

ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی

نشریه شماره ۳۱۹

وزارت نیرو

سازمان مدیریت منابع آب ایران

دفتر استانداردها و معیارهای فنی

<http://www.wrm.or.ir/standard>

معاونت امور فنی

دفتر امور فنی، تدوین معیارها

و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

<http://tec.mporg.ir/>

جمهوری اسلامی ایران
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور

ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی

نشریه شماره ۳۱۹

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران
دفتر استانداردها و معیارهای فنی

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی، تدوین معیارها و
کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله



بسمه تعالی

ریاست جمهوری
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور
رئیس سازمان

شماره: ۱۰۱/۱۳۳۳۱۹	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ: ۱۳۸۴/۷/۳۰	
موضوع: ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی	

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و در چهارچوب نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه شماره ۲۴۵۲۵/ت ۱۴۸۹۸ هـ مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) به پیوست نشریه شماره ۳۱۹ دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، با عنوان «ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی» از نوع گروه سوم، ابلاغ می‌گردد.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده نمایند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنماهای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این نشریه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها و یا راهنماهای جایگزین را برای دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله این سازمان، ارسال دارند.

فرهاد رهبر

معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان

فهرست برگه

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله
ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکشی‌های زیرزمینی / معاونت امور فنی، دفتر
امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب
ایران، دفتر استانداردها و معیارهای فنی. - تهران: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور
اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات، ۱۳۸۴.

۴۰ ص: جدول، نمودار. - (سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. دفتر امور فنی، تدوین معیارها و
کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله؛ نشریه شماره ۳۱۹) (انتشارات سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور؛
۸۴/۰۰/۹۹)

ISBN 964-425-683-2

مربوط به بخشنامه شماره ۱۰۱/۱۳۲۳۱۹ مورخ ۱۳۸۴/۷/۳۰

کتابنامه: ص. ۴۰

۱. زهکشی - استانداردها. ۲. زهکشی - طرح و محاسبه. الف. شرکت مدیریت منابع آب ایران.
دفتر استانداردها و معیارهای فنی. ب. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور. مرکز مدارک علمی، موزه
و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

۱۳۸۴ ش. ۳۱۹ ۳۶۸/س TA

ISBN 964-425-683-2

شابک ۶۸۳-۲ - ۹۶۴-۴۲۵

ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکشی‌های زیرزمینی

ناشر: سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی، مرکز مدارک
علمی، موزه و انتشارات

چاپ اول، ۲۰۰۰ نسخه

قیمت: ۶۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: سال ۱۳۸۴

لیتوگرافی: صبا

چاپ و صحافی: الجواد

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با استفاده از نظر کارشناسان برجسته، مبادرت به تهیه این دستورالعمل نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این رو، **از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:**

- ۱- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۲- ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.
 - ۳- در صورت امکان، متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.
 - ۴- نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.
- کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، خیابان شیخ بهائی، بالاتر از ملاصدرا، کوچه لادن، شماره ۲۴
سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله

<http://tec.mporg.ir>

صندوق پستی ۴۵۴۸۱-۱۹۹۱۷

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان‌سنجی)، مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرح‌های عمرانی به لحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

نظام فنی و اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه مورخ ۱۳۷۵/۴/۴ هیأت محترم وزیران) بکارگیری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرح‌ها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

باتوجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه و تدوین ضوابط و معیارهای صنعت آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور (دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله) براساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است. استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است :

- استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد
- ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیت‌های کشور تلاش نموده و صاحب‌نظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

معاون امور فنی

تابستان ۱۳۸۴

ترکیب اعضاء تهیه کننده، کمیته و ناظر(ان) تخصصی

پیش نویس استاندارد ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکش های زیرزمینی توسط جناب آقای مهندس مجتبی اکرم تهیه شده، و جناب آقای دکتر ابراهیم پذیرا مسئولیت نظارت تخصصی را به عهده داشته اند. اسامی اعضاء کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی دفتر استانداردها و معیارهای فنی که بررسی و تأیید پیش نویس حاضر را به عهده داشته اند به ترتیب حروف الفباء عبارتند از :

مجتبی اکرم	شرکت مهندسين مشاور آباران	فوق لیسانس آبیاری و زهکشی
ابراهیم پذیرا	دانشگاه آزاد اسلامی – واحد علوم تحقیقات	دکترای مهندسی منابع آب
اسماعیل جباری	دفتر بهره برداری و نگهداری از سدها و شبکه ها	فوق لیسانس هیدرولیک
سیدرحیم سجادی	معاونت فنی و زیربنایی وزارت جهاد کشاورزی	لیسانس آبیاری و زهکشی
محمد کاظم سیاهی	شرکت مهندسين مشاور پندام	فوق لیسانس آبیاری و زهکشی و فوق لیسانس عمران آب
عبدالله شمشیرساز	شرکت مهندسين مشاور پژوهاب	فوق لیسانس آبیاری و زهکشی
محمدحسین شیروی	کارشناس آزاد	لیسانس فیزیک
محمدجواد منعم	دانشگاه تربیت مدرس	دکترای آبیاری و زهکشی
مجتبی رضوی نبوی	دفتر توسعه شبکه های آبیاری و زهکشی	فوق لیسانس آبیاری و زهکشی

همچنین سرکار خانم مهندس محرابی در تنظیم نهایی این استاندارد همکاری نمودند.

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	مقدمه
۲	فصل اول : کلیات
۲	۱- هدف
۲	۲- دامنه کاربرد
۲	فصل دوم : عوامل مؤثر در فاصله و عمق زهکش ها
۲	کلیات
۲	۱- شناسایی نیمرخ خاک
۴	۲- هدایت هیدرولیک خاک
۶	۳- ضریب زهکشی
۱۰	۴- آبدهی ویژه
۱۳	۵- عمق تثبیت سطح ایستابی
۱۵	۶- عمق بهینه نصب زهکش زیرزمینی
۱۸	فصل سوم : تعیین فاصله زهکش ها در جریان های ماندگار
۱۸	کلیات
۱۹	۱- رابطه ارنست - هوخهات
۲۲	۲- رابطه کرکهام
۳۴	فصل چهارم : تعیین فاصله زهکش ها در جریان های غیرماندگار
۳۴	کلیات
۳۴	۱- روش گلوور - دم در آبیاری حداکثر
۳۶	۲- روش تعادل دینامیکی
۴۰	منابع و مراجع

مقدمه

در زهکشی موازی، تعیین عمق و فاصله زهکش‌ها از مهمترین موضوع طراحی به شمار می‌روند. هر دو عامل یاد شده، اثر بسیار زیادی بر اقتصاد طرح دارند.

روش‌های تعیین فاصله مناسب زهکش‌ها بسیارند و بدون شک تعداد آنها امروزه از ۱۵۰ روش تجاوز می‌کند. گرچه تمامی این روش‌ها را می‌توان از نظر علمی قابل قبول تلقی کرد، اما تعدادی از آنها مقبولیت جهانی یافته و طراحان و متخصصان بیشتری آنها را به کار می‌بندند. این در حالی است که مناقشاتی نیز از جهات نظری در مورد کاربرد آنها وجود دارد. به عنوان نمونه می‌توان از دو سازمان مهم و معتبر ایالات متحده نام برد که در زمینه زهکشی شهرت جهانی دارند ولی یکی از آنها روش ارنست – هوگهات و دیگری روش تعادل دینامیکی را به عنوان روش‌های طراحی خود پذیرفته‌اند.

در مورد عمق مناسب نصب زهکش‌ها نیز همه طراحان معتبر، نظر واحدی ندارند. به عنوان نمونه می‌توان گفت که طراحان آمریکایی، نصب زهکش‌ها را در عمقی بیشتر از طراحان اروپایی در نظر می‌گیرند. با افزایش عمق زهکش، فاصله آنها نیز افزایش می‌یابد و از این رو، در هزینه‌ها تأثیر می‌گذارند، گرچه مقوله‌های عمق و فاصله زهکش‌ها را می‌توان جدا از یکدیگر فرض کرد، اما حقیقت این است که این دو به یکدیگر نیز ارتباط دارند و باید حد بهینه‌ای را در انتخاب این دو جستجو کرد.

هرچند مبانی علمی و روش‌های محاسبه فاصله و عمق زهکش‌ها در کتاب‌های علمی و در کتاب‌های راهنمای مؤسسات مهم بین‌المللی نظیر SCS، LISBR، FAO و ILRI آورده شده و در آنها توضیحاتی کلی در این مورد داده شده است، ولی تجربه نشان می‌دهد که داشتن یک راهنمای استاندارد می‌تواند در هر کشور، دیدگاه دست‌اندرکاران را به یکدیگر نزدیکتر کند.

فصل اول : کلیات

۱- هدف

هدف از این نشریه، ارائه راهنمایی برای مشخص کردن فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی موازی در زمین‌های کشاورزی است.

۲- دامنه کاربرد

ضوابط طراحی ارائه شده در این نشریه برای تعیین عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی در داخل ایران قابل استفاده می‌باشد.

فصل دوم : عوامل مؤثر در فاصله و عمق زهکش‌ها

کلیات

برای طراحی عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی، کسب اطلاع از موارد زیر ضروری است :

- شناسایی نیمرخ خاک به ویژه از نظر پی بردن به عمق لایه‌های محدود کننده و لایه‌های با آبگذری بالا،
- اندازه‌گیری و برآورد منطقه‌ای هدایت هیدرولیک خاک،
- ضریب زهکشی،
- تخلخل مؤثر یا آبدهی ویژه،
- عمق تثبیت سطح ایستابی یا حداکثر عمق مجاز بالا آمدن آب،
- رقوم خروجی زهکش‌ها برای تخلیه ثقلی آنها، و
- ماشین‌آلات در دسترس.

۱- شناسایی نیمرخ خاک

شناسایی نیمرخ خاک در مطالعات زهکشی از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در مطالعات متداول خاکشناسی، به طور معمول شناسایی نیمرخ خاک تا عمق $\frac{1}{2}$ و حداکثر $\frac{1}{5}$ متری انجام می‌شود؛ در حالی که در مطالعات زهکشی، به بررسی لایه‌های عمیق‌تر خاک، به ویژه از نظر لایه محدود کننده و لایه با آبگذری بالا، توجه خاصی مبذول می‌شود. در واقع آنچه که برای متخصصین زهکشی اهمیت بیشتری دارد، قابلیت انتقال آب در لایه‌های مختلف خاک است.

در خاک‌های یکنواخت، عمقی که در آن، بخش مهمی از آب زیرزمینی به سمت لوله‌های زهکش جریان می‌یابد، تقریباً از

محل سطح ایستابی، تا فاصله‌ای معادل $\frac{1}{8}$ فاصله زهکش‌ها است (برخی از مراجع $\frac{1}{4}$ را به جای $\frac{1}{8}$ بیان می‌کنند).

با توجه به مشکلاتی که در امر حفاری دستی چاهک‌ها به منظور شناسایی نیمرخ خاک وجود دارد، به طور معمول عمق لایه‌بندی خاک از ۶ متر تجاوز نمی‌کند. این عمق، برای زهکش‌هایی که فاصله بین آنها در حدود ۲۵ تا ۵۰ متر است کفایت می‌کند.

اگر تا عمق متداول لایه‌بندی، به لایه محدود کننده برخورد نشود، چنانچه فاصله محتمل زهکش‌ها از حد گفته شده در بالا تجاوز کند، کاوش برای شناخت لایه‌های مختلف خاک و به ویژه برای لایه محدود کننده، باید تا اعماق بیشتر و اغلب تا حدود ۲۰ متری صورت پذیرد. در هر حال، اگر امکان بررسی تا این عمق وجود نداشته باشد، توصیه می‌شود تا با کمک مته دستی یا در صورت ضرورت، با حفره چاه دست کن، حفاری و شناخت لایه‌ها تا عمق حدود ۹ متری انجام شود.

مهم‌ترین عواملی که در بررسی لایه‌های خاک مورد توجه قرار می‌گیرد عبارتند از :

- بافت خاک ،
- ساختمان خاک ،
- رنگ خاک،
- گچ، آهک و نمک طعام ،
- وجود رنگدانه^۱،
- وجود علایم احیای خاک^۲،
- پایداری خاک ،
- وجود ریشه،
- بوی مرداب و لجن،
- بقایای جانوران،
- مقاومت در مقابل حفاری، و
- رطوبت در هنگام حفاری و سطح برخورد به آب زیر زمینی.

آنچه در بررسی نیمرخ خاک به منظور زهکشی از بیشترین اهمیت برخوردار است، تشخیص لایه محدود کننده است زیرا دانستن عمق این لایه، برای به کار بردن در بسیاری از روابط تعیین کننده فاصله زهکش‌ها اجتناب‌ناپذیر است. کارشناسان زهکشی اغلب می‌توانند با تجزیه و تحلیل مجموعه‌ای از عوامل بالا، موقعیت لایه محدود کننده را مشخص کنند. از میان این عوامل، بافت خاک، وجود ذرات درشت آبگذر مانند بلورهای گچ، ذرات شن، وجود رنگدانه و علایم احیای خاک نقش تعیین‌کننده‌تری دارند.

ترجیح داده می‌شود که زهکش‌های زیرزمینی در آبگذرترین لایه قرار گیرند. از این جهت، شناخت این لایه‌ها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است زیرا اگر زهکش در این لایه‌ها قرار گیرد، در دفع آب از کارآیی بالاتری برخوردار خواهد بود.

1 - Mottling

2 - Gley

۲- هدایت هیدرولیک خاک

جریان آب به سمت زهکش‌ها، به طور عمده افقی است و هدایت هیدرولیک افقی خاک از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدرودینامیک آن است که در محاسبه فاصله‌های زهکش‌های زیرزمینی مورد نیاز است. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک وجود دارد. این اندازه‌گیری‌ها را می‌توان در آزمایشگاه یا در محل واقعی خود انجام داد. اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی به دلیل کوچک بودن اندازه نمونه‌ها و دست خورده بودن آنها (علیرغم تمام تلاشی که ممکن است در تهیه نمونه‌های دست نخورده انجام شود) در مطالعات زهکشی از اولویت برخوردار نیستند. آزمایش‌های صحرایی نیز به نوبه خود به دو گروه زیر و بالای سطح ایستابی تقسیم می‌شوند. برای اندازه‌گیری در شرایط زیر سطح ایستابی، این دو روش معمول و متداول‌تر است: روش چاهک^۱ و روش حفره زیر لوله یا روش پیزومتری^۲.

روش اول یا روش چاهک به طور کلی برای اندازه‌گیری میانگین هدایت هیدرولیک در لایه‌هایی که آزمایش در آنها انجام می‌شود و روش دوم برای اندازه‌گیری در یک لایه خاص انجام می‌گیرد. روش‌های متداول اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک، در بالای سطح ایستابی عبارتند از: روش چاهک معکوس یا پورشه^۳، روش تزریق به چاهک^۴ و روش نفوذسنج گلف^۵. در ایران، روش چاهک معکوس از سایر روش‌ها متداول‌تر است و در ظاهر نتیجه‌های به دست آمده از آن، همبستگی بهتری با روش چاهک دارد. در هر حال، بررسی‌های به عمل آمده، نشان داده است که در خاک‌های ایران، همواره این روش نسبت به روش چاهک نتیجه‌های کمتری به دست می‌دهد، به شکلی که می‌توان چنین پنداشت که نتیجه‌های به دست آمده از روش چاهک به طور کلی ۳ تا ۴ برابر نتیجه‌های به دست آمده از چاهک معکوس است. این واقعیت، نظریه ون هرن^۶ مبنی بر تساوی نتیجه‌های دو روش را تایید نمی‌کند.

تعداد آزمایش‌های صحرایی، به ناهمگونی خاک بستگی دارد. خاک هر چه همگون‌تر باشد، آزمایش‌های مورد نیاز کمتر است و به عکس، با بالا رفتن درجه ناهمگونی، تعداد آزمایش‌ها افزایش می‌یابد. سازمان خوار و بار و کشاورزی جهانی، با توجه به فاصله محتمل زهکش‌ها از یکدیگر، جدول ۱ را برای تعداد آزمایش پیشنهاد کرده است.

جدول ۱- تعداد آزمایش‌های مورد نیاز در هر یکصد هکتار از اراضی (مأخذ شماره ۵)

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	

-
- 1 - Auger Hole Method
 - 2 - Pipe Cavity Test Method (Piezometer Method)
 - 3 - Inversed Auger Hole Method (Porchet Method)
 - 4 - Shallow Well Pump-in Test Method (SWPT)
 - 5 - Guelph Permeameter Method
 - 6 - Van Horn

در ایران، با توجه به مراحل مختلف مطالعاتی، در طرح‌های بزرگ، تعداد آزمایش‌های توصیه شده توسط استانداردهای مهندسی آب کشور به شرح جدول ۲ است.

جدول ۲- 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

حقیقت این است که تراکم اندازه‌گیری‌ها در خاک‌های ایران که به‌طور معمول لایه لایه هستند، کم بوده و این تعداد باید تا آنجا که امکان دارد افزایش یابد. متأسفانه کمبود اعتباراتی که اغلب به مطالعات اختصاص می‌یابد و اهمیت کمی که به مطالعات داده می‌شود، همراه با سرعتی که به‌طور معمول کارفرمایان انتظار دارند، به پایین آوردن استاندارد منجر شده است. بررسی‌های به عمل آمده، نشان داده است که پراکندگی نتیجه آزمایش‌ها در منطقه‌ای محدود، نسبتاً زیاد است و بنابراین، طراح با مشکل انتخاب هدایت هیدرولیک (برای استفاده در روابط تعیین فاصله زهکش‌ها) روبرو است. برای کاستن از این مشکل و به منظور برآورد دقیق‌تر و صحیح‌تر هدایت هیدرولیک خاک منطقه، دو راه حل وجود دارد: افزایش تعداد اندازه‌گیری‌ها و احداث مزرعه آزمایشی. چنانچه راه حل اول انتخاب شود، مقادیر بسیار بالا و بسیار پایین از داده‌ها حذف می‌گردد و از بقیه نتیجه‌ها، معدل حسابی یا هندسی گرفته می‌شود. برخی معتقدند که در پارامترهای هیدرودینامیک خاک، معدل‌گیری هندسی نتیجه‌های واقعی‌تری را به دست می‌دهد. در صورتی که راه حل دوم انتخاب شود، با نصب چاهک‌های مشاهده‌ای، اندازه‌گیری سطح آب در آنها، پس از آبیاری و همچنین اندازه‌گیری بده خروجی آب از زهکش‌ها، با محاسبه ضریب عکس‌العمل می‌توان به هدایت هیدرولیک واقعی خاک منطقه دست یافت (نگاه کنید به: دستورالعمل مزارع آزمایشی زهکشی).

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک، باید در عمقی که در آن آب به‌طور افقی جریان دارد، انجام گیرد. از آنجا که این عمق، همانطور که گفته شد، زیاد است (در خاک‌های بدون لایه محدود کننده تا $\frac{1}{8}$ فاصله محتمل زهکش‌ها و در خاک‌های با لایه محدود کننده، تا محل برخورد به این لایه) به‌طور معمول، این اندازه‌گیری‌ها از محل برخورد به سطح آب (در مورد روش‌های بالای سطح ایستایی از ۱ متری) تا عمق ۲/۵ و یا ۳ متری انجام می‌شود. نظرات کارشناسی در مورد پذیرش نتیجه آزمایش و یا اصلاح و تعدیل آن، با توجه به لایه‌بندی قسمت‌های پایین‌تر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پیشنهاد مراجع معتبر جهانی برای عمق اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در جدول ۳ آورده شده است. بدیهی است که این مقادیر، برای هنگامی است که تا

آن عمق به لایه محدودکننده برخورد نشده باشد. در این جدول، L فاصله زهکش‌ها، K_v هدایت هیدرولیک قائم و K_h هدایت هیدرولیک افقی خاک است.

جدول ۳- عمق مناسب اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک به نقل از کتاب (مأخذ شماره ۶)

شرایط خاک	در کلیه نقاط	در ۲۰ درصد نقاط	در ۱۰ درصد نقاط
خاک عمیق با نفوذپذیری خوب	$L/10$	$L/6$	
خاک با لایه‌های زیرین مطبق			
$K_v < K_h$	$L/20$	$L/10$	
$K_v \ll K_h$	$L/20$		$L/10$
خاک با لایه زیرین کم نفوذ	$L/20$		$L/10$

سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی، نظرات متفاوتی را ارائه کرده که در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- عمق مناسب اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک (متر زیر عمق نصب زهکش) (مأخذ شماره ۵)

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

۳- ضریب زهکشی^۱

در جریان ماندگار^۲، فرض بر این است که مقدار تغذیه، درست برابر مقدار تخلیه است و سطح آب زیرزمینی با گذشت زمان به هیچ‌وجه تغییر نمی‌کند. ضریب زهکشی، شدت تغذیه یا تخلیه آب را نشان داده و با میانگین عمق یا بده خروجی زهکش‌ها برابر است. ضریب زهکشی به عوامل زیادی از جمله بافت خاک، نوع کشت، عمق ریشه، میزان آب آبیاری، فاصله آبیاری، شیب اراضی، روش آبیاری، عمق زهکش، عمق لایه محدودکننده، شوری آب و خاک، نشت از اراضی بالادست، نشت از کانال‌ها و جوی‌ها و... بستگی دارد. بسیاری از این عوامل به مدیریت آبیاری و برخی از آنها به موقعیت زهکش وابسته است.

1 - Drainage Coefficient

2 - Steady State

اگرچه برای برآورد ضریب زهکشی روش‌های مختلفی وجود دارد، اما اندازه‌گیری تخلیه از مزارع مشابهی که در حال زهکشی هستند، بهترین راهنما برای برآورد به شمار می‌رود.

ضریب زهکشی در مناطق مرطوب، از تجزیه و تحلیل بارش‌ها برای دوره‌های برگشت معین به دست می‌آید. به طور معمول، دوره برگشت ۵ سال مورد توجه قرار می‌گیرد و در اروپا و آمریکای شمالی برای غلات، به طور معمول رقمی در حدود ۱۰ تا ۱۳ میلی‌متر بر روز به دست می‌آید. این رقم برای سبزیجات، حتی از مقادیر پیش گفته شده نیز بیشتر است. در مناطق فاریاب، ضریب زهکشی با استفاده از بیلان آب از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$D_R = \frac{D_P - D_{uf} + D_{CS} - D_{nd} + D_{us}}{IR_{in}} \quad (۱)$$

که در آن :

D_R = ضریب زهکشی (میلی‌متر بر روز)،

D_P = نفوذ عمقی از ناحیه پایین ریشه (میلی‌متر)،

D_{uf} = جریان مویینه‌ای از سطح سفره به سمت بالا (میلی‌متر)،

D_{CS} = نشت از کانال‌ها و جوی‌ها (میلی‌متر) ،

D_{nd} = زهکشی طبیعی خاک (میلی‌متر)،

D_{us} = نشت به سمت بالا یا آرتزین (میلی‌متر)، و

IR_{in} = فاصله آبیاری (روز).

جدول ۵- ضریب زهکشی در شرایط مختلف برای طراحی (مأخذ شماره ۶)

منطقه	گیاه	خاک	ضریب زهکشی (میلی‌متر بر روز)
شرق آمریکای شمالی و غرب میانی ایالات متحده	غلات، حبوبات و علوفه	معدنی	۱۰-۱۳
		آلی	۱۳-۱۹
	سبزیجات	معدنی	۱۳-۱۹
		آلی	۱۹-۳۸
پروژه MARDAN پاکستان	نیشکر، گندم، ذرت، علوفه و چغندر قند	معدنی	۳
دره نیل مصر	ذرت، شبدر، لوبیا، گندم و پنبه	معدنی	۲
	برنج		۴

چنانچه زهکشی به منظور کنترل شوری طراحی شود، نیاز آبشوی (LR) از رابطه (۲) محاسبه می‌شود و در صورتی که از D_p بیشتر باشد، مقدار LR به جای D_p در رابطه (۱) قرار داده می‌شود :

$$LR = \frac{EC_i}{EC_p - EC_i} I \quad (2)$$

که در آن :

LR = نیاز آبشویی (میلی متر)،

EC_i = هدایت الکتریکی آب آبیاری (دسی‌زیمنس بر متر)،

EC_p = هدایت الکتریکی دلخواه آبی که به صورت نفوذ عمقی از ناحیه پایین ریشه‌ها خارج می‌شود (دسی‌زیمنس بر متر)،

I = عمق آب آبیاری (میلی متر)،

LR = کسری از آب نفوذ یافته‌ای است که باید به صورت نفوذ عمقی خارج شود تا تعادل نمک در خاک برقرار شود.

در بهترین شرایط، از نظر راندمان آبیاری، D_p برابر است با LR . مقادیر EC_p را با توجه به تعادل نمک و مقاومت گیاهان به شوری از جدول مربوطه استخراج می‌کنند.

در رابطه (۱) D_p را با توجه به اندازه‌گیری از مناطق مشابه گمانه زنی می‌کنند. جدول‌های ۶، ۷ و ۸ می‌توانند راهنمایی برای برآورد D_p باشند. D_{nf} اغلب در محاسبات نادیده گرفته می‌شود و این مساله یکی از منابع خطا در محاسبه ضریب زهکشی است. D_{cs} یا نشت از کانال‌ها و جوی‌ها نیز حدس زده می‌شود. به طور معمول با توجه به بافت خاک، مقدار آن بین ۵ تا ۱۵ درصد متفاوت است.

جدول ۶- برآورد راندمان کاربرد آب و نفوذ عمقی در روش‌های مختلف آبیاری (مأخذ شماره ۵)

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

جدول ۷- نفوذ عمقی تقریبی در آبیاری سطحی با توجه به بافت خاک (مأخذ شماره ۲)

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

جدول ۸- نفوذ عمقی تقریبی در آبیاری سطحی با توجه به سرعت نفوذ (مأخذ شماره ۲)

سرعت نفوذ میلی متر بر ساعت	درصد نسبت به خالص آبیاری	سرعت نفوذ میلی متر بر 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		

برآورد دقیق نشت از کانال‌ها، با توجه به این که به طور معمول جوی‌ها در فاصله بین دو آبیاری چند روزی خشک باقی می‌مانند مشکل است. این امر، نیز در برخی مواقع یکی دیگر از منابع خطا به شمار می‌رود. D_{nd} یا زهکشی طبیعی خاک را نمی‌توان به آسانی برآورد کرد. تمامی خاک‌ها به شرطی که در آنها شیب هیدرولیکی وجود داشته باشد، زهکشی طبیعی دارند. خاک‌های بسیار سنگین، خاک‌های با فشردگی زیاد و خاک‌هایی که در آنها لایه‌هایی با آب‌گذری کم وجود دارد، ممکن است زهکشی طبیعی ناچیزی داشته باشند. در زمین‌هایی که به سبب تشکیلات زمین‌شناسی، فشار آرتزین دارند، زهکشی طبیعی وجود ندارد. نشت طبیعی را می‌توان به کمک رابطه داریسی یا پیگیری سرعت افت سطح آب در خاک بدون اینکه آبیاری انجام

شود، به دست آورد. اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در چند نقطه از خاک‌های دره نیل مصر، مقدار نشت طبیعی را ۰/۶۵ میلی‌متر بر روز به دست داده است. از زهکشی طبیعی اغلب در محاسبات مربوط به ضریب زهکشی صرفنظر می‌شود و این مسئله یکی از اشتباهاتی است که به طور معمول توسط طراحان صورت می‌گیرد. اندازه‌گیری نشت به بالا یا آرتزین با کمک پیزومترهای مرکب و تعیین شیب هیدرولیکی قائم انجام می‌شود. دانستن هدایت هیدرولیک قائم خاک برای برآورد نشت به بالا الزامی است.

همانطور که گفته شد، منابع خطا در برآورد ضریب زهکشی زیاد است؛ به ویژه این که برآورد هر یک از عوامل نفوذ عمقی، نشت از جوی‌ها و زهکشی طبیعی دشوار بوده و به بینش و تجربه کارشناسی نیازمند است. علاوه بر این، زهکش‌های جمع‌کننده، رودخانه و مسیل‌های مجاور، و سایر آبراهه‌های طبیعی و مصنوعی نیز مقداری از آب را جمع‌آوری و دفع می‌کنند که در این محاسبات منظور نشده است.

علاوه بر اینها، طراحان به طور معمول پر مصرف‌ترین گیاه الگوی کشت و کمترین فاصله آبیاری را در محاسبات منظور می‌کنند که با میانگین زه آب خروجی فاصله دارد. مجموعه این عوامل، موجب می‌شود که برآورد ضریب زهکشی به طور کلی بیش از حد مورد نیاز باشد.

رقم‌های زیر می‌تواند به عنوان راهنمایی برای تأیید نتیجه‌های برآوردی به نقل از سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی در نظر گرفته شود. لازم به یادآوری است که این عددها برای مناطق خشک و نیمه‌خشک مبتنی بر آبیاری و مشروط بر نادیده گرفتن زهکشی طبیعی و نشت از اطراف است :

- خاک‌های با نفوذپذیری ناچیز کمتر از ۱/۵ میلی‌متر بر روز
- بیشتر خاک‌ها (مقادیر بالاتر برای خاک‌های با نفوذپذیری و تراکم بیشتر گیاهی) ۱/۵ تا ۳ میلی‌متر بر روز
- شرایط فوق‌العاده آب و هوا، گیاه و مدیریت شوری و در شرایط نامناسب آبیاری ۳ تا ۴/۵ میلی‌متر بر روز
- شرایط خاص مانند آبیاری برنج در خاک‌های سبک بیشتر از ۴/۵ میلی‌متر بر روز

۴- آبدهی ویژه^۱

آبدهی ویژه یا تخلخل مؤثر^۲، مقدار آب موجود در خاک است که تحت تأثیر نیروی ثقل و سایر نیروهای داخلی خاک از آن خارج می‌شود. به طور معمول، سهم نیروی ثقل چندین برابر سایر نیروهای داخلی است. آبدهی ویژه تا حدودی برابر مقدار آبی است که بین حد اشباع و ظرفیت مزرعه^۳ قرار دارد. به عبارت دیگر :

$$S = \frac{\text{حجم آب قابل زهکشی}}{\text{کل حجم خاک اشباع}} = \text{آبدهی ویژه} \quad (۳)$$

1 - Specific Yield
2 - Effective Porosity
3 - Field Capacity

از این پارامتر، به منظور برآورد خیز سطح ایستابی در اثر تغذیه و یا افت آن در اثر تخلیه استفاده می‌شود. یکی از راه‌های اندازه‌گیری آبدهی ویژه، برداشت نمونه دست نخورده، انتقال آن به آزمایشگاه، اشباع کردن آن و اندازه‌گیری آب خروجی، در اثر نیروی ثقل است. گرچه این روش، به ظاهر بسیار ساده است، ولی با توجه به مشکلاتی که در راه برداشت نمونه دست نخورده و انتقال به آزمایشگاه وجود دارد، و با در نظر گرفتن کوچکی حجم نمونه‌ها و نیاز به افزایش تعداد آزمایش‌ها، به طور معمول برای برآورد آبدهی ویژه از روش‌های تجربی استفاده می‌شود :

در یکی از این روش‌های تقریبی، مقدار آبدهی ویژه از رابطه زیر تخمین زده می‌شود :

$$S = \sqrt{K} \quad (4)$$

که در آن :

S = آبدهی ویژه بر حسب درصد ، و

K = هدایت هیدرولیک خاک بر حسب سانتی‌متر بر روز است.

به تازگی رابطه‌ای دیگر توسط آهوجا و همکاران^۱ به صورت زیر ارائه شده است :

$$S = 0.05K^{0.304} \quad (5)$$

که در آن، پارامترها به همان ترتیب بالا تعریف شده‌اند. نتیجه‌های به دست آمده از این روش، از سایر روش‌هایی که در این فصل از آنها صحبت می‌شود، به طور عموم بیشتر است.

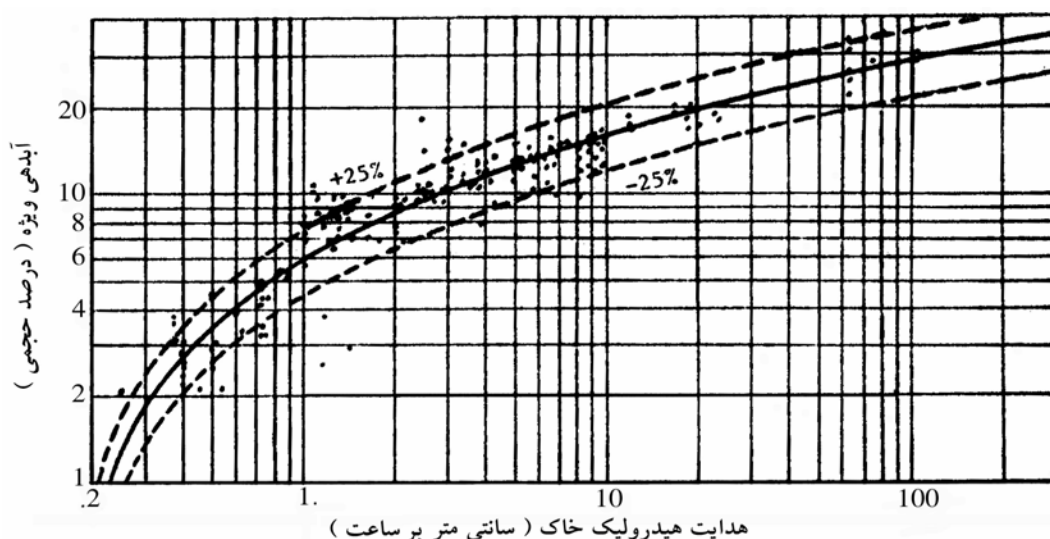
در روش دیگر، بر اساس نظر اداره عمران اراضی ایالات متحده^۲، رابطه‌ای بین آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیک خاک مطابق شکل (۱) برقرار است. این منحنی بر اساس نتیجه حدود ۲۰۰۰ آزمایش به دست آمده است.

در روشی دیگر که آن نیز توسط اداره عمران اراضی ایالات متحده ارائه شده است، رابطه‌ای بین بافت و ساختمان خاک از یک طرف و آبدهی ویژه از طرف دیگر برقرار شده است. این رابطه در جدول (۹) ارائه شده است.

اطلاعی در مورد اینکه کدامیک از سه روش، نتیجه درست تری ارائه می‌کنند، در دست نیست. از آنجا که به طور معمول، حفاری‌های زهکشی که با کمک مته انجام می‌شود، نمی‌تواند نشان‌دهنده ساختمان خاک باشد و استفاده از جدول (۹) در بسیاری موارد امکان‌پذیر نیست، بسیاری از کارشناسان، استفاده از شکل (۱) را مناسب‌تر می‌دانند.

1 - Ahuja et al.

2 - US Buceau of Reclamation (USBR)



شکل ۱- رابطه بین آبدهی ویژه و هدایت هیدرولیک خاک

جدول ۹- رابطه آبدهی ویژه، بافت و ساختمان خاک (مأخذ شماره ۲)

آبدهی ویژه	ساختمان	بافت
۱-۲٪	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 سنگ ریزه

۵- عمق تثبیت سطح ایستابی

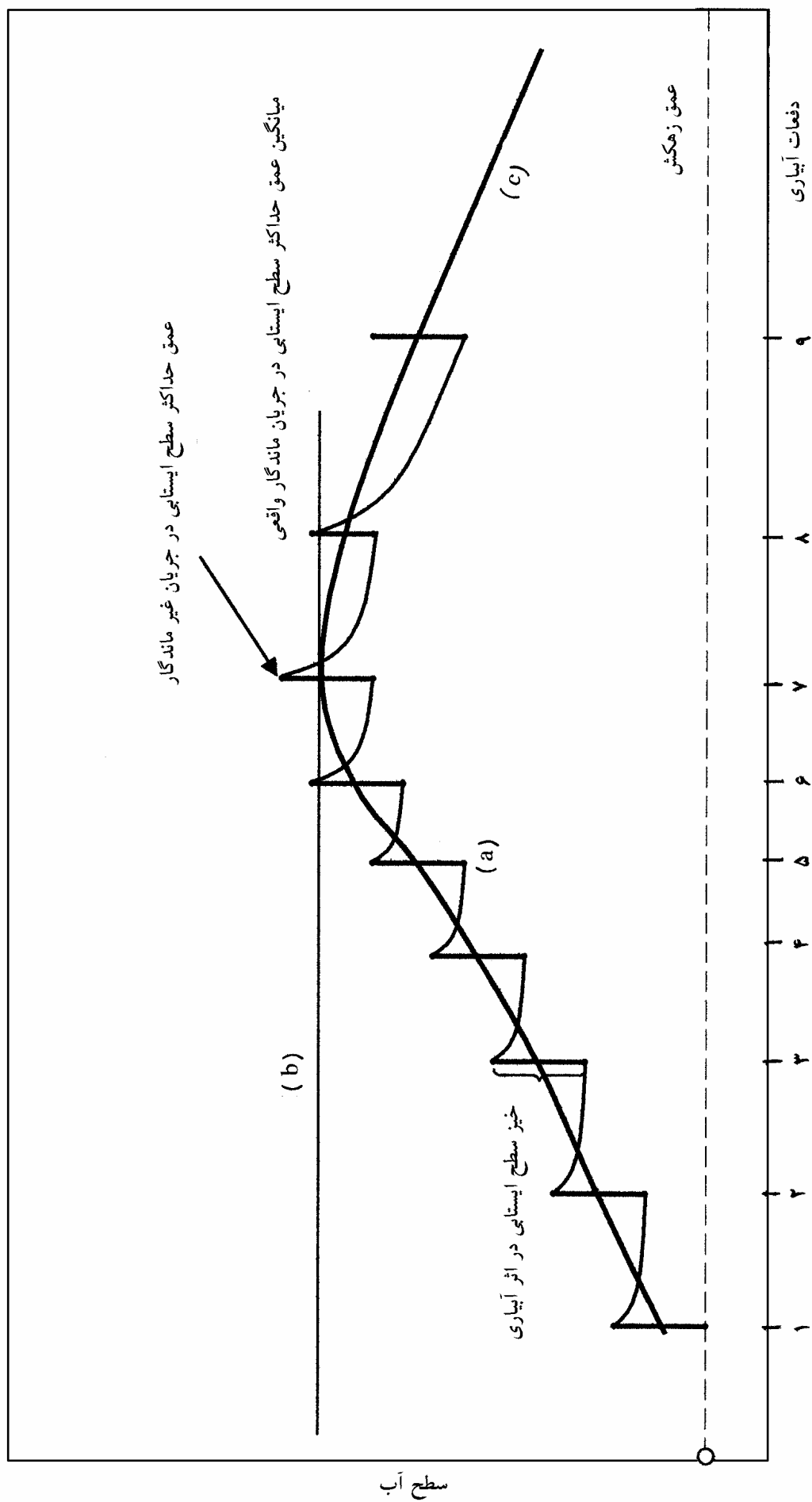
سطح ایستابی، پس از احداث زهکش نباید به جز در زمانی کوتاه، از حد معینی بالاتر بیاید. به این عمق، عمق تثبیت سطح ایستابی گفته می‌شود. عمق تثبیت سطح ایستابی به نوع خاک، آب و هوا، نوع گیاه، تراکم کشت و مدیریت آبیاری و زهکشی بستگی دارد. چنانچه سطح ایستابی در حدی پایین‌تر از حد ضروری تثبیت شود، فاصله مورد نیاز زهکش‌ها کاهش یافته و به همان نسبت، هزینه‌ها زیاد می‌شود. علاوه بر این، پایین بردن بیش از حد سطح ایستابی موجب محروم ساختن گیاه از آبی می‌شود که می‌تواند از طریق صعود مویینه‌ای در اختیار گیاه قرار گیرد. از سوی دیگر، چنانچه سطح آب برای مدتی بیش از یکی دو روز بالاتر رود، گیاه آسیب می‌بیند و از عملکرد آن کاسته می‌شود. به همین ترتیب، بالا آمدن سطح ایستابی در فصل غیر آبیاری، موجب بازگشت شوری به منطقه ریشه می‌شود. از این رو باید حد بهینه‌ای را برای تثبیت سطح ایستابی تعریف کرد تا از سویی موجب تراکم بیش از حد زهکش‌ها و افزایش هزینه نشده و نیز، گیاه بتواند از آبی که از طریق صعود مویینه‌ای در دسترس قرار می‌گیرد بهره‌مند شود و از سوی دیگر، خطرات بازگشت شوری به خاک و غرقاب شدن بیش از حد ریشه گیاه وجود نداشته باشد.

نوسان سطح ایستابی در طول سال به صورت شکل (۲) است. در عالم واقعی، سطح آب در درون خاک با هر بار تغذیه بالا می‌رود و در فاصله بین دو آبیاری پایین می‌آید. این روند به صورت منحنی (a) نشان داده شده است. این وضعیت، نمایشگر حالت غیرماندگار زهکشی است که در حقیقت واقع‌بینانه‌ترین حالت نیز هست. سطح آب در این حالت نباید از حداکثر خیزش خود در اثر عمیق‌ترین و یا متراکم‌ترین آبیاری بالاتر برود.

در حالت جریان ماندگار، میزان تغذیه درست برابر میزان تخلیه بوده و سطح آب در خاک تغییر نمی‌کند. بدیهی است که این حالت، ممکن است به ندرت در زمین اتفاق بیفتد. این حالت، در شکل (۲) به صورت یک خط افقی با نماد (b) مشخص شده است. به طوری که مشاهده می‌شود در این حالت، عمق تثبیت سطح ایستابی نسبت به حالت غیرماندگار (a) حدود نصف خیز سطح ایستابی در اثر هر آبیاری بیشتر است. به این معنی که اگر در یک طرح عمق تثبیت سطح ایستابی در جریان غیرماندگار ۱ متر در نظر گرفته شده باشد و در اثر آبیاری، نفوذ عمقی ۴۰ میلی‌متر و آبدی ویژه ۱۰ درصد فرض شود، عمق تثبیت سطح ایستابی برای جریان ماندگار $1 + \frac{0.040}{0.10} \times \frac{1}{2} = 1.20$ متر خواهد بود. همانطور که گفته شد، جریان ماندگار واقعی بسیار به ندرت اتفاق می‌افتد. بهتر است که به جای حالت (b)، میانگین سطح ایستابی در طول فصل رشد در نظر گرفته شود. در این صورت، منحنی (c) بیشترین نزدیکی را به حالت واقعی که همان حالت غیرماندگار است، دارد. به این حالت، شبه‌ماندگار گفته می‌شود که حالتی واقع‌بینانه‌تر از حالت (b) است. در هر حال، عمق تثبیت سطح ایستابی حالت‌های (b) و (c) برابر است. تفاوتی که این دو حالت در محاسبه فواصل زهکش‌ها دارند این است که با توجه به ذخیره آبی که در خاک در حالت (c) وجود دارد، می‌توان از ضریب زهکشی کاست.

عمق تثبیت سطح ایستابی بنا به پیشنهاد سازمان خواروبار و کشاورزی جهانی به شرح جدول‌های ۱۰ و ۱۱ است. در این جدول‌ها، عمق تثبیت سطح ایستابی به ترتیب برای جریان‌های ماندگار و غیرماندگار ارائه شده است.

سطح خاک



شکل ۲- نمونه نوسان سطح ایستابی در طول سال

جدول ۱۰- عمق تثبیت سطح ایستابی برای تعیین فاصله زهکش ها در جریان های ماندگار (C) (مأخذ شماره ۵)

گیاه	خاک سنگین قابل نفوذ (متر)	خاک سبک (متر)	خاک متوسط با منبع آب نامطمئن توأم با کم آبیاری (متر)
گیاهان زراعی	۱/۲	۱/۰	۱/۴
سبزیجات	۱/۱	۱/۰	۱/۳
درختان	۱/۶	۱/۲	۱/۶

جدول ۱۱- عمق تثبیت سطح ایستابی برای تعیین فاصله زهکش ها در جریان های غیرماندگار (C') (مأخذ شماره ۵)

گیاه	خاک سنگین قابل نفوذ (متر)	خاک سبک (متر)	خاک متوسط با منبع آب نامطمئن توأم با کم آبیاری (متر)
گیاهان زراعی	۰/۹	۰/۹	۱/۲
سبزیجات	۰/۹	۰/۹	۱/۱
درختان	۱/۴	۱/۱	۱/۴

عمق تثبیت سطح ایستابی در هنگام آیش در خاک های سبک و سنگین، نباید از ۱/۴ متر و در خاک های متوسط از ۱/۷ متر کمتر در نظر گرفته شود تا مشکل شوری پیش نیاید.

۶- عمق بهینه نصب زهکش زیرزمینی

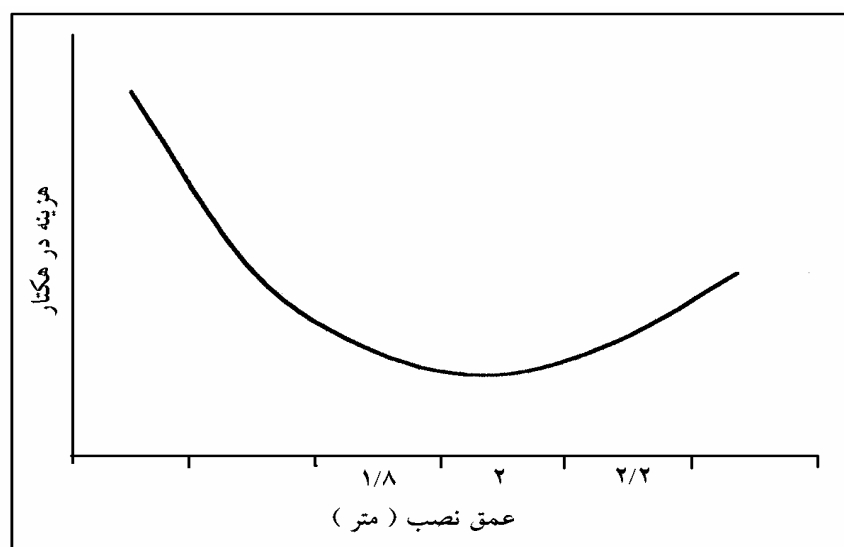
عمق بهینه نصب زهکش، عمقی است که ضمن برآورد کردن نیازهای تهویه و کیفیت خاک به ویژه از نظر شوری، کمترین هزینه را دربر داشته باشد. در مناطق خشک و نیمه خشک که خطر شوری خاک زیاد است، اغلب پیشنهاد می شود که عمق زهکش ها از ۱/۸ متر کمتر نباشد.

با افزایش عمق نصب زهکش، فاصله آنها بیشتر شده و افزایش عمق موجب بالا رفتن هزینه هر متر طول زهکش می شود ولی در عوض چون طول زهکش در واحد سطح کاهش می یابد، حد بهینه ای را می توان یافت که هزینه در هکتار به حداقل برسد.

در ایران، بر اساس فهرست بهای سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، خاکبرداری با هر وسیله مکانیکی تا عمق ۲ متر، دارای هزینه واحد یکسانی است. به عبارت دیگر، هزینه هر متر مکعب خاکبرداری، مقداری است ثابت و تنها به عمق های بیش

از ۲ متر، اضافه‌بها تعلق می‌گیرد. از این رو، اغلب بهینه‌سازی عمق و فاصله زهکش‌ها به این نتیجه منتهی می‌شود که عمق بهینه زهکش حدود ۱/۸ متر است که با در نظر گرفتن ۰/۲ متر از مرکز لوله تا کف ترانشه و در نظر گرفتن مواد پوشاننده، عمق حفر ترانشه به ۲ متر می‌رسد. شکل (۳) روند تقریبی تغییرات هزینه در واحد سطح را به ازای عمق‌های مختلف نصب زهکش نشان می‌دهد.

عمق تثبیت سطح ایستابی در تعیین عمق زهکش‌ها نقش مهمی دارد. این عمق‌ها در جدول‌های ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است. علاوه بر این، برای خیز سطح ایستابی در اثر آبیاری یا بارندگی باید فاصله‌ای را نیز در نظر گرفت.



شکل ۳- رابطه تقریبی عمق زهکش و هزینه زهکشی در هکتار

بدیهی است که برای افت بار هیدرولیکی عمقی را نیز باید در نظر گرفت زیرا بدون وجود اختلاف پتانسیل، حرکتی به وجود نخواهد آمد. اگر این افت ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شود، جدا از مسائل اقتصادی، می‌توان گفت که حداقل عمق نصب زهکش، بیشترین مقداری است که از سه رابطه زیر به دست آید :

$$\text{MinD}_s = C + \frac{D_p}{2S} + 0/1 \quad (6)$$

$$\text{MinD}_{ns} = C' + \frac{D_p}{S} + 0/1 \quad (7)$$

$$\text{MinD}_{sal} = C'' + 0/2 \quad (8)$$

در این روابط :

MinD_s = حداقل عمق نصب زهکش برای استفاده در فرمول‌های جریان ماندگار (متر)،

MinD_{ns} = حداقل عمق نصب زهکش برای استفاده در فرمول‌های جریان غیرماندگار (متر)،

MinD_{sal} = حداقل عمق نصب زهکش برای جلوگیری از خطر شوری (متر)،

C = عمق تثبیت سطح ایستایی در جریان‌های ماندگار با استفاده از جدول ۱۰ (متر)،

C' = عمق تثبیت سطح ایستایی در جریان‌های غیرماندگار با استفاده از جدول ۱۱ (متر)،

C'' = عمق تثبیت سطح ایستایی برای جلوگیری از اثرات خطر شوری (متر)،

D_p = عمق نفوذ عمقی (متر)، و

S = آبدهی ویژه (اعشاری).

علاوه بر مسائل اقتصادی و حداقل عمق‌هایی که در بالا به آن اشاره شد، مسائل محلی نیز باید در نظر گرفته شود. از جمله این مسائل می‌توان به رقوم خروجی نهایی، شیب زمین و نوع ماشین‌آلات مورد استفاده اشاره کرد. تأکید این نکته ضرورت دارد که زهکش‌ها برای عملکرد بهتر، باید تا حد امکان در آبگذرترین لایه خاک نصب شوند. علاوه بر این، باید در نظر داشت که تعمیق بیش از حد زهکش‌ها موجب خواهد شد که سطح آب بیش از اندازه پایین بیفتد و نیاز آبیاری افزایش یابد. همه این عوامل نشان می‌دهد که قضاوت درست کارشناسی، نقشی تعیین کننده در تعیین عمق مناسب زهکش خواهد داشت.

فصل سوم : تعیین فاصله زهکش‌ها در جریان‌های ماندگار

کلیات

فاصله زهکش‌ها را می‌توان در دو حالت ماندگار^۱ و غیرماندگار^۲ به دست آورد. در حالت ماندگار، ویژگی‌های هیدرولیکی در طول زمان تغییر نمی‌کند؛ در زهکشی زیرزمینی میزان تغذیه با تخلیه برابر است و سطح آب در داخل خاک ثابت باقی می‌ماند و میزان تغذیه یا تخلیه، در طول زمان ثابت است. چنین حالتی در عمل پیش نمی‌آید ولی در مناطقی که باران‌های با تواتر زیاد دارند، مانند شمال اروپا یا شرق ایالات متحده، می‌توان جریان را نزدیک به حالت ماندگار فرض کرد. در مناطقی که آبیاری می‌شوند، جریان غیرماندگار حاکم است.

علیرغم این حقیقت، به تجربه ثابت شده است که اگر معیارهای زهکشی به درستی انتخاب شوند، نتیجه‌های به دست آمده از دو روش، به یکدیگر نزدیک بوده و می‌توان به خوبی از روابط متکی به جریان‌های ماندگار برای تعیین فاصله زهکش‌ها استفاده کرد. جیمز لوتین^۳ در مقدمه چاپ سوم کتاب خود «مهندسی زهکشی»^۴ در سال ۱۹۷۳ چنین نوشته است: «تئوری‌های زیادی در زمینه زهکشی ارائه شده است و تا جایی که به اطلاع من رسانیده‌اند، حدود ۱۶۰ نظریه مختلف موجود است ولی به تجربه ثابت شده است که همان تئوری ساده هوخهات^۵ عملی‌تر است. علیرغم فرضیاتی که برای ساده شدن معادلات به عمل آمده است، وقتی تغییرات موضعی هدایت هیدرولیک خاک را که در این معادلات نقش اساسی دارند در نظر می‌گیریم، اشتباه ناشی از این فرضیات بسیار کوچک است».

بنابراین، اگرچه تئوری‌ها و معادلات زیادی برای تعیین فاصله زهکش‌ها ابداع و ارائه شده، ولی استفاده از ساده‌ترین و قدیمی‌ترین آنها می‌تواند پاسخ تا حدودی دقیق را نتیجه بدهد. تکرار این نکته، خالی از فایده نیست که پاسخ درست، فقط در صورتی به دست می‌آید که معیارهای زهکشی به درستی انتخاب شده باشند.

هیچ‌یک از روابط تعیین فاصله زهکش‌ها، بدون اینکه در آنها فرضیاتی صورت گرفته باشد، قابل حل نبوده‌اند؛ بنابراین همواره باید این مسئله را در نظر داشت که استفاده از این روابط، پاسخ‌های تقریبی می‌دهند.

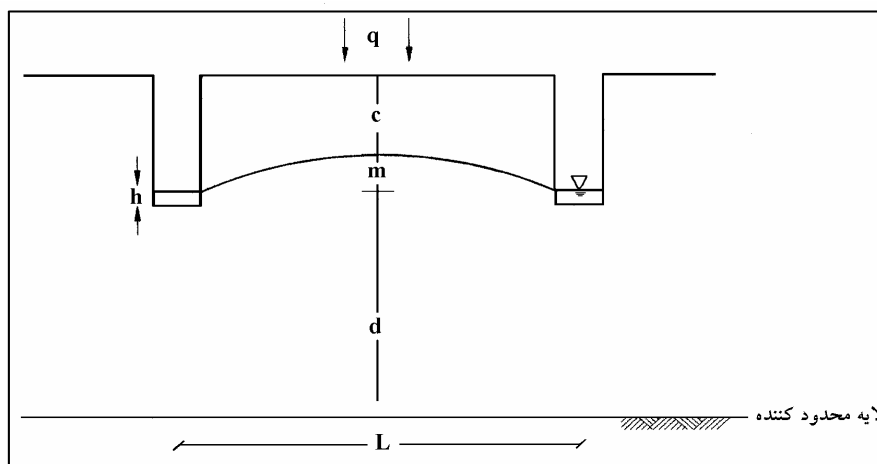
به عنوان مثال، چند فرض که به طور کلی در جریان‌های ماندگار به کار رفته است عبارتند از :

- شدت تغذیه ثابت است،
- شدت تخلیه ثابت است،
- خاک همگن^۶ و هم‌روند^۷ است،
- قانون دارسی صدق می‌کند یعنی جریان آرام است،

1 - Steady State
2 - Non -Steady State or Transient
3 - James N. Luthin
4 - Drainage Engineering
5 - Hooghoudt
6 - Homogeneous
7 - Isotropic

- فرضیات دوگانه دوپویی - فورشه‌ایمر^۱ صدق می‌کند؛ یعنی سطح ایستابی مستوی است و شیب هیدرولیک در هر منطقه از جریان، برابر شیب هیدرولیک در بالای آن نقطه در سطح ایستابی است،
 - لایه محدود کننده^۲ به طور افقی در فاصله‌ای ثابت از سطح زمین قرار دارد، و
 - زهکش‌ها موازی و با فاصله ثابت از یکدیگر قرار گرفته‌اند.
- بسیاری از این فرضیات، در عالم واقع، تحقق نمی‌یابند. جدا از این وضعیت، ثابت شده است که روابط تعیین فاصله زهکش‌ها در حدی که نیاز عملی را برآورد سازند، از کارایی برخوردارند.
- موارد اشاره شده در بالا، کم و بیش در جریان‌های غیرماندگار نیز فرض شده‌اند. با بیان دقیق‌تر، فقط دو فرض اول یعنی شدت تخلیه و تغذیه ثابت در جریان‌های غیرماندگار نادیده گرفته شده و در عوض فرضیات زیر به آن افزوده شده است :
- آبدهی ویژه در عمق‌های مختلف سطح ایستابی ثابت است.
- فرضیات مربوط به معادله ریچاردز^۳ در آن صدق می‌کند.
- در این فصل، به بیان ساده دو روش، برای تعیین فاصله زهکش‌ها پرداخته می‌شود. رابطه ارنست - هوخهات^۴ به دلیل کاربرد وسیع و سادگی آن انتخاب شده است. علاوه بر این، از آنجا که همواره یکی از موضوعات مورد مناقشه در زهکشی، عمق معادل بوده است، از رابطه دیگری به نام توکسوز- کرکهام^۵ نیز سخن به میان می‌آید که در آن « عمق معادل » مورد توجه قرار نگرفته است.

۱- رابطه ارنست - هوخهات



شکل ۴- پارامترهای رابطه ارنست - هوخهات در زهکش زیرزمینی روباز

-
- 1 - Dupuit-Forscheimer
 - 2 - Barrier
 - 3 - Richards' Equation
 - 4 - Ernst-Hoochoudt
 - 5 - Toksoz - Kirkham

رابطه ارنست - هوخهات، برای زهکش‌های موازی روباز به شرح زیر است :

$$L^2 = \frac{4K(m^2 - h^2 + 2md - 2hd)}{q} \quad (9)$$

که در آن :

L = فاصله زهکش‌ها (متر)،

K = میانگین هدایت هیدرولیک خاک (متر بر روز)،

m = فاصله سطح ایستابی در وسط دو زهکش تا کف زهکش روباز (متر)،

h = عمق آب در زهکش روباز (متر)،

d = فاصله کف زهکش تا لایه محدود کننده (متر)،

q = ضریب زهکشی (متر بر روز)،

C = عمق تثبیت سطح ایستابی (متر).

چنانچه عمق آب در داخل زهکش قابل توجه نباشد، رابطه (۹) به معادله (۱۰) تبدیل می‌شود:

$$L^2 = \frac{4K(m^2 + 2md)}{q} \quad (10)$$

چنانچه زهکش، روباز نباشد و تمامی جریان به صورت افقی وارد زهکش نشود، به جای d باید از عمقی کمتر استفاده کرد که به آن عمق معادل گفته می‌شود. در حقیقت، عمق معادل (d_e) عمقی است کمتر از فاصله کف زهکش تا لایه محدود کننده (d)، به طوری که افت بار افقی در اولی معادل مجموع افت بار افقی و شعاعی در دومی باشد. به این ترتیب، رابطه (۱۰) برای هنگامی که زهکش لوله‌ای به جای کانال روباز مورد استفاده قرار گیرد به شکل رابطه (۱۱) در می‌آید :

$$L^2 = \frac{4K(m^2 + 2md_e)}{q} \quad (11)$$

عمق معادل را می‌توان از رابطه مودی^۱ به شکل زیر به دست آورد :

هنگامی که $\frac{d}{L} < 0.3$ باشد :

$$d_e = d \left\{ 1 + \frac{d}{L} \left[\frac{8}{\pi} \ln \left(\frac{d}{r} \right) - \alpha \right] \right\}^{-1} \quad (12)$$

$$\alpha = 3/55 - \frac{1/6d}{L} + 2\left(\frac{d}{L}\right)^2 \quad (13)$$

و هنگامی که $\frac{d}{L} < 0/3$ باشد :

$$d_e = \frac{L\pi}{8} \left[\ln\left(\frac{L}{r}\right) - 1/15 \right]^{-1} \quad (14)$$

در این روابط، r شعاع زهکش بر حسب متر است. به طور معمول، چون پوشش زهکش به سبب آبگذری بالا، مقدار زیادی آب را حمل می‌کند، نیمی از ضخامت آن نیز به r افزوده شده و در رابطه‌های (۱۲) و (۱۴) قرار داده می‌شود. رابطه ارنست - هوخهات را نمی‌توان به صورت صریح^۱ حل کرد بلکه راه حل آن ضمنی^۲ است. به عبارت دیگر، ابتدا باید L را فرض کرد و با تعیین d_e از روابط ۱۲ یا ۱۴، پس از حل رابطه ۱۱، L را محاسبه نمود. چنانچه L محاسبه شده، تقریباً با L مفروض برابر باشد نتیجه به دست خواهد آمد، در غیر این صورت L محاسبه شده به عنوان فرض دیگری در نظر گرفته می‌شود و با حل رابطه ۱۱، L جدید محاسبه می‌شود. به این ترتیب به‌طور معمول با دو یا سه تکرار پاسخ نهایی به‌دست می‌آید. مثال : فاصله زهکش‌ها را هنگامی که شرایط زیر برقرار باشد پیدا کنید :

هدایت هیدرولیک خاک ۱ متر بر روز، $K = ۱$ متر بر روز

میزان تغذیه ۳ میلی‌متر بر روز، $q = ۰/۰۰۳$ متر بر روز

عمق نصب زهکش ۲ متر،

عمق لایه محدود کننده ۵ متر از سطح خاک، $d = ۳$ متر

عمق تثبیت سطح ایستابی ۱/۲ متر، و $m = ۲ - ۱/۲ = ۰/۸$ متر

شعاع زهکش با در نظر گرفتن ضخامت مواد پوشاننده ۱۵ سانتی‌متر، $r = 0/15$ متر

آزمون اول :

$$L_1 = 80 \text{ متر}$$

$$\frac{d}{L} = \frac{3}{80} = 0/0375 < 0/3$$

$$\alpha = 3/55 - 1/6 \times 0/0375 + 2 \times 0/0375^2 = 3/493$$

$$d_e = 3 \left\{ 1 + 0/0375 \left[\frac{8}{3/14} \ln\left(\frac{3}{0/15}\right) - 3/493 \right] \right\}^{-1} = 2/60 \text{ متر}$$

$$L^2 = \frac{4 \times 1(0/8^2 + 2 \times 0/8 \times 2/60)}{0/003} = 6393$$

$$L = 79/9 \text{ متر} \approx 80 \text{ متر}$$

1 - Explicit

2 - Implicit

بنابراین، پاسخ $L = 80$ متر صحیح است. اگر آزمون اول به پاسخ درست نمی‌رسید، باید حاصل آن بار دیگر در فرمول‌ها قرار داده می‌شد تا پاسخ درست به‌دست آید.

در مواردی که خاک از دو لایه با هدایت هیدرولیک مختلف تشکیل شده باشد، می‌توان از روش ارنست – هوخهات استفاده کرد. اگر K_a هدایت هیدرولیک خاک در لایه بالایی خط زهکش و K_b همین پارامتر در لایه پایینی آن باشد، رابطه گفته شده به‌صورت زیر در می‌آید :

$$L^2 = \frac{4}{q}(K_a m^2) + \frac{8}{q}(k_b d_e m) \quad (15)$$

در خاک‌های لایه لایه، میانگین وزنی هدایت هیدرولیک خاک را می‌توان به جای K قرار داد. اگر D_n عمق هر لایه و K_n هدایت هیدرولیک آن باشد :

$$K = \frac{K_1 D_1 + K_2 D_2 + \dots + K_n D_n}{D_1 + D_2 + \dots + D_n} \quad (16)$$

۲- رابطه کرکهام^۱

برای به‌دست آوردن فاصله زهکش‌ها در خاک‌های یکنواخت می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد :

$$m = 2L \cdot \frac{q}{K} \cdot \frac{1}{1 - \frac{q}{k}} \cdot \frac{1}{\pi} \left\{ \ln \frac{2L}{\pi r} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n} \left(\cos \frac{n\pi r}{L} - \cos n\pi \right) \cdot \left(\coth \frac{n\pi d}{L} - 1 \right) \right] \right\}$$

که در آن :

m = فاصله قائم سطح ایستابی از زهکش‌ها در نقطه میانی دو زهکش پس از پایین افتادن آب (متر)،

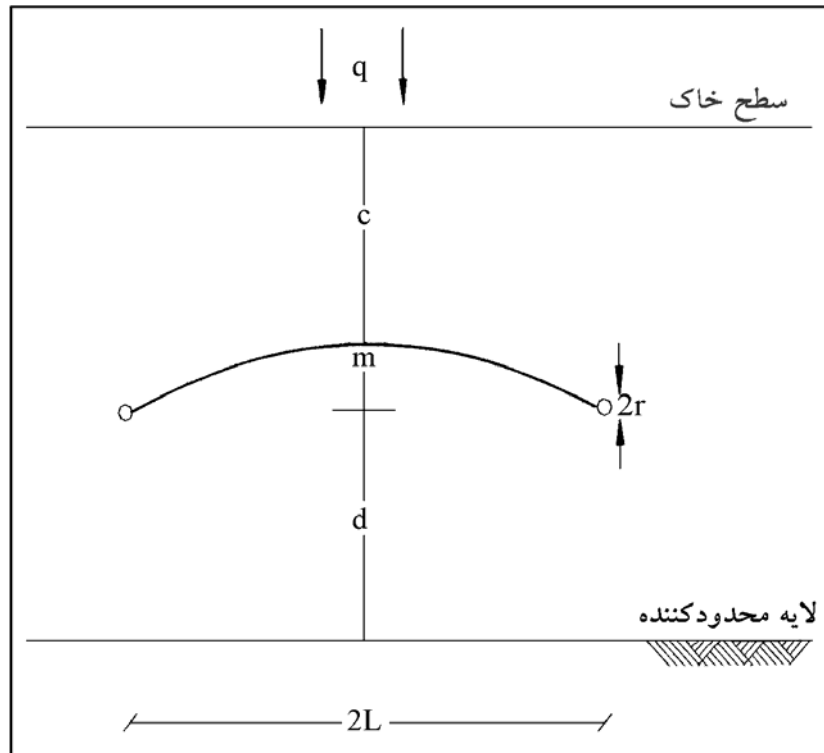
$2L$ = فاصله بین دو زهکش موازی متوالی (متر)،

q = ضریب زهکشی (متر بر روز)،

K = هدایت هیدرولیک خاک (متر بر روز)، و

d = فاصله بین زهکش و لایه محدود کننده (متر).

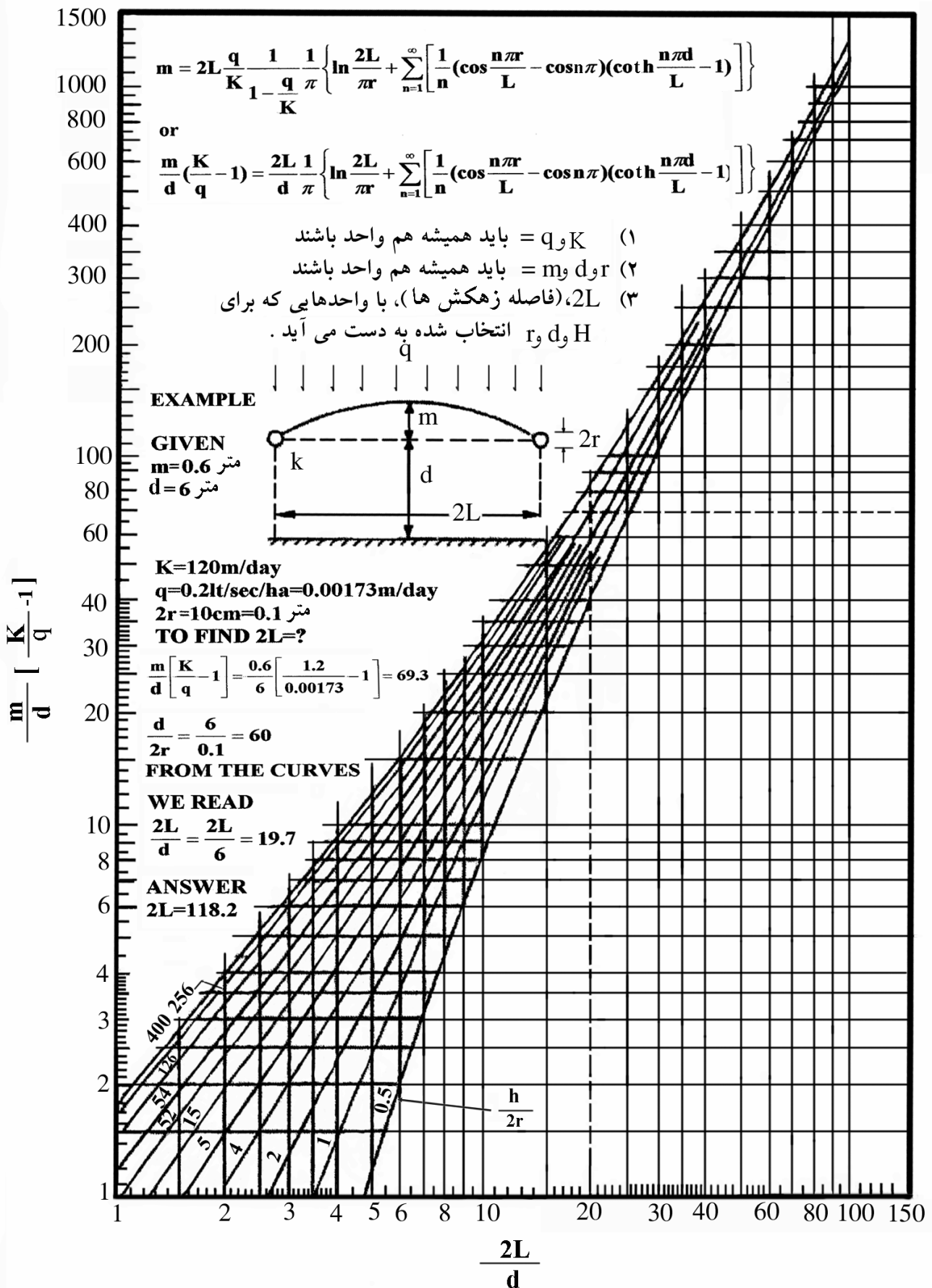
شکل (۵) پارامترهای رابطه کرکهام را نشان می‌دهد. از ویژگی‌های ممتاز رابطه کرکهام، این است که از عمق معادل در آن استفاده نمی‌شود.



شکل ۵- پارامترهای رابطه کرکهام در خاک‌های یکنواخت

رابطه بالا را می‌توان به شکل زیر نیز تغییر داد تا با استفاده از شکل (۶) بتوان فاصله زهکش‌ها را به دست آورد:

$$\frac{m}{d} \left(\frac{K}{q} - 1 \right) = \frac{2L}{d} \theta \frac{1}{\pi} \left\{ \ln \frac{2L}{\pi r} + \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{1}{n} \left(\cos \frac{n\pi r}{L} - \cos n\pi \right) \left(\coth \frac{n\pi d}{L} - 1 \right) \right] \right\} \quad (۱۸)$$



شکل ۶- نمودار تعیین فاصله زهکش ها در خاک های یکنواخت به روش کرکهام

توکسوز و کرکهام، در سال ۱۹۷۱ رابطه کرکهام را برای خاک‌های چند لایه‌ای بسط دادند. رابطه‌های مربوط به تعیین فاصله زهکش‌ها، برای خاک‌های چند لایه پیچیده است و استفاده از نمودارهایی که به این منظور تهیه شده مناسب‌تر به نظر می‌رسد. شکل (۷) برای خاک‌های دولایه و برای نسبت‌های مختلف K_1/K_2 و d_1/d تهیه شده‌اند که در آنها $d = d_1 + d_2$ است.

مثال : فاصله زهکش‌ها را برای شرایط مثال قبل (رابطه ارنست - هوخهات) با استفاده از رابطه کرکهام به دست آورید :

$$m = 0/8 \text{ متر}$$

$$q = 0/003 \text{ متر بر روز}$$

$$K = 1 \text{ متر بر روز}$$

$$r = 0/15 \text{ متر}$$

$$d = 3 \text{ متر}$$

حل این رابطه نیز ضمنی است زیرا نمی‌توان به‌طور مستقیم L را محاسبه کرد. بنابراین به ناچار باید L را فرض کرد و چنانچه حاصل با L فرضی تقریباً برابر بود، آن را پذیرفت و در غیر این صورت، آزمون دیگری را آغاز کرد.

آزمون اول : فاصله زهکش ۸۰ متر

با استفاده از رابطه (۱۷) و با فرض $L = 40$ (فاصله زهکش‌ها برابر $2L = 80$) داریم :

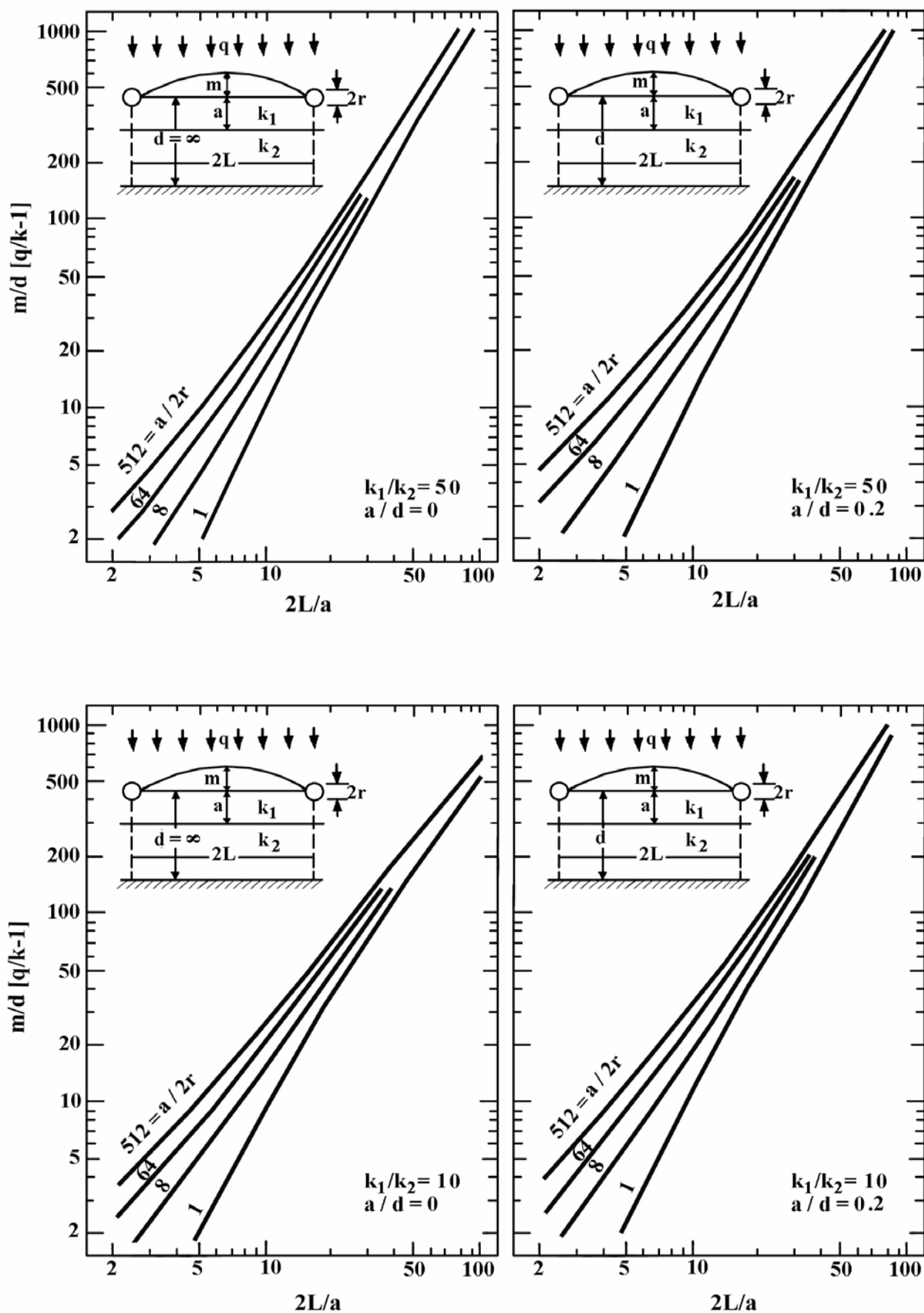
$$\begin{aligned} 0/8 = 2 \times 40 - \frac{0/003}{1} \times \frac{1}{1 - \frac{0/03}{1}} \times \frac{1}{3/14} \left\{ \ln \frac{2 \times 40}{0/15 \times 3/14} + \frac{1}{1} \left(\cos \frac{3/14 \times 0/15}{40} - \cos 3/14 \right) \right. \\ \left. \left(\coth \frac{3 \times 3/14}{40} - 1 \right) + \frac{1}{2} \cos \frac{2 \times 3/14 \times 0/15}{40} - \cos 2 \times 3/14 \right\} \cdot \left(\coth \frac{2 \times 3/14 \times 3}{40} - 1 \right) + \frac{1}{3} \left(\cos \frac{3 \times 3/14 \times 0/15}{40} - \right. \\ \left. \cos 3 \times 3/14 \right) \cdot \left(\coth \frac{3 \times 3/14 \times 3}{40} - 1 \right) + \dots \left. \right\} \approx 0/88 \end{aligned}$$

با این ترتیب، مشاهده می‌شود که $m = 0/8 \neq 0/88$ است. بنابراین باید آزمون دیگری انجام داد.

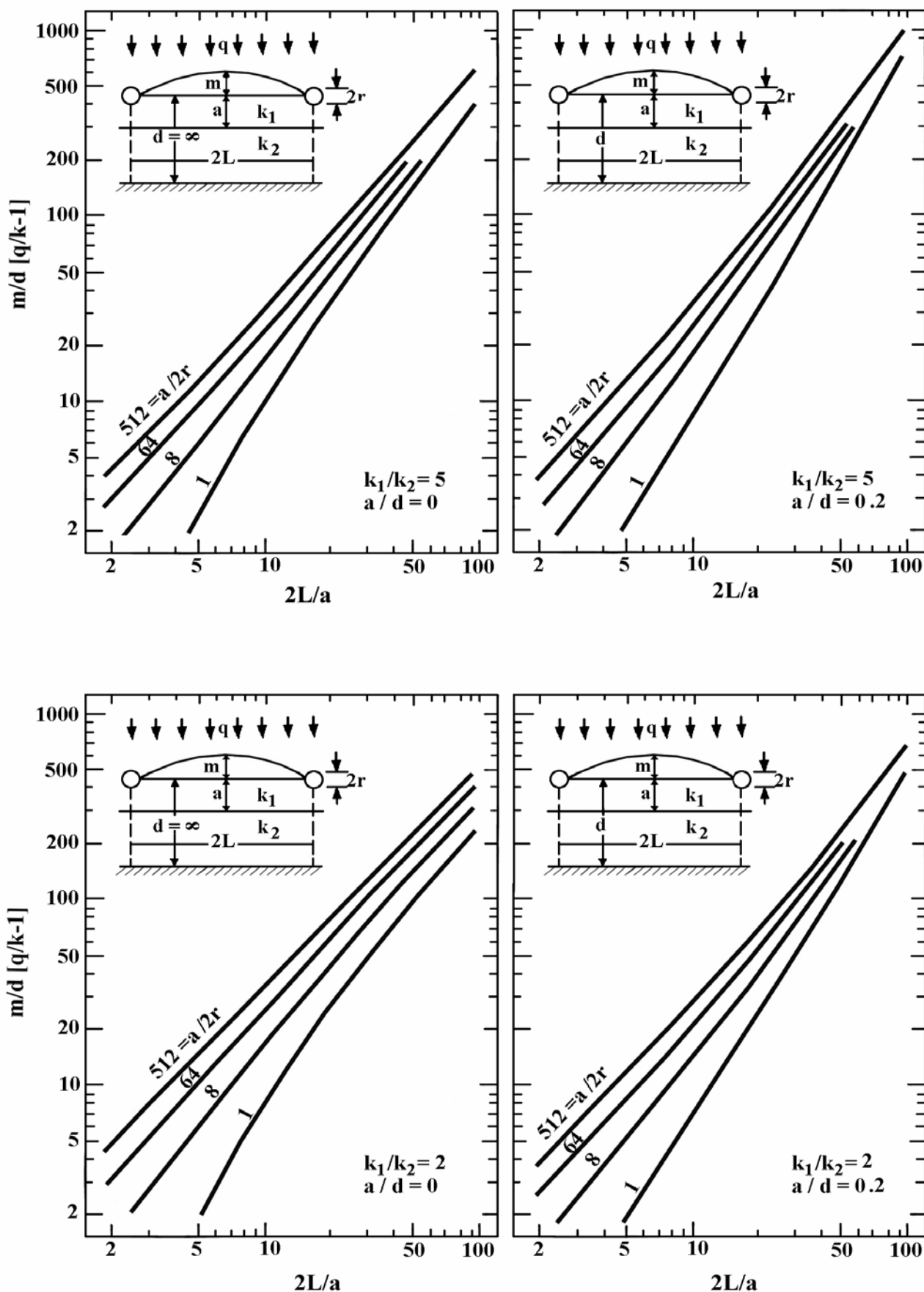
آزمون دوم : فاصله زهکش‌ها ۷۵ متر.

با تکرار محاسبات و با در نظر گرفتن $2L = 75$ ، مقدار سمت راست معادله برابر $0/78$ متر به دست می‌آید که با تقریب کافی می‌توان آن را برابر $0/8$ متر فرض کرد.

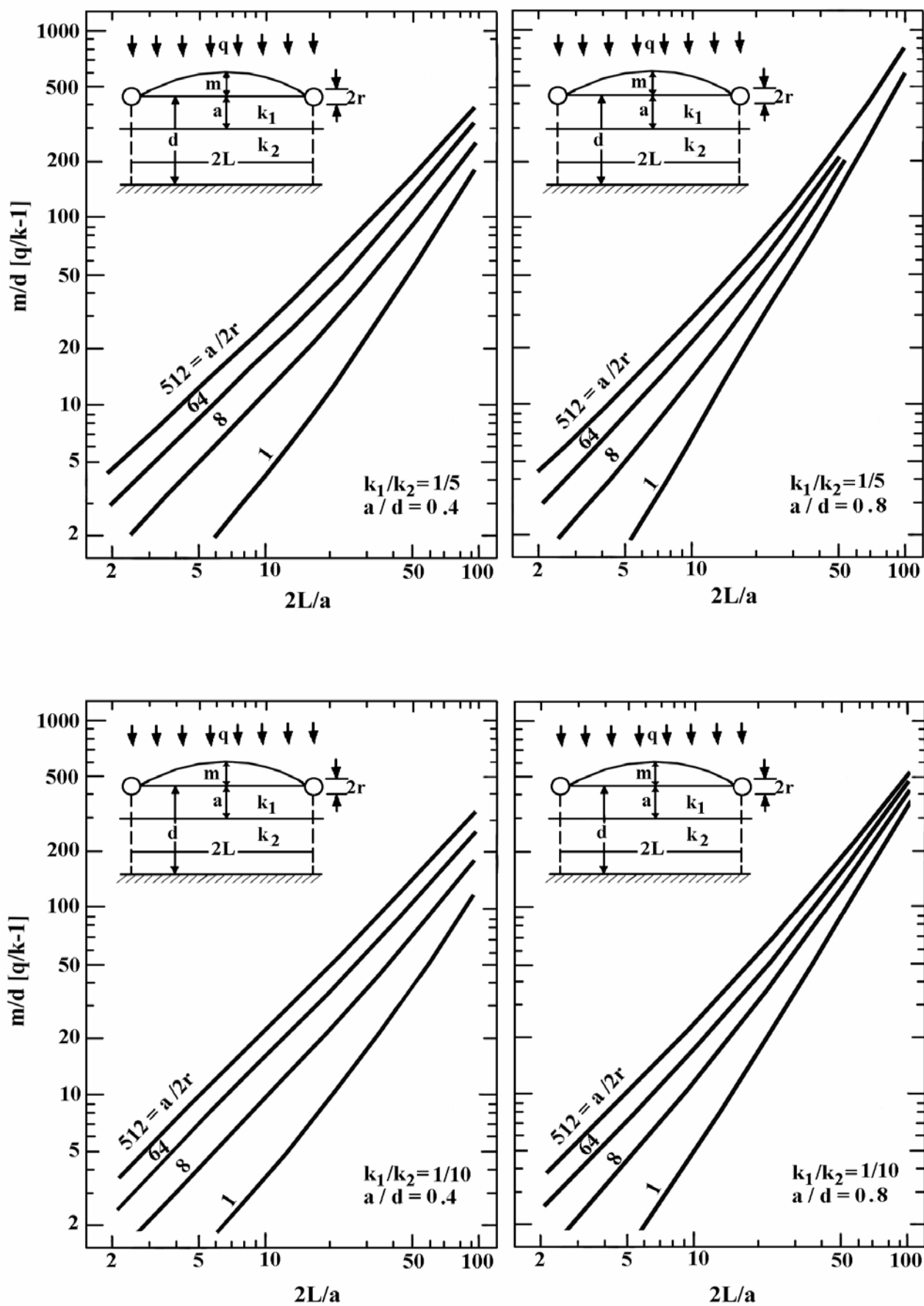
بنابراین فاصله زهکش‌ها با استفاده از رابطه کرکهام برابر ۷۵ متر است.



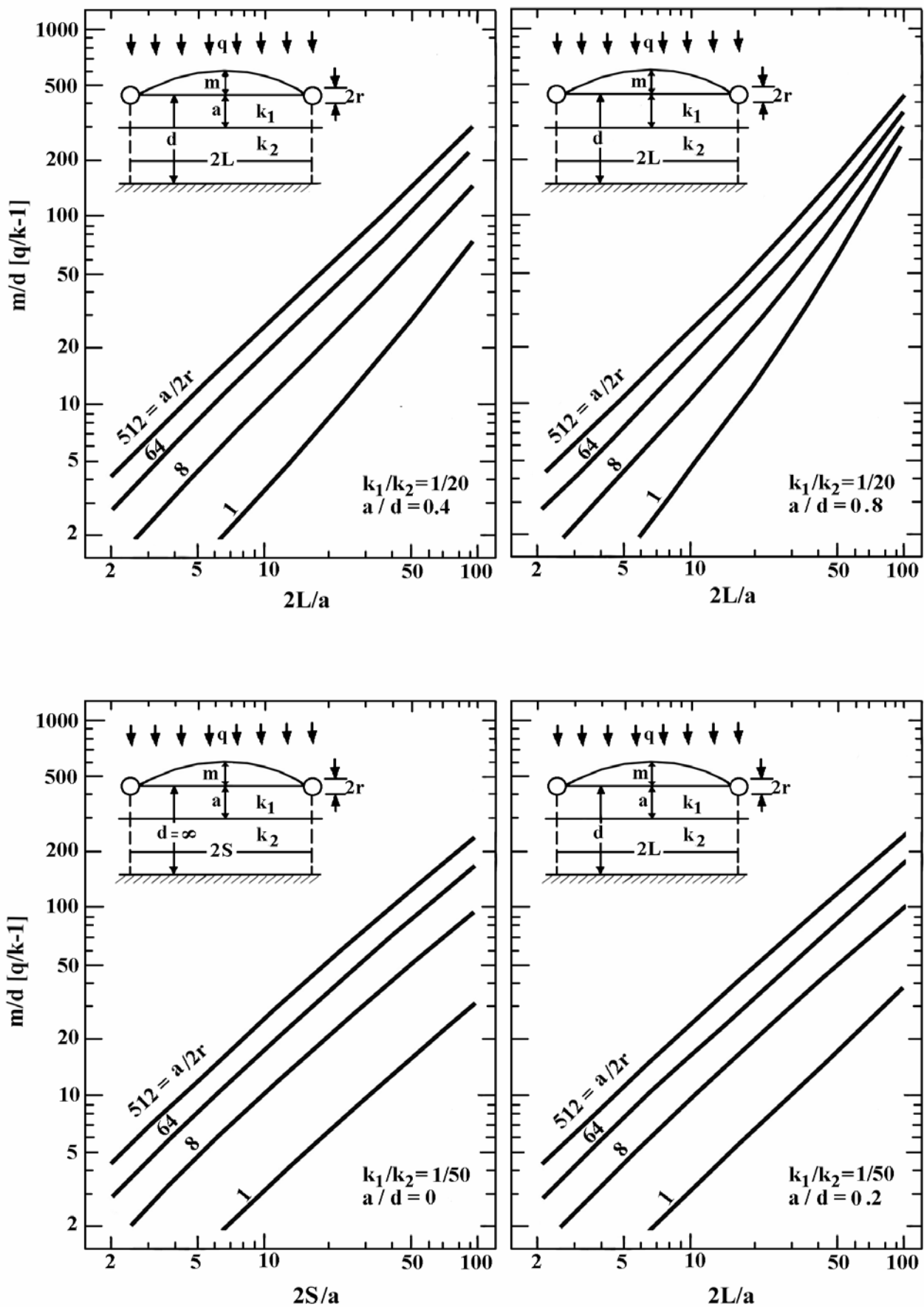
شکل ۷- تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های دو لایه به روش توکسوز - کرکهام



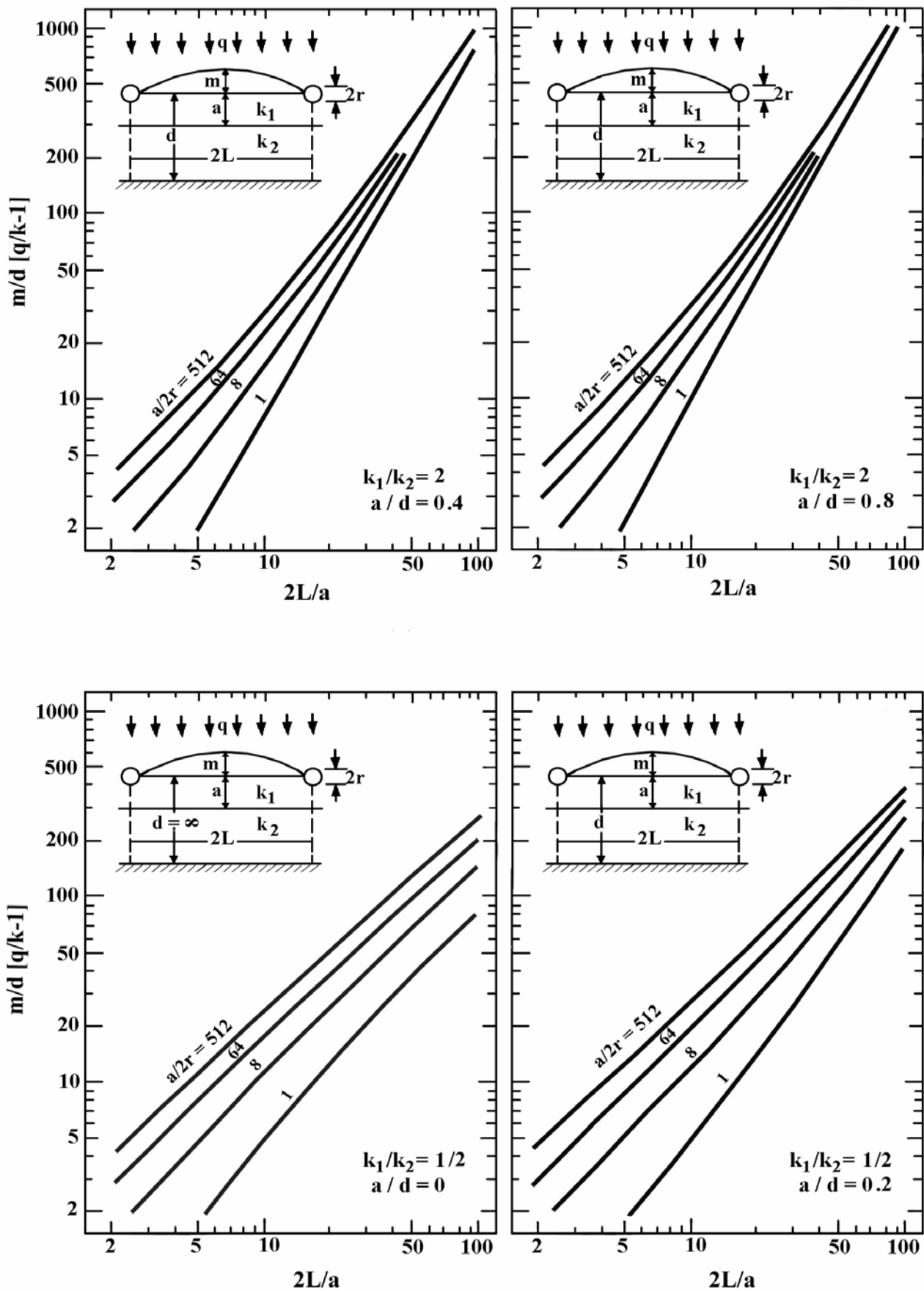
ادامه شکل ۷- تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های دو لایه به روش توکسوز - کرکهام



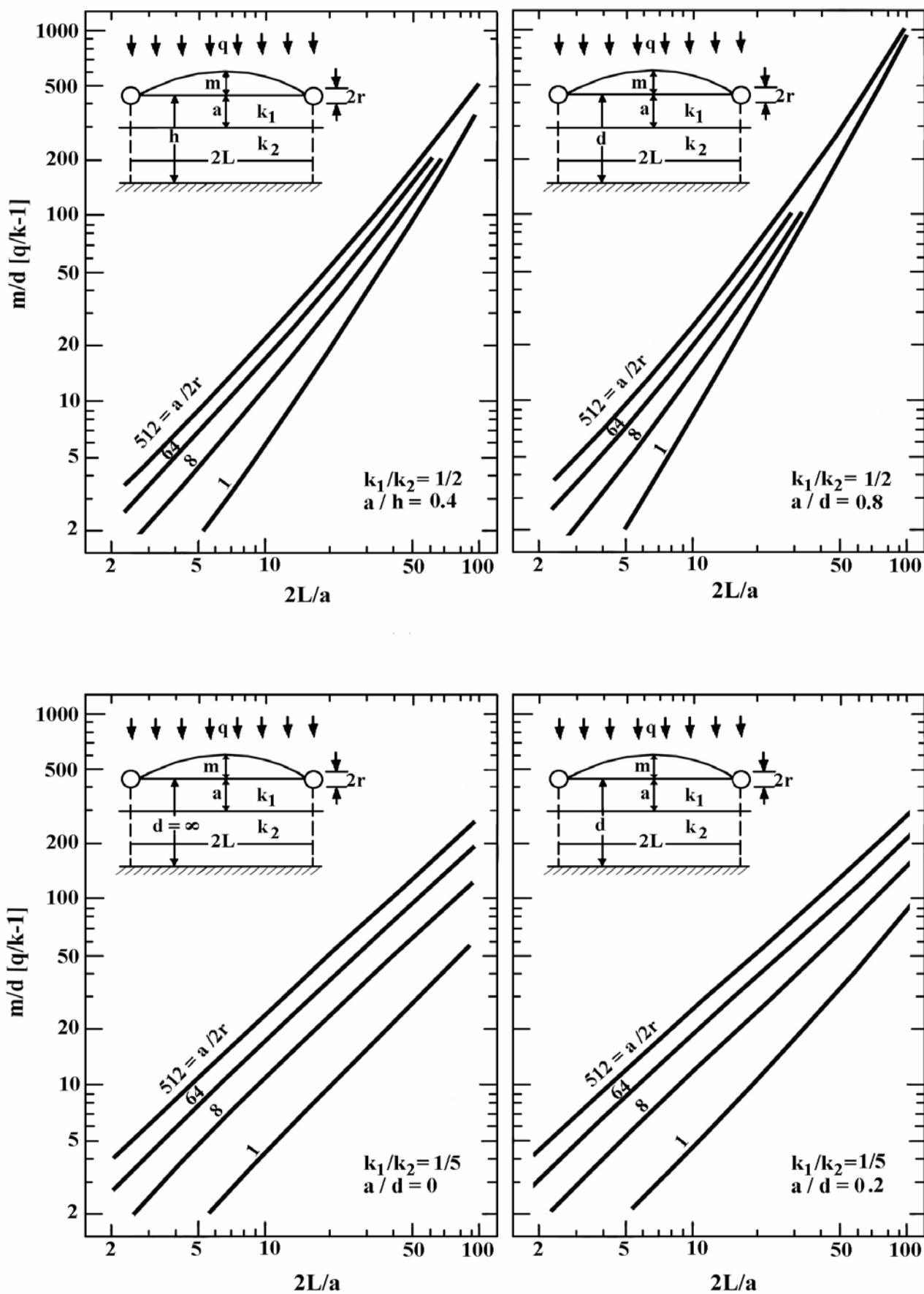
ادامه شکل ۷- تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های دو لایه به روش توکسوز - کرکهام



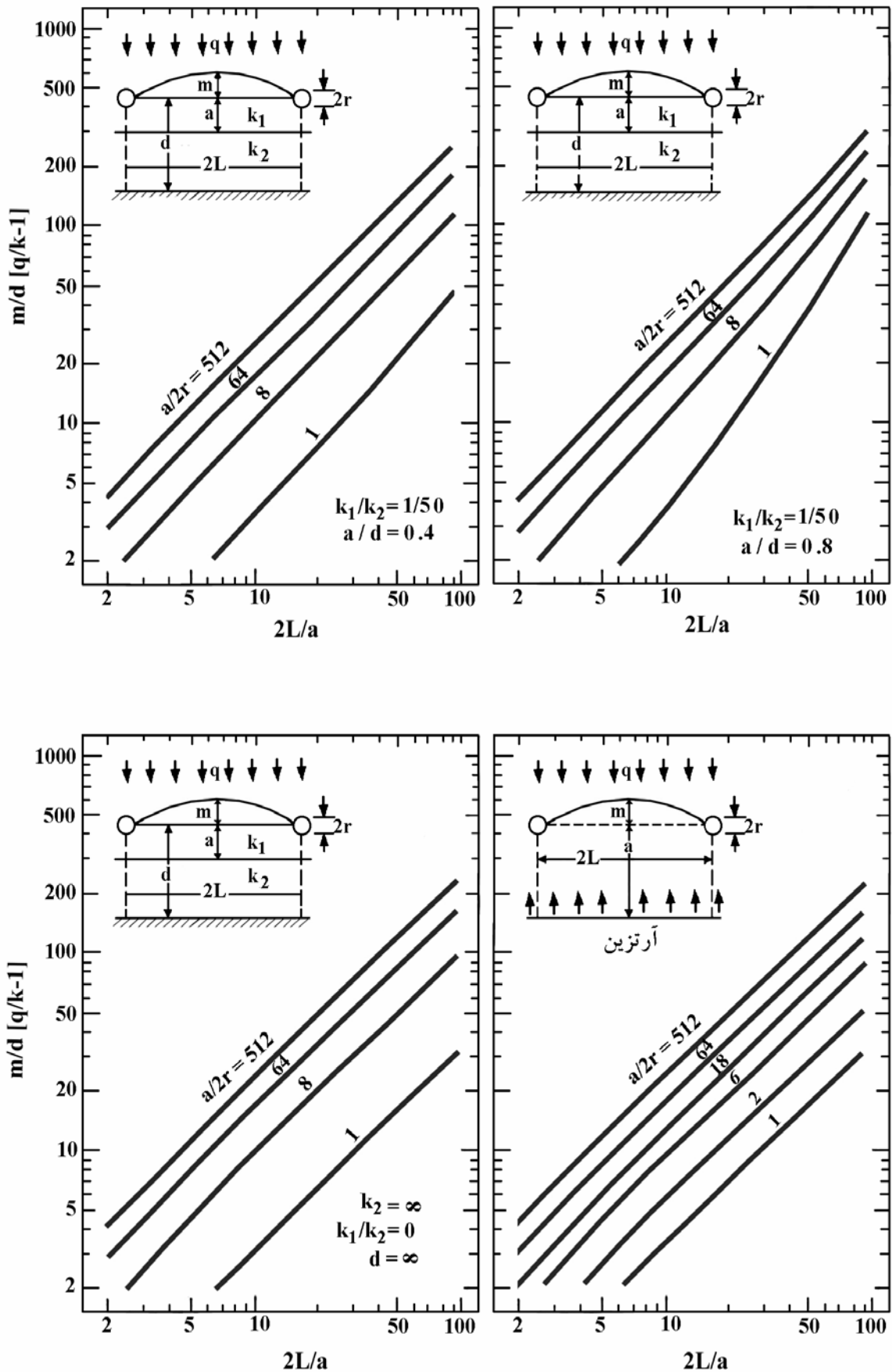
ادامه شکل ۷- تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های دو لایه به روش توکسوز - کرکهام



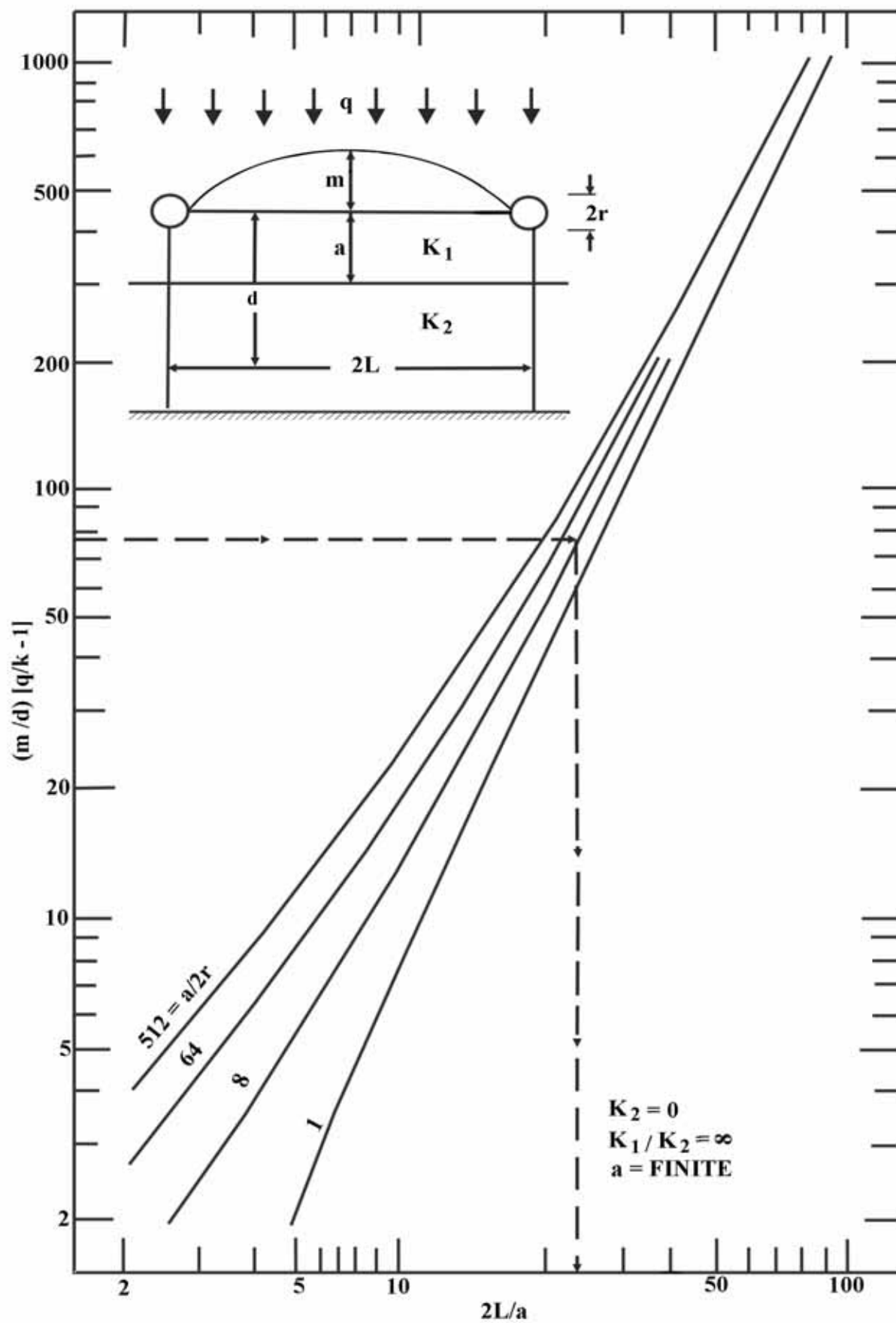
ادامه شکل ۷- تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های دو لایه به روش توکسوز - کرکهام



ادامه شکل ۷- تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های دو لایه به روش توکسوز - کرکهام



ادامه شکل ۷- تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های دو لایه به روش توکسوز - کرکهام



ادامه شکل ۷- تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های دو لایه به روش توکسوز - کرکهام

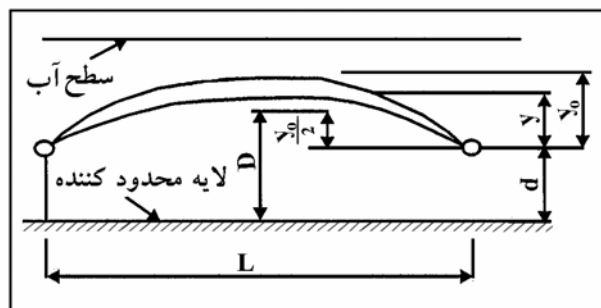
فصل چهارم: تعیین فاصله زهکش‌ها در جریان‌های غیرماندگار

کلیات

همانطور که پیش از این گفته شد، هنوز تعدادی از متخصصین عقیده دارند که در اراضی فاریاب، روش‌های غیرماندگار نتیجه‌های درست‌تری را به دست می‌دهد زیرا این روش‌ها، می‌توانند شرایط تغذیه و تخلیه خاک را بهتر نمایان سازند. عواملی که در طراحی زهکش‌های زیرزمینی دخالت می‌کنند بی‌شمارند، که از آن جمله می‌توان به عمق زهکش‌ها، عمق لایه محدود کننده، هدایت هیدرولیک و آبدهی ویژه خاک، عمق مورد نظر برای تهویه خاک، روش‌های آبیاری و اثری که روی میزان نفوذ عمقی به جا می‌گذارند، طول دوره آبیاری، دفعات آبیاری، مقدار آبیاری در هر نوبت، شرایط آب و هوایی، کیفیت شیمیایی آب و خاک و مسائل بسیار مهم محیط زیست خاکی و آبی اشاره کرد. کمی کردن بسیاری از این عوامل، دشوار است و بنابراین، منابع خطا بسیار. از این روی، نمی‌توان به یقین به این نتیجه رسید که خطای ایجاد شده از به کارگیری روش‌های ماندگار، بیش از هر یک از عواملی است که در بالا به آن اشاره شد. با این وجود، در این فصل به دو روش محاسبه فاصله زهکش‌ها به روش غیرماندگار اشاره می‌شود. هر دو روش که در حقیقت دارای یک بنیان هستند، به دو دانشمند آمریکایی و هلندی تبار به نام‌های گلوور^۱ و مهندس دم^۲ باز می‌گردد که در دهه ۱۹۵۰ روش خود را ارائه کرده‌اند.

۱- روش گلوور - دم در آبیاری حداکثر

در این روش، فقط یک آبیاری مورد توجه قرار می‌گیرد و آن، نوبتی از آبیاری است که در آن یا میزان عمق آبیاری بیشترین مقدار را دارد و یا فاصله آبیاری کمترین است به طوری که بحرانی‌ترین حالت ممکن در این دوره اتفاق می‌افتد. در این روش، فرض می‌شود که سطح آب بالا آمده در اثر آبیاری یا بارندگی، در فاصله بین دو آبیاری به وسیله زهکش‌ها تخلیه شده و وضعیت به حالت اول باز می‌گردد. در این صورت، باید فاصله زهکش‌ها طوری تعیین شود که بتواند معادل آب تغذیه شده را در زمان باقی‌مانده تا نوبت بعدی آبیاری تخلیه کند.



شکل ۸- پارامترهای رابطه گلوور - دم در آبیاری حداکثر

1 - Glover

2 - Dumm

برای به دست آوردن فاصله زهکش‌ها در این روش، می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد :

$$L^2 = \frac{\pi^2 K D t}{S} (\ln 1/16 \frac{y_0}{y})^{-1} \quad (19)$$

که در آن :

L = فاصله زهکش‌ها (متر)،

y_0 = بار اولیه سطح ایستابی درست پس از آبیاری (متر)،

y = بار نهایی سطح ایستابی بلافاصله قبل از آبیاری بعدی (متر)،

K = هدایت هیدرولیک خاک (متر بر روز)،

D = میانگین عمق لایه آبگذر در حد فاصل بین دو آبیاری (متر) :

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

de = عمق معادل که از رابطه مودی یا رابطه‌های (۱۲) تا (۱۴) به دست می‌آید (متر)،

t = فاصله بین دو آبیاری مورد نظر (روز)، و

S = آبدهی ویژه (اعشاری).

مثال : شدیدترین آبیاری در یک مزرعه نیشکر در یک دوره آبیاری ۷ روزه اتفاق می‌افتد. در این آبیاری که مقدار ناخالص آن ۱۵۰ میلی‌متر است، ۲۵ درصد آب از ناحیه ریشه‌ها خارج می‌شود. با این آبیاری، سطح آب به ۸۰ سانتی‌متری زمین می‌رسد. می‌خواهیم سطح آب در شروع آبیاری بعدی در جایی باشد که پس از آبیاری، سطح آب از ۸۰ سانتی‌متری بالاتر نیاید. هدایت هیدرولیک خاک ۱/۲ متر بر روز است. زهکش در ۲ متری نصب شده و لایه محدود کننده در ۵ متری قرار دارد. شعاع زهکش و مواد پوشاننده مربوط ۱۵ سانتی‌متر فرض می‌شود. فاصله مناسب زهکش چقدر است ؟

$$t = 7 \text{ d}$$

$$K = 1/2 \text{ متر بر روز}$$

$$S = 0/135 \quad (\text{با استفاده از شکل ۱})$$

$$d = 3 \text{ متر}$$

$$r = 0/15 \text{ متر}$$

$$y_0 = 2 - 0/8 = 1/2 \text{ متر}$$

$$\text{پایین افتادن سطح آب} \quad \frac{0/150 \times 0/25}{0/135} = 0/28 \text{ متر}$$

$$y = 1/2 - 0/28 = 0/92 \text{ متر}$$

$$L = 80^{\text{متر}} \text{ آزمون اول :}$$

$$\frac{d}{L} = \frac{3}{80} = 0/0375 < 0/3$$

با استفاده از رابطه‌های (۱۲) و (۱۳)

$$\alpha = 3/55 - 1/6 \times 0/0375 + 2 \times 0/0375^2 = 3/49$$

$$d_e = 3 \left\{ (1 + 0/0375 \left[\frac{8}{3/14} \ln\left(\frac{3}{0/15}\right) - 3/49 \right] \right\}^{-1} \text{ متر } 2/6$$

$$D = 2/6 + \frac{1/2}{2} = 3/2 \text{ متر}$$

$$L^2 = \frac{\pi^2 \times 1/2 \times 3/2 \times 7}{0/135} (\ln 1/16 \times \frac{1/2}{0/92})^{-1} = 4671 \text{ متر مربع}$$

$$L = 69 \text{ متر}$$

چون L به دست آمده (۶۹ متر) با L آزمون اول (۸۰ متر) تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد، بنابراین باید آزمون دیگری انجام داد.
 آزمون دوم : $L = 70$

$$\alpha = 3/55 - 1/6 \times \frac{3}{70} + 2 \times \left(\frac{3}{70}\right)^2 = 3/48 \text{ متر}$$

$$d_e = 3 \left\{ 1 + \frac{3}{70} \left[\frac{8}{3/14} \ln\left(\frac{3}{0/15}\right) - 3/48 \right] \right\}^{-1} = 2/55 \text{ متر}$$

$$D = 2/55 + \frac{1/2}{2} = 3/15 \text{ متر}$$

$$L^2 = \frac{\pi^2 \times 1/2 \times 3/15 \times 7}{0/135} (\ln 1/16 \times \frac{1/2}{0/92})^{-1} = 4671 \text{ متر مربع}$$

$$L = 68/3 \text{ متر}$$

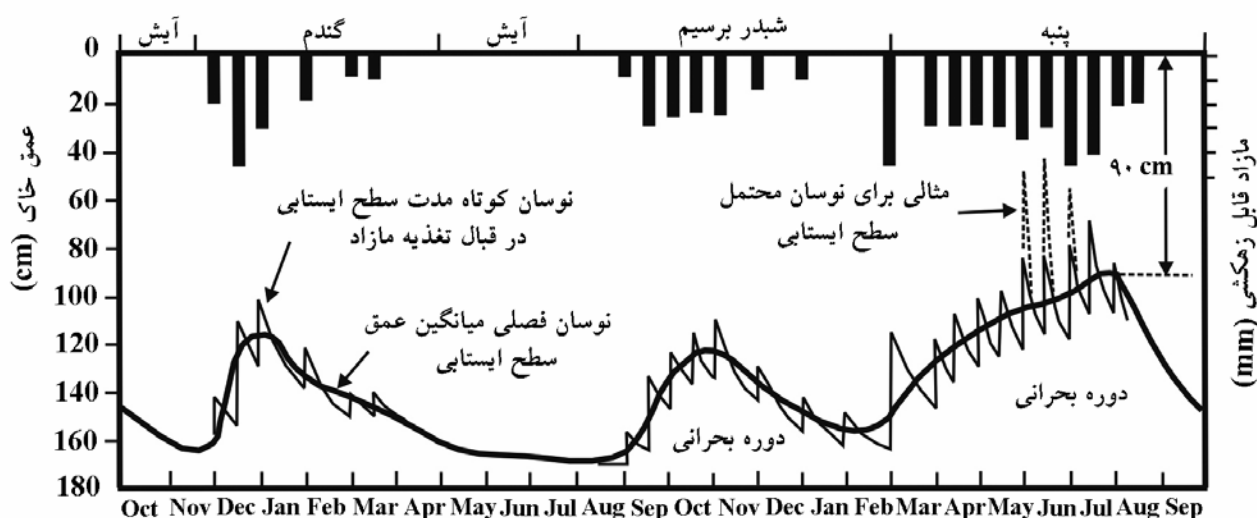
که به اندازه کافی به L فرض شده در آزمون دوم (۷۰ متر) نزدیک است. بنابراین پاسخ مسئله یعنی فاصله مناسب زهکش ۷۰ متر خواهد بود.

۲- روش تعادل دینامیکی^۱

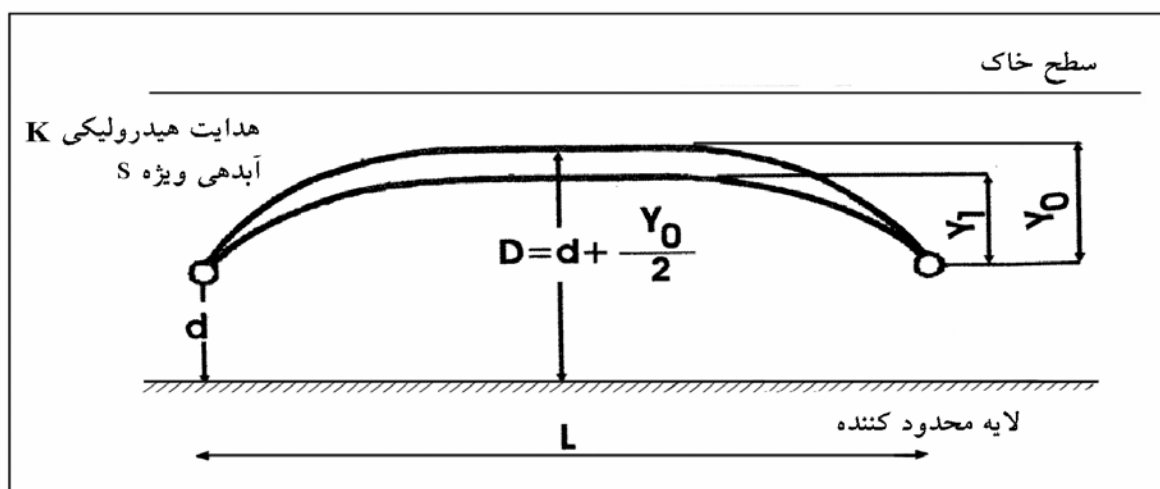
همانطور که گفته شد، در روش تعادل دینامیکی نیز در حقیقت از رابطه گلوور - دم استفاده می‌شود. یکی از اشکالات روش گلوور- دم در آبیاری حداکثر این است که این روش بدترین و بحرانی‌ترین حالت را مورد توجه قرار می‌دهد، در حالی که امکان دارد هنوز مقداری از فضای زیر سطح مجاز ایستابی از آب پر نشده باشد. بنابراین می‌توان گفت که این روش تا حدودی محافظه‌کارانه است و فاصله زهکش‌ها را کمتر از حد مورد لزوم برآورد می‌کند.

در روش تعادل دینامیکی، نوسان سطح ایستابی در یک دوره بلند مدت که به‌طور معمول از یک سال کمتر نیست، مورد توجه قرار می‌گیرد. شکل (۹) به عنوان مثال، نمونه‌ای از این وضعیت را نشان می‌دهد. به طوری که مشاهده می‌شود در این زمین، در مدت دو سال پیاپی سه محصول گندم، شبدر برسيم و پنبه کشت شده و در این فاصله دوبار آیش نیز وجود داشته است. منحنی شکل (۹) نشان می‌دهد که با هر بار آبیاری یا بارندگی، سطح آب در داخل خاک بالا آمده و در فاصله زمانی تا

آبیاری بعدی فروکش می‌کند. اگر سطح آب برای مدت قابل توجهی به اندازه‌ای بالا بیاید که به ناحیه توسعه ریشه برسد و تهویه خاک و گیاه را با مشکل مواجه کند، باید فاصله زهکش را کم کرد. بر عکس، اگر سطح آب بیش از حد پایین باشد، می‌توان فاصله زهکش‌ها را بیشتر انتخاب کرد. به عبارت دیگر، اگر در طول مدت معین (به عنوان مثال یک سال یا یک دوره تناوب)، سطح آب به محل اولیه خود باز گردد و بیش از حد بالا و پایین نباشد، فاصله زهکش مناسب بوده و تعادل دینامیکی برقرار شده است. شکل (۱۰) پارامترهای معادله کلی جریان آب زیرزمینی را نشان می‌دهد. در این روش، از حل معادله کلی جریان غیرماندگار به صورتی که در صفحه بعد آمده استفاده شده است.



شکل ۹- تعادل دینامیکی و نوسان سطح ایستابی در یک زمین زهکشی شده (مأخذ شماره ۶)



شکل ۱۰- پارامترهای معادله کلی جریان آب زیرزمینی بین دو زهکش

$$\frac{\delta^2 y}{\delta x^2} = \frac{S}{T} \cdot \frac{\delta y}{\delta t} \quad (20)$$

که در آن :

y و x = مختصات سطح ایستابی در هر زمان، وقتی که مبداء مختصات، مرکز یکی از زهکش‌ها باشد،

S = آبدهی ویژه (اعشاری)،

$$T = KD$$

T = قابلیت انتقال^۱ (متر مربع بر روز)،

K = هدایت هیدرولیک خاک، (متر بر روز) و

D = میانگین عمق لایه آبگذر (متر).

$$D = d_e + \frac{y_o}{2}$$

گلوور معادله دیفرانسیلی بالا را به صورت زیر تغییر داده است :

$$y = \frac{4y_o}{\pi} \sum_{n=1,3,\dots}^{\infty} \frac{1}{n} e^{-\frac{n^2 \pi^2 \alpha t}{L^2}} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \quad (21)$$

که در آن :

y = ارتفاع سطح آب زیرزمینی در نقطه میانی بین دو زهکش در لحظه t

y_o = ارتفاع اولیه آب زیرزمینی در نقطه میانی دو زهکش قبل از آبیاری،

n = سری اعداد فرد،

$$\alpha = \frac{KD}{S} = \frac{T}{S}$$

که در آن :

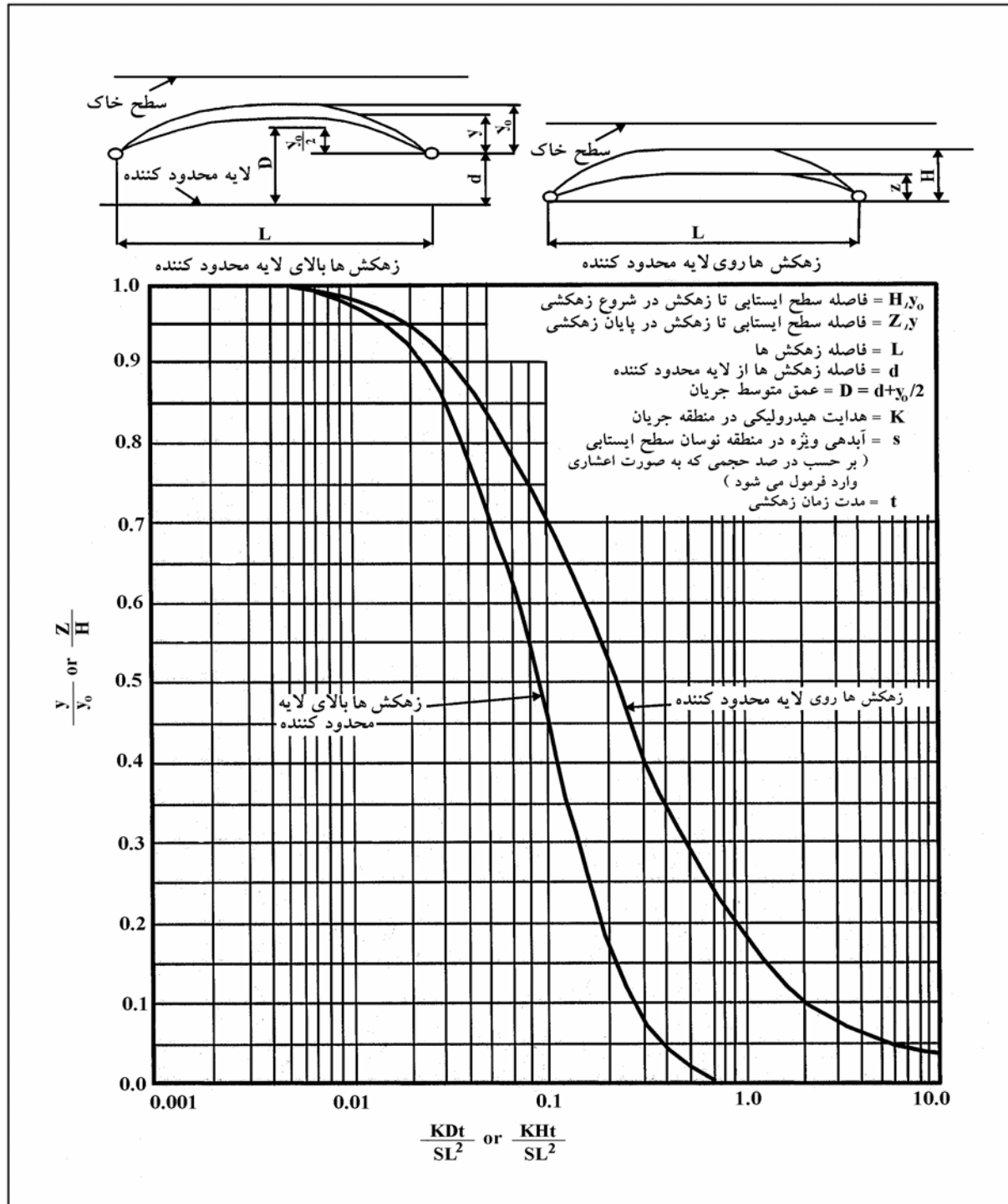
α = ضریب پخش آب در خاک،

t = زمان،

L = فاصله بین دو زهکش.

حل این معادله به سادگی امکان پذیر نبوده و ابتدا باید فاصله‌ای را برای زهکش فرض کرد. اگر نتیجه به دست آمده در حد خطای مجاز با آن فاصله داشت، باید آن را پذیرفت در غیر این صورت، دست به آزمون دیگری زد. در رابطه (۲۱) با فرض $x = \frac{L}{2}$ و داشتن مقدار y_o (عمق سطح ایستابی قبل از هر آبیاری) می‌توان موقعیت سطح آب را پس از آبیاری (y) به دست آورد؛ به این ترتیب می‌توان تحقق تعادل دینامیکی را آزمود. به هر حال، رسیدن به پاسخ درست فاصله زهکش‌ها با استفاده از معادله (۲۱) نیازمند محاسبات پیچیده و تکرارهای زیاد است. اداره عمران اراضی ایالات متحده برای ساده کردن حل مسئله،

منحنی بدون بعدی را ارائه کرده که در یک محور آن $\frac{KDT}{SL^2}$ یا $\frac{KHT}{SL^2}$ و در محور دیگر $\frac{y}{y_0}$ یا $\frac{Z}{H}$ قرار دارد. این منحنی در شکل (۱۱) نمایش داده شده و پارامترهای Z, D و H روی همین شکل نشان داده شده است.



شکل ۱۱- رابطه بین پارامترهای مختلف در روش تعادل دینامیکی

منابع و مراجع

- ۱- بای‌بوردی، محمد، ۱۳۶۰، اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، انتشارات دانشگاه تهران
- 2- US Department of Interior, Bureau of Reclamation, 1984, Drainage Manual.
- 3- US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, 1973, Drainage of Agricultural Land.
- 4- Van Schilfgaarde, J., 1974. Drainage for Agriculture, American Society of Agronomy, Nomograph No, 17.
- 5- Food and Agriculture Organization of The United Nations, 1980, Drainage Design Factors.
- 6- Van Schilfgaarde, J., Skaggs, R.W., 1999, Agricultural Drainage, American Society of Agronomy Nomograph No.32.

In the Name of God
Islamic Republic of Iran
Ministry of Energy
Iran Water Resources Management CO.
Deputy of Research
Office of Standard and Technical Criteria

Design Criteria for Determination of Depth and Spacing of Subsurface Drains

این نشریه

با عنوان «ضوابط طراحی تعیین فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی» ابتدا به بیان عوامل موثر در فاصله و عمق زهکش‌ها می‌پردازد. این قسمت در برگیرنده مطالبی در مورد شناسایی نیمرخ خاک، هدایت هیدرولیک خاک، ضریب زهکشی، آبدهی ویژه، عمق مجاز تثبیت سطح ایستابی و عمق بهینه نصب زهکش زیرزمینی است. سپس ضوابط طراحی فاصله زهکش‌ها براساس روش‌های متداول در جریان‌های ماندگار و غیر ماندگار ارائه می‌شود. در روش‌های ماندگار، روابط ارنست - هوخهات و کرکهام و در روش‌های غیر ماندگار، روش گلوور - دم مورد توجه قرار گرفته و روش تعادل دینامیکی نیز تشریح شده است.

معاونت امور اداری، مالی و منابع انسانی
مرکز مدارک علمی، موزه و انتشارات

ISBN 964-425-683-2



9 789644 256837