انتشارات دانشگاه شیراز
۵۳۳

انتشارات مرکز منطقه‌ای
اطلاع‌رسانی علوم و فناوری

اصول و مهندسی زهکشی

جلد دوم

مهندسی زهکشی

تألیف

دکتر مسعود نوشادی

عضو هیات علمی بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

سرشناسه	:	نوشادی، مسعود، ۱۳۴۲-
عنوان و نام پدیدآور	:	اصول و مهندسی زهکشی/تالیف مسعود نوشادی.
مشخصات نشر	:	شیراز : دانشگاه شیراز، مرکز نشر: وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	:	۲ج.: مصور، جدول، نمودار
فروست	:	انتشارات دانشگاه شیراز؛ ۵۳۳.
شابک	:	ج۱: ۶-۶-۹۸۲۰-۶۰۰-۹۷۸ ج۲: ۳-۷-۹۸۲۰-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه.
یادداشت	:	نمایه.
مندرجات	:	ج.۱. اصول زهکشی.- ج.۲. مهندسی زهکشی.
موضوع	:	زهکشی
موضوع	:	Drainage
موضوع	:	آبیاری -- مهندسی
موضوع	:	Irrigation engineering
شناسه افزوده	:	دانشگاه شیراز. مرکز نشر
شناسه افزوده	:	ایران. وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری
شناسه افزوده	:	Regional information center for science and technology
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۷ ۶ الف ۸۶ ن / TC ۹۷۰
رده بندی دیویی	:	۶۲۷/۵۴
شماره کتابشناسی ملی	:	۵۳۷۱۰۴۳

اصول و مهندسی زهکشی جلد دوم مهندسی زهکشی

تالیف: دکتر مسعود نوشادی

چاپ اول: ۱۳۹۷

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

ناشر: انتشارات دانشگاه شیراز با همکاری انتشارات مرکز منطقه‌ای علوم و فناوری

قیمت: ریال

حق چاپ برای مرکز نشر دانشگاه شیراز و انتشارات مرکز منطقه‌ای علوم و فناوری محفوظ است

شیراز، میدان ارم، کوی دانشگاه شیراز - کد پستی ۸۵۱۱۵ - ۷۱۹۴۶ صندوق پستی ۱۱۶۱

تلفن و تلفکس: ۰۷۱۳۶۲۷۳۰۵۰

شورای انتشارات دانشگاه شیراز

دکتر سید مجتبی زبرجد	معاون پژوهشی دانشگاه و رئیس شورای انتشارات
دکتر علیرضا سرداریان	نماینده معاون پژوهشی دانشگاه در شورای انتشارات
دکتر هاجر ستوده	رئیس مرکز نشر
دکتر محمد امامی	دانشکده حقوق و علوم سیاسی
دکتر مهرزاد بیغش	دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
دکتر مرتضی خسرو نژاد	دانشکده علوم تربیتی و روان‌شناسی
دکتر سید مجتبی زبرجد	دانشکده مهندسی
دکتر نوذر سامانی	دانشکده علوم
دکتر علیرضا شریعتی	دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز
دکتر حمیدرضا شریف	دانشکده هنر و معماری
دکتر عبدالعلی شکر	دانشکده الهیات و معارف اسلامی
دکتر احمد صدرایی جواهری	دانشکده اقتصاد، مدیریت و علوم اجتماعی
دکتر حسین کیانی	دانشکده ادبیات و علوم انسانی
دکتر مرضیه موسوی نسب	دانشکده کشاورزی
دکتر ناصر وصال	دانشکده دامپزشکی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل پنجم: طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در حالت ماندگار و مواد زهکشی ۶۶۱
۵-۱- ملاحظات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی ۶۶۱
۵-۲- ملاحظات اصلی طراحی: حالت ماندگار و غیرماندگار ۶۶۳
۵-۲-۱- ملاحظات هیدرولوژیکی برای طرح زهکشی زیرزمینی در حالت ماندگار ۶۶۵
۵-۳- تخمین ضریب زهکشی ۶۶۶
۵-۳-۱- تجزیه و تحلیل ویژگی‌های خاک و باران ۶۶۶
۵-۳-۲- اطلاعات آبیاری ۶۶۹
۵-۳-۳- فرمول تجربی ۶۷۰
۵-۳-۴- بیلان آب ۶۷۰
۵-۴- طراحی هیدرولیکی برای زهکشی زیرزمینی در حالت ماندگار ۶۷۲
۵-۴-۱- فرضیات مختلف و واقعیتهای موجود در اراضی ۶۷۵
۵-۴-۲- معادله بیضی و معادله هوخهات ۶۷۸
۵-۴-۲-۱- اصلاح معادله هوخهات برای خاک لایه‌ای ۶۸۱
۵-۴-۲-۲- اصلاح برای زهکشی با نفوذ جزئی ۶۸۲
۵-۴-۲-۳- جایگزینی کانال زهکش با لوله زهکش (مفهوم عمق معادل) ۶۸۵
۵-۴-۲-۴- معادله کلی هوخهات برای محاسبه فاصله بین زهکش‌های لوله‌ای ۶۹۴
۵-۴-۳- سایر روابط فاصله زهکش در حالت ماندگار ۶۹۸
۵-۴-۳-۱- فرمول کرکهام ۶۹۹
۵-۴-۳-۲- روش توکسوز- کرکهام ۷۱۱
۵-۴-۳-۳- فرمول داگان ۷۲۱
۵-۴-۳-۴- مقایسه بار آبی در فرمول‌های هوخهات، کرکهام و داگان ۷۲۴
۵-۴-۳-۵- معادله ارنست ۷۲۴
۵-۴-۳-۶- روش دونان ۷۳۳
۵-۴-۳-۷- مقایسه ویژگی‌های مختلف فرمول زهکشی درحالت ماندگار ۷۴۲
۵-۴-۳-۸- استفاده از معادلات هوخهات، کرکهام و داگان برای محاسبه فاصله زهکش‌ها ۷۴۵
۵-۵- طراحی زهکش حائل (زهکش نشت) ۷۴۸
۵-۵-۱- زهکشی به سمت رودخانه ۷۵۶
۵-۶- محاسبه قطر لوله‌های زهکش ۷۵۷
۵-۶-۱- جریان غیر یکنواخت ۷۵۹
۵-۶-۲- طراحی لوله‌های زهکش با قطرهای مختلف ۷۶۳
۵-۶-۳- محاسبه قطر لوله‌های زهکش با استفاده از فرمول مانینگ ۷۶۵
۵-۷- مواد زهکشی ۷۷۹

۵-۷-۱- مزایای استفاده از لوله‌های زهکشی از جنس PVC ۷۸۰
۵-۷-۲- پوشش لوله‌های زهکش ۷۸۳
۵-۷-۳- انواع پوشش ۷۸۹
۵-۷-۳-۱- شیارها، درزهای باز و سوراخ‌های دایره‌ای شکل در لوله‌های زهکش ۷۹۲
۵-۷-۳-۲- پوشش‌های دانه‌ای درجه‌بندی شده ۷۹۲
۵-۷-۳-۳- روش USSCS ۷۹۳
۵-۷-۳-۴- روش USBR ۷۹۴
۵-۷-۳-۵- سایر معیارهای طراحی پوشش‌های معدنی ۷۹۵
۵-۷-۳-۶- معیارهای طراحی پوشش‌های معدنی ۷۹۸
۵-۷-۴- طراحی پوشش‌های معدنی (گراولی) ۸۰۱
۵-۷-۴-۱- شیارها، درزهای باز و سوراخ‌های دایره‌ای شکل در لوله‌های زهکش ۸۰۲
۵-۷-۴-۲- پوشش‌های دانه‌ای درجه‌بندی شده ۸۰۳
۵-۷-۴-۳- روش USSCS ۸۰۴
۵-۷-۴-۴- روش USBR ۸۰۴
۵-۷-۴-۵- معیارهای طراحی پوشش‌های معدنی ۸۰۵
۵-۷-۴-۶- معیارهای نگهداری پوشش‌های مصنوعی ۸۰۶
۵-۷-۴-۷- انتخاب معیار برای پوشش‌های مصنوعی ۸۰۷
۵-۷-۴-۸- معیارهای جلوگیری از گرفتگی پوشش‌های مصنوعی ۸۱۶
۵-۷-۴-۹- معیارهای هیدرولیکی پوشش‌های مصنوعی ۸۱۶
۵-۷-۵- معیارهای انتخاب پوشش ژئوتکستایل در زهکشی ۸۱۹
۵-۷-۶- آزمایش‌های مورد نیاز برای پوشش‌های زهکشی ۸۳۰
۵-۷-۷- ارزیابی فنی عملکرد فیلتراسیون ۸۳۲
۵-۷-۸- پوشش زهکشی برای اراضی شالیزاری ۸۳۵
۵-۷-۹- نصب پوشش ۸۳۶
۵-۷-۱۰- جمع‌بندی ۸۳۷
۵-۸- ساختمان‌های زهکشی ۸۳۸
۵-۸-۱- ساختمان‌های ورودی لوله زهکش به کالکتور (زهکش‌های جمع‌کننده) ۸۳۸
۵-۸-۲- منهول (حفره‌های آدم‌رو) ۸۴۱
۵-۸-۳- ورودی آب‌های سطحی ۸۴۴
۵-۸-۴- مجرای کاهش فشار ۸۴۷
۵-۸-۵- تقاطع زهکش با کانال یا جاده ۸۴۸
۸-۶- خروجی پمپاژ ۸۵۰
فهرست منابع ۸۵۴

فصل ششم: طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در حالت غیر ماندگار، زهکشـــی در اراضی شیب‌دار و زهکش مول ۸۵۹
۶-۱- ملاحظات هیدرولوژیکی برای طراحی زهکش‌های زیر زمینی با جریان غیر ماندگار ۸۵۹
۶-۲- طراحی هیدرولیکی برای زهکشی زیرزمینی در حالت غیر ماندگار ۸۶۱
۶-۳- فرمول گلوور- دام ۸۶۱
۶-۳-۱- معادله پیوستگی در حالت غیر ماندگار ۸۶۲
۶-۳-۲- تجزیه و تحلیل گلوور (زهکش بالای لایه نفوذناپذیر) ۸۶۵
۶-۴- روش بوزینسک ۸۷۷
۶-۴-۱- رابطه گلور- دام ۸۷۹
۶-۵- تعیین بار آبی متوسط ۸۸۸
۶-۶- تعیین دبی ورودی به زهکش ۸۸۹
۶-۷- روش دزیو- هلینگا ۸۹۲
۶-۸- روش کراجنهوف وان دلور ماسلند (کراجنهوف- ماسلند) ۸۹۶
۶-۸-۱- دبی خروجی از زهکش‌ها ۹۱۳
۶-۹- روش دزیو ۹۲۷
۶-۱۰- تبدیل معادله از جریان ماندگار به غیر ماندگار ۹۶۱
۶-۱۱- زهکشی غیر ماندگار با تخلخل قابل زهکشی متغیر ۹۷۶
۶-۱۲- جریان غیر ماندگار زهکشی همراه با تلفات تبخیر ۹۸۳
۶-۱۳- زهکشی زمین‌های شیب‌دار ۹۸۵
۶-۱۴- نامساوی یانگ برای تعیین فاصله زهکش‌ها ۹۹۶
۶-۱۵- زهکشی زمین‌های شیب‌دار ۱۰۰۰
۶-۱۵-۱- شبیه‌سازی اراضی مسطح بدون تغذیه ۱۰۰۵
۶-۱۵-۲- زهکشی در اراضی شیب‌دار در حالت ماندگار ۱۰۰۸
۶-۱۵-۳- معادلات زهکشی در اراضی شیبدار با تغذیه متغیر ۱۰۰۸
۶-۱۵-۳-۱- حل معادلات دیفرانسیل ۱۰۱۳
۶-۱۵-۳-۲- جداسازی متغیرها ۱۰۱۳
۶-۱۵-۳-۳- انتگرال‌گیری مکانی معادلات ۱۰۱۴
۶-۱۵-۳-۴- فاکتورهای شکل سطح ایستابی ۱۰۱۷
۶-۱۶- معادله زهکشی هوخهات اصلاح شده با درنظر گرفتن مقاومت ورودی در اراضی شیب‌دار در حالت ماندگار ۱۰۱۹
۶-۱۶-۱- زهکشی اراضی شیبدار با در نظرگرفتن مقاومت ورودی ۱۰۲۱
۶-۱۶-۲- معادلات هوخهات اصلاح شده با مقاومت ورودی ۱۰۲۳
۶-۱۶-۳- معادله اصلاح شده هوخهات برای اراضی شیبدار ۱۰۲۴
۶-۱۶-۴- روش تحلیلی زهکشی در اراضی شیبدار ۱۰۲۷

۶-۱۷- روش تعادل دینامیکی ۱۰۳۰
۶-۱۸- زهکش‌های لانه موشی (مول) ۱۰۳۴
۶-۱۸-۱- ضرورت استفاده از زهکش لانه موشی ۱۰۳۵
۶-۱۸-۲- اصول زهکشی لانه موشی ۱۰۳۵
۶-۱۸-۳- آزمایش خاک برای ایجاد زهکش لانه موشی ۱۰۳۸
۶-۱۸-۴- عمق نصب زهکش‌های مول ۱۰۳۹
۶-۱۸-۵- طول و شیب زهکش‌های لانه موشی ۱۰۴۰
۶-۱۸-۶- فواصل زهکش‌های مول ۱۰۴۰
۶-۱۸-۷- خروجی زهکش مول ۱۰۴۱
۶-۱۸-۸- سرعت حفر مول ۱۰۴۲
۶-۱۸-۹- زمان مناسب احداث زهکش‌های لانه موشی ۱۰۴۲
۶-۱۸-۱۰- عمر مفید زهکش‌های مول ۱۰۴۳
۶-۱۸-۱۱- ماشین‌های حفار زهکشی مول ۱۰۴۳
۶-۱۸-۱۲- توان تراکتور ۱۰۴۶
۶-۱۸-۱۳- نصب زهکش لانه موشی در زمین‌های ورزشی ۱۰۴۶
فهرست منابع ۱۰۴۸

فصل هفتم: چاه زهکش، تأثیرات زیست محیطی زهکشی و مدل‌های زهکشی ۱۰۵۳
۷-۱- چاه زهکش ۱۰۵۳
۷-۱-۱- هیدرولیک چاه در آبخوان‌های آزاد در حالت ماندگار ۱۰۵۵
۷-۱-۲- هیدرولیک چاه در آبخوان‌های تحت فشار در حالت ماندگار ۱۰۵۸
۷-۱-۳- هیدرولیک چاه در آبخوان‌های آزاد با تغذیه یکنواخت عمودی در حالت ماندگار ۱۰۵۹
۷-۱-۴- هیدرولیک چاه در حالت غیر ماندگار ۱۰۶۲
۷-۱-۵- افت سطح ایستابی به دلیل تأثیر متقابل چاه‌ها در آبخوان آزاد ۱۰۶۸
۷-۱-۶- جریان ماندگار به داخل چاه در یک آبخوان نیمه آزاد ۱۰۷۳
۷-۱-۷- جریان غیر ماندگار به سمت چاه در آبخوان نیمه آزاد ۱۰۷۷
۷-۱-۸- پمپاژ متناوب ۱۰۷۹
۷-۲- تأثیرات زیست محیطی زهکشی ۱۰۸۱
۷-۲-۱- نیتروژن ۱۰۸۳
۷-۲-۲- فسفر ۱۰۸۳
۷-۲-۳- زهکش‌های سطحی و زیرزمینی ۱۰۸۵
۷-۲-۴- راهکارهای کاهش اثرات زیست محیطی زه‌آب خروجی ۱۰۸۷
۷-۲-۵- کیفیت آب ۱۰۸۸
۷-۲-۶- تالاب‌ها و زهکشی ۱۰۹۶

۷-۲-۷- بهداشت عمومی ۱۰۹۷
۷-۳- مدل‌های زهکشی ۱۰۹۸
۷-۳-۱- تاریخچه مدل‌های آب زیرزمینی ۱۰۹۸
۷-۳-۲- مدل *PMWIN* ۱۰۹۹
۷-۳-۳- مدل *Drainmod* ۱۱۰۱
۷-۳-۳-۱- قابلیت‌ها و توانایی‌های مدل ۱۱۰۳
۷-۳-۳-۲- فرضیات اساسی مدل ۱۱۰۳
۷-۳-۳-۲-۱- اصل بیلان جرمی آب ۱۱۰۳
۷-۳-۳-۲-۲- محاسبه دبی خروجی از زهکش‌ها ۱۱۰۴
۷-۳-۳-۲-۳- معادله نفوذ ۱۱۰۶
۷-۳-۳-۳- شاخه‌های مدل ۱۱۰۸
۷-۳-۳-۴- ورودی‌های مدل ۱۱۰۹
۷-۳-۳-۵- فایل‌های خروجی ۱۱۱۰
۷-۳-۴- مدل‌های پیش‌بینی شوری ۱۱۱۰
۷-۳-۴-۱- مدل *SWAP* ۱۱۱۱
۷-۳-۴-۲- مدل *DRAINSAL* ۱۱۱۲
۷-۳-۴-۳- مدل *SALTMOD* ۱۱۱۲
۷-۳-۴-۴- مدل *WATSUIT* ۱۱۱۳
۷-۴- ماشین‌ها و تجهیزات زهکشی ۱۱۱۳
۷-۴-۱- ترنچرهای زنجیری ۱۱۱۵
۷-۴-۲- ترنچرهای گردونه‌ای ۱۱۲۲
۷-۴-۳- ترنچرهای ذوزنقه‌ای ۱۱۲۳
۷-۴-۴- ماشین‌های ترنچلس ۱۱۲۳
۷-۴-۶- بیل مکانیکی ۱۱۳۰
۷-۴-۵- درگلاین (بیل کششی) ۱۱۳۳
۷-۴-۵-۱- طبقه‌بندی درگلاین بر اساس نوع شاسی ۱۱۳۴
۷-۴-۵-۲- طبقه‌بندی درگلاین بر اساس سختی کار و نوع جام ۱۱۳۵
۷-۴-۷- وسایل کنترل حفاری ۱۱۳۷
۷-۴-۸- وسایل بازرسی و نگهداری لوله‌های زهکش ۱۱۴۰
۷-۴-۸-۱- گرفتگی لوله و پوشش ۱۱۴۵
۷-۴-۸-۱-۱- گرفتگی معدنی ۱۱۴۶
۷-۴-۸-۱-۱-۱- فرآیندهای گرفتگی ۱۱۴۶
۷-۴-۸-۱-۲- گرفتگی شیمیایی ۱۱۴۷
۷-۴-۸-۱-۳- گرفتگی به وسیله ریشه گیاهان ۱۱۵۰

۷-۴-۹- کنترل کیفی کارگذاری لوله‌های زهکش ۱۱۵۱
۷-۴-۹-۱- روش میله‌زنی ۱۱۵۱
۷-۴-۹-۲- ثبت پیوسته عمق نصب زهکش ۱۱۵۲
۷-۴-۹-۳- فیلم‌برداری ویدئویی ۱۱۵۴
۷-۴-۹-۴- مسیرسنجی ۱۱۵۴
۷-۴-۹-۵- پاکسازی دوره‌ای زهکش‌ها ۱۱۵۴
۷-۴-۱۰- کنترل کیفی در حین نصب لوله‌های زهکش ۱۱۵۴
۷-۴-۱۰-۱- زمان مناسب نصب لوله‌های زهکش ۱۱۵۵
۷-۴-۱۰-۲- نصب در زیر سطح ایستابی ۱۱۵۵
فهرست منابع ۱۱۶۰

فصل هشتم: زهکشی کنترل شده ۱۱۶۳
۸-۱- ملاحظات طراحی زهکش کنترل شده ۱۱۶۷
۸-۲- جانمایی و ملاحظات تکنیکی زهکش کنترل شده ۱۱۶۹
۸-۳- عمق زهکش ۱۱۷۲
۸-۴- استفاده مجدد از آب زهکش ۱۱۷۲
۸-۵- کنترل مقدار تخلیه و مدیریت سطح ایستابی ۱۱۷۵
۸-۶- سازه‌های کنترل سطح ایستابی ۱۱۷۶
۸-۷- بهره‌برداری و نگهداری ۱۱۷۷
۸-۸- محاسبه فاصله زهکش‌ها در زهکشی کنترل شده ۱۱۷۸
فهرست منابع ۱۱۸۳

پیوست ۱: آزمایش‌های زهکشی ۱۱۸۵
۱- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۱۱۸۵
۱-۱- مقدمه ۱۱۸۵
۱-۲- روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۱۱۸۷
۱-۲-۱- روش‌های همبستگی ۱۱۹۰
۱-۲-۲- روش‌های آزمایشگاهی تعیین هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۱۱۹۰
۱-۲-۲-۱- روش بار ثابت ۱۱۹۱
۱-۲-۲-۲- بار افتان ۱۱۹۲
۱-۲-۳- روش‌های صحرایی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۱۱۹۷
۱-۲-۳-۱- روش استوانه مضاعف ۱۱۹۷
۱-۲-۳-۲- روش چاهک معکوس (پورشه یا کسلر) ۱۲۰۱
۱-۲-۳-۳- روش چاهک معکوس اصلاح شده (روش پورشه) ۱۲۰۶

۱-۲-۳-۴- روش نفوذسنج گلف ۱۲۱۲
۱-۲-۳-۴-۱- لوله تخلیه ۱۲۱۳
۱-۲-۳-۴-۲- روش انجام آزمایش ۱۲۱۷
۱-۲-۳-۴-۳- تعیین فاکتور شکل (C) و α^* ۱۲۲۱
۱-۲-۳-۴-۴- محاسبه دبی ۱۲۲۲
۱-۲-۳-۴-۵- محاسبه سایر پارامترها ۱۲۲۲
۱-۲-۳-۵- روش چاهک (*Augerhole*) ۱۲۲۷
۱-۲-۳-۵-۱- تئوری روش چاهک ۱۲۲۹
۱-۲-۳-۵-۱- تئوری حرکت آب در چاهک ۱۲۳۵
۱-۲-۳-۶- روش پیزومتر ۱۲۴۲
۱-۲-۳-۶-۱- محاسبه هدایت هیدرولیکی در سفره تحت فشار به روش پیزومتر ۱۲۵۰
۱-۲-۳-۶-۲- محدودیت‌های روش پیزومتر ۱۲۵۰
۱-۲-۳-۷- روش نفوذسنج تک حلقه برای وقتی که روی سطح خاک آب وجود دارد ۱۲۵۴
۱-۲-۴- روش‌های اندازه‌گیری بزرگ مقیاس هدایت هیدرولیکی ۱۲۶۰
۱-۲-۴-۱- روش پمپاژ ۱۲۶۰
۱-۲-۴-۲- روش زهکش‌های موازی ۱۲۶۰
۱-۲-۴-۳- روش آزمایش حفره ۱۲۶۴
۲- اندازه‌گیری تخلخل قابل زهکشی (μ) ۱۲۶۶
۳- تعیین پوشش مناسب گراولی در اطراف لوله‌های زهکش ۱۲۶۶
فهرست منابع ۱۲۷۱

پیوست ۲: فاصله زهکش‌ها در خاک‌های لایه‌بندی شده ۱۲۷۳
فهرست منابع ۱۲۹۴

فصل پنجم

طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در حالت ماندگار و مواد زهکشی

۵-۱- ملاحظات هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی

سیستم‌های زهکشی زیرزمینی برای کنترل سطح ایستابی در پایین‌تر از محل ریشه گیاهان استفاده می‌شوند. در مناطق تحت آبیاری، سطح ایستابی به دلیل پایین بودن راندمان کاربرد روشهای متداول آبیاری (روش‌های آبیاری سطحی مانند روش غرقابی) و همچنین به دلیل نشت آب از شبکه کانال‌های آبیاری (به ویژه کانال‌های بدون پوشش)، صعود می‌کند. سطح ایستابی در مناطق مسطح و کم ارتفاع، به وسیله آبیاری و یا در اراضی دیم به دلیل نفوذ آب باران و رواناب از اراضی مرتفع مجاور صعود می‌کند. کنترل و یا نزول سطح ایستابی به وسیله یک شبکه زهکشی سطحی، معمولاً به دلیل فواصل کم زهکش‌ها و عمق نسبتاً زیاد آنها مناسب نیست چون مقدار قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی به دلیل احداث زهکشهای سطحی با شیب جانبی پایدار به هدر می‌روند و این زهکشها باید به موقع و مرتب نگهداری گردند تا کارایی لازم را داشته باشند. اگر چه زهکشهای سطحی برای تخلیه آب اضافی سطحی ناشی از باران و رواناب ضروری هستند ولی این زهکشها برای کنترل سطح ایستابی کافی نمی‌باشند. زهکش زیرزمینی، آب ثقلی را در نیمرخ خاک به صورت مداوم، تا زمانی‌که سطح ایستابی نزدیک به محل نصب زهکش برسد، تخلیه می‌کند. بنابراین عمق نصب زهکش زیرزمینی بر اساس در نظر گرفتن عمق ناحیه ریشه و مقدار صعود مویینگی در خاک مشخص می‌شود. در مناطقی که آبیاری سطحی انجام می‌شود، هدف زهکشی زیر زمینی، اطمینان یافتن از این موضوع است که صعود موقت آب (به دلیل کاربرد بیش از حد آب آبیاری) به نحوی کنترل شود که عمق سطح ایستابی تا قبل از آبیاری بعدی به پایین‌تر از عمق مورد نظر برسد.

معمولاً در اراضی تحت آبیاری به تدریج سطح ایستابی صعود کرده و پس از چند سال آبیاری، اراضی ماندابی می‌گردد. این مشکل در بسیاری از زمینهای آبیاری شده در مناطق مختلف دنیا مشاهده شده است. مدیریت علمی آب آبیاری از شروع آبیاری همراه با زهکشی سطحی مناسب، ممکن است صعود سطح ایستابی را به تاخیر اندازد، اما نمی‌تواند به طور کامل مانع صعود سطح ایستابی شود.

در اغلب موارد در اراضی وسیع دارای مشکل زهکشی، ترکیبی از زهکشی سطحی و زیرزمینی وجود دارد. یکی از اهداف مهم زهکشی زیرزمینی، مخصوصاً در اراضی تحت آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک، آبشویی اراضی و خروج نمکهای محلول از منطقه ریشه گیاهان می‌باشد. در بعضی مناطق، زمین‌های کم ارتفاعی که حالت ماندابی دارند، برای کشت برنج ترجیح داده می‌شوند و در نتیجه کنترل سطح ایستابی در این اراضی مهم نیست. البته اگر این اراضی شور شوند، زهکشی زیرزمینی، نه تنها برای کنترل سطح ایستابی بلکه برای کنترل شوری نیز حائز اهمیت می‌باشد. زمینهای کشاورزی که شور هستند و در نتیجه برای رشد گیاه و تولید محصول، چندان مناسب نیستند، می‌توانند به وسیله شستشوی نمک به خارج از منطقه ریشه از طریق یک سیستم زهکشی زیرزمینی، احیاء شوند. در طول ماههای خشک سال که هیچ بارندگی وجود ندارد، نمک ممکن است به علت صعود مویینگی بالا بیاید. این مشکل می‌تواند توسط استفاده از آب با کیفیت مناسب (برای آبیاری در طول فصلی که بارندگی وجود ندارد) کنترل شود. بارندگی در فصل بارش باعث حرکت نمکهای حل شده در آب به سمت پایین شده و به وسیله زهکشی زیرزمینی از اراضی خارج می‌شود. بنابراین زهکشی زیرزمینی تضمین می‌کند که شور شدن مجدد منطقه ریشه گیاه، رخ ندهد. عملکرد یک سیستم زهکشی زیرزمینی، در درجه اول به انتقال بدون مانع آب از نیمرخ خاک به سمت زهکش، بستگی دارد. خواص خاک مانند نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی اشباع و تخلخل قابل زهکشی، نقش قابل توجهی در حصول اطمینان از موفقیت احتمالی زهکشی زیرزمینی دارند. این خواص خاک، به نوبه خود، وابسته به خواص ماتریکس خاک مانند بافت خاک، ساختمان خاک و جرم مخصوص ظاهری هستند. در خاکی که نفوذپذیری آن در سطح نسبت به قسمتهای زیرین بیشتر است، آب باران و یا آبیاری، به درون خاک نفوذ می‌کند ولی انتقال این آب نفوذ یافته به اعماق پایین به خوبی صورت نمی‌گیرد. انتقال مؤثر و منظم آب در خاک به وسیله زهکشی زیرزمینی به عمق نصب و فاصله مناسب زهکشها بستگی دارد. جریان آب زیرسطحی چندین بار آهسته‌تر از جریان آب در روی سطح زمین

می‌باشد. اگر خاک دارای بافت سنگین بوده و یا متراکم شده و جرم مخصوص ظاهری آن زیاد باشد، حرکت آب در نیمرخ خاک باز هم آهسته‌تر خواهد شد. اگر حرکت آب در زیر خاک الگوی جریان طبیعی را دنبال نکند، نیمرخ خاک به مدت طولانی ماندابی خواهد شد و در نتیجه رشد گیاه دچار اختلال می‌شود. وظیفه زهکشی زیرزمینی، خروج سریع‌تر آب اضافی خاک همراه با نمک (در خاک‌های شور) می‌باشد. اگر گرادیان هیدرولیکی (که باعث جریان آب در خاک می‌شود) ناکافی باشد، حتی در خاک‌های درشت (بافت سبک) ممکن است جریان آب کند و آهسته باشد. این وضعیت معمولاً زمانی رخ می‌دهد که عمق سطح ایستابی کم باشد. در این حالت نیز، زهکشی زیرزمینی به سهولت حرکت آب در منطقه ریشه گیاهان کمک شایانی می‌کند و جریان آب حائل شده به وسیله زهکش به سرعت به سمت خروجی حرکت می‌کند.

۵-۲- ملاحظات اصلی طراحی: حالت ماندگار و غیرماندگار

معمولاً در زهکشی سطحی، پس از تخمین ضریب زهکشی، فرض یکنواخت و ماندگار بودن جریان، پایه و اساس طراحی هیدرولیکی کانالهای زهکشی می‌باشد. البته در زهکشی زیرزمینی، دو نوع طراحی متمایز و مجزا برای حالت ماندگار و غیرماندگار وجود دارد. فرمول طراحی در حالت ماندگار بر اساس این فرض است که حرکت آب در داخل خاک به سمت زهکشها ثابت و ماندگار است و مقدار آب تخلیه شده معادل مقدار تغذیه ناشی از آب باران و یا آبیاری می‌باشد. بار هیدرولیکی نیز که باعث جریان آب می‌شود، ثابت است. در حالت غیر ماندگار و یا وضعیت صعود و نزول سطح ایستابی، هر دوی این پارامترها با گذشت زمان تغییر می‌کنند. روش تخمین ضریب زهکشی، برای شرایط ماندگار و غیرماندگار متفاوت است. در زهکشی سطحی، ضریب زهکشی، نرخ (سرعت) خروج آب اضافی است. در زهکشی زیرزمینی، همین مفهوم برای طراحی در حالت ماندگار به کار می‌رود ولی در حالت غیر ماندگار، مفهوم ضریب زهکشی متفاوت بوده و نرخ خروج آب اضافی نیست، بلکه نرخ نزول سطح ایستابی است. این درست است که نرخ کاهش سطح ایستابی به نرخ آب ثقلی که به وسیله زهکش از نیمرخ خاک خارج می‌شود بستگی دارد ولی نرخ خروج آب اضافی از نیمرخ خاک مستقیماً در روش طراحی سیستم زهکشی در حالت غیر ماندگار استفاده نمی‌شود. بنابراین برای حالت ماندگار، ضریب زهکشی در زهکشی سطحی و زیرزمینی به صورت عمق آب در واحد زمان بیان می‌شود (مثلاً میلی‌متر در روز)، ولی در حالت غیر ماندگار ضریب

زهکشی برای زهکشی زیرزمینی به صورت کاهش عمق سطح ایستابی در واحد زمان بیان می‌شود (مثلاً متر در روز). واحدهای عمق (میلی‌متر و متر) در حالت ماندگار و غیر ماندگار دارای مفهومی کاملاً مجزا و متمایز می‌باشند. در حالت ماندگار مفهوم میلی‌متر بیانگر عمق آب و در حالت غیر ماندگار مفهوم متر بیانگر عمق سطح ایستابی است. به عنوان مقایسه بین ضریب زهکشی سطحی و زیرزمینی، مقدار عددی ضریب زهکشی برای زهکشی زیرزمینی ممکن است به ۵۰ میلی متر در روز یا حتی بالاتر برسد ولی برای زهکشی سطحی به ندرت از ۵ میلی‌متر در روز تجاوز می‌کند. روش طراحی برای زهکشی در حالت ماندگار در کشورهای اروپایی که توزیع بارندگی یکنواخت و شدت بارش کم باشد ایجاد و توسعه یافته است. در این شرایط، اگر یک سیستم زهکشی وجود داشته باشد که آب اضافی از نیمرخ خاک را به همان میزان تغذیه صورت گرفته خارج کند، یک تعادل بین تغذیه ناشی از باران و سطح ایستابی برقرار خواهد شد. در شرایط آبیاری غرقابی که مقدار زیادی آب، روی سطح زمین در مدت زمانی کوتاه وجود دارد و یا زمانی که توزیع آب باران نسبت به زمان متغیر است (باران شدید در مدتی کوتاه)، سطح ایستابی نمی‌تواند در شرایط تعادل باقی بماند.

جریان زیرسطحی آب در خاک در مقایسه با مقدار آب آبیاری و یا بارندگی که در زمانی مشخص به سطح خاک می‌رسد، بسیار کندتر می‌باشد. این مقدار آب، چندین بار بیشتر از آبی است که یک سیستم زهکشی زیرزمینی می‌تواند در طول مدت آبیاری و یا بارندگی دریافت و منتقل کند. بنابراین، افزایشی اجتناب‌ناپذیر در سطح ایستابی پس از آبیاری و یا بارندگی به مقدار زیاد وجود دارد. در چنین مواردی، اغلب آب نفوذ یافته به داخل خاک در یک مدت زمان طولانی‌تری توزیع می‌شود و نرخ خروج آب که در طراحی لحاظ می‌شود مشابه حالت ماندگار می‌شود. اگر چه این یک روش ساده بوده و درک و فهم آن آسان می‌باشد ولی کاربرد روش طراحی برای حالت ماندگار بازده قابل قبولی را برای شرایط فوق ارائه می‌دهد. این رویکرد بسیار آسانتر از روش طراحی حالت غیر ماندگار می‌باشد. البته هر دو حالت روشهای طراحی، بر اساس فرضیات متعددی در مورد رفتار جریان زیرسطحی آب استوار است که توجیه برخی از آنها، دشوار است. برخی از فرضیات عمده در بخش طراحی هیدرولیکی سیستم زهکشی زیرزمینی مورد بحث قرار خواهد گرفت. در بخش طراحی هیدرولیکی، ترکیب مناسبی از فاصله و عمق نصب زهکش در شبکه زهکشی زیرزمینی تعیین می‌شود. سپس قطر زهکش‌ها محاسبه می‌گردد و این کار می‌تواند به وسیله استفاده از فرمول مانینگ و بر اساس تخمین دبی خروجی از زهکش (که تابع طول زهکش‌ها و فاصله

آنها از یکدیگر است) انجام شود. طول خطوط زهکشی بیشتر تابع شکل هندسی مزرعه است و یک فاکتور در فرایند طراحی نیست.

۵-۲-۱- ملاحظات هیدرولوژیکی برای طرح زهکشی زیرزمینی در حالت ماندگار

ملاحظات هیدرولوژیکی منجر به یک مقدار مناسب از ضریب زهکشی می‌شود که به عنوان یک ورودی در طراحی هیدرولیکی سیستم زهکشی به کار می‌رود. یک موضوع مهم در این مورد، موقعیت تعادلی مطلوب (حالت ماندگار) سطح ایستابی در زیر سطح خاک می‌باشد. در زهکشی زیرزمینی، سطح ایستابی افقی نیست. در محل زهکش‌ها، عمق سطح ایستابی از سطح خاک حداکثر و در بین دو زهکش موازی، حداقل می‌باشد. در طراحی، عمق سطح ایستابی در بین دو زهکش باید زیر منطقه فعال ریشه گیاه باشد چون در اینصورت در هر جای دیگر، سطح ایستابی عمیق‌تر بوده و بنابراین برای گیاه مناسب‌تر می‌باشد. از آنجایی که در زهکشی در حالت ماندگار، مقدار جریان ورودی و خروجی آب برای یک سطح ایستابی مشخص، برابر می‌باشد، بنابراین معمولاً در طراحی از میزان جریان ورودی آب، استفاده می‌شود. میزان جریان ورودی آب به خاک به وسیله خاک و ویژگی‌های بارندگی مشخص می‌شود. اگر شدت باران کمتر از سرعت نفوذ آب به درون خاک باشد، آب با همان سرعتی که باران می‌بارد وارد نیمرخ خاک می‌شود و این همان ضریب زهکشی می‌باشد. اگر سرعت نفوذ کمتر از شدت باران باشد، سرعت نفوذ میزان ورود آب به خاک را کنترل کرده و سرعت نفوذ آب در خاک ضریب زهکشی می‌باشد. برای باران‌های کوتاه مدت، چون مدت ریزش باران کم است، سرعت نفوذ به سرعت نفوذ پایه نمی‌رسد و در نتیجه میانگین سرعت نفوذ برای مقایسه با میانگین مدت بارش استفاده می‌گردد. اگر مشخصه انتقال آب (هدایت هیدرولیکی اشباع خاک)، یک عامل محدودکننده باشد، این پارامتر به عنوان ضریب زهکشی لحاظ می‌گردد چون نمی‌تواند آب را سریع‌تر از این مقدار به سوی زهکش‌ها منتقل کند. هدایت هیدرولیکی معمولاً برای خاک اطراف محل نصب زهکش مشخص می‌شود.

به دلایل علمی، محدوده احتمالی عمق نصب زهکش کم بوده و در عمق یک تا دو متر از سطح خاک قرار دارد. عمق نصب کمتر از یک متر برای کنترل سطح ایستابی و یا آبشویی مناسب نیستند و از سوی دیگر عمق نصب بیشتر از ۲ متر، مشکل خروجی[1] ثقلی و افزایش هزینه خاک‌برداری را دارد. از طرف دیگر اگر عمق نصب زهکش زیاد باشد، ممکن است مقدار

1. Outlet