUP (سقوط وزنه) .

رسوبات شیمیایی در زهکشهای زیرزمینی .

در نقاط مختلف دنیا (کالیفرنیا ، فلوریدا ، سوئد ، نروژ و هلند) رسوبات لای‌گونه سیاه یا قرمز رنگی در زهکشهای زیرزمینی بوجود آمده است . در بعضی شرایط ، زهکش کاملاً " از این رسوبات پر و غیرقابل استفاده شده است . در بعضی موقعیتهای دیگر این رسوبات باعث مسدود شدن شکافهای بین لوله‌ها شده و مانع از ورود آب به داخل زهکش گردیده است .

تحقیقات نشان داده‌است که این رسوبات حاصل از فعالیت باکتریایی است که ترکیبات احیا شده آهن و منگنز را اکسیده کرده و موجب رسوب آنها می‌شود . رسوب ترکیبات آهن رنگ قرمز دارند و نسبت به رسوبات سیاه رنگ که از ترکیبات منگنز به وجود می‌آیند بیشتر مشاهده شده است .

این رسوبات در لوله‌های سفالی و بتونی و همچنین لوله‌های ساخته شده از مواد اسفالتی دیده شده است . این رسوبات در لایه پوششی اطراف لوله‌ها نیز مشاهده گردیده است . در بعضی حالات لایه گراولی کاملاً " با این رسوبات مسدود شده است . مسدود شدن صافی‌های شیشه نیز دیده شده است .

اسپنسر و همکاران (Spencer et al) گزارش داده‌اند که در فلوریدا بعضی از زهکشها بعد از چند ماه که از کار گذاشتن آنها گذشت بطور کامل مسدود شدند . ولی بعضی از زهکشها در همان محل حتی بعد از ۷ سال کار هیچگونه رسوبی مشاهده نگردید . پس از تجزیه خاک مشخص شده که این مسئله بیشتر در اراضی که دارای املاح محلول آهن هستند به صورت حاد وجود دارد .

این مشکل را می‌توان با استفاده از محلول نرمال H_2SO_4 و ۲ درصد بی‌سولفات سدیم که باعث حل شدن ترکیبات اکسید آهن و منگنز در داخل لوله‌ها می‌گردد چاره‌جویی کرد ، در اراضی که این رسوبات مسأله‌ساز هستند بهتر است که در انتهای هر خط لوله وسایلی برای شستشوی لوله تعبیه کرد .



تمیزکننده هیدرولیکی خطلوله - شلنگ سمت راست دارای سوراخهایی جهت فوران به سمت عقب است که سبب پیشروی در خطلوله می‌شود. صافی در قسمت ورودی و در سمت چپ می‌باشد.

ساختمان مخصوص زهکشهای زیرزمینی

چاهکهای بازرسی

چاهکهای آدم‌رو، درطول خطزهکش برای بازرسی لوله از نظر گرفتگی آن سوراخهایی تعبیه می‌کنند که به آن چاهک بازرسی می‌گویند. به‌علاوه این چاهکها دسترسی به لوله را برای تعمیرات و یا تمیزنمودن آنها به‌سادگی ممکن می‌سازد. استفاده از این چاهکها گران تمام می‌شود. اگر تعداد زیادی از این چاهکها ساخته شود قیمت آنها ممکن است بیش از هزینه تمام لوله‌ها گردد. بطور کلی، چاهکهای بازرسی در تقاطع لوله‌های زهکشی ساخته می‌شوند. در بعضی حالات که ریشه گیاهان تولید اشکال می‌نماید این چاهکها بفواصل ۱۰۰ متری از هم قرار می‌گیرند که تمیزکردن خطوط را در فواصل معین ممکن می‌سازد.

چاهکهای بازرسی از مصالح مختلفی ممکن است ساخته شود. معمولی‌ترین مصالح بتون است ولی در موارد زیادی چوب با موفقیت به‌کار برده شده است. بزرگی قطر این سوراخها بایستی باندازه‌ای باشد که یک نفر بتواند وارد آن شود.

به‌علت این‌که چاهکها موانعی برسر راه عملیات زراعی می‌باشند زارعین از وجود آنها استقبال نمی‌کنند. برای از بین بردن این مشکل روی چاهکها سرپوش گذاشته می‌شود. سطح بالایی چاهکهای بازرسی حداقل ۶ سانتی‌متری پایین‌تر از سطح زمین و طوری است که از ناحیه عملیات ماشینهای زراعی بکلی بدور باشد. در صورتی‌که بازرسی لازم شد باید خاک قسمت

روی چاهک برداشته شود. چاهکهای بازرسی سرپوش دار نسبت به نوع روباز آن چندان مناسب نیست، ولی مخارج ساختمان آن کمتر و مانع کمتری برای عملیات زراعی است.

حوضچه رسوب

حوضچه رسوب می‌تواند همراه با چاهکهای بازرسی ساخته شود. معمولاً "لوله ورود و خروج بدون داشتن شیب وارد حوضچه می‌شوند. در این صورت نگهداری و تعمیر این ساختمانها کمتر از نظر دور می‌ماند.

مجرای ورودی بسته یا کور

مجرای ورودی بسته، امکان نفوذ آبهای زهکشی سطحی را به سیستم زهکشی زیرزمینی فراهم می‌سازد. برای مجاری بسته موادی از قبیل چوب ذرت، گلش گلرنگ، شن، قلوه سنگ و انواع مواد دیگر مصرف می‌شود. بطور کلی مجاری کور به علت مسدود شدن آنها پس از چند سال توسط ذرات ریز خاک و سایر رسوبات رضایت بخش نبوده است، امتیاز مجرای کور مخارج کم اولیه آن و عدم دخالت در عملیات زراعی است. با ابداع طرحهای بهتر مجاری بسته ممکن است بیشتر استفاده گردد.

مجرای ورودی سطحی

مجرای ورودی سطحی، آبهای سطحی را به زهکشهای زیرزمینی وارد می‌سازد. در بعضی حالات این مجاری جهت شستشوی رسوبات داخل زهکشها ساخته می‌شوند. برای زهکشهای سطحی فراهم آوردن امکاناتی به منظور خارج کردن آشغال و مواد معلق موجود در آب زهکشی از ملزومات اولیه می‌باشد. در غیر این صورت امکان مسدود شدن زهکشهای زیرزمینی وجود دارد. اگر رسوبات شیمیایی در داخل لوله‌های زهکش تشکیل شود، مجرای ورودی سطحی برای شستشوی مواد شیمیایی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

روشهای قراردادن زهکشهای زیرزمینی

حفاری با دست

حفاری با دست در زهکشها هنوز به مقیاس کمی انجام می‌گیرد. بالا رفتن دستمزدها کارگر استفاده از حفاری دستی زهکشها را کم نموده است. حفاری دستی محدود به مناطقی است که زهکشها نزدیک به سطح می‌باشند.