

بسم الله الرحمن الرحيم

موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
نشریه فنی

توصیه‌هایی بر بهینه‌سازی طراحی شبکه زهکش‌های زیرزمینی

نگارش:

سید ابوالقاسم حقایقی مقدم

سال انتشار:

۱۳۸۷



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان ترویج، آموزش و تحقیقات کشاورزی
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

عنوان نشریه:	توصیه‌هایی بر بهینه‌سازی طراحی شبکه زهکش‌های زیرزمینی
نگارش:	سید ابوالقاسم حقایقی مقدم
ناشر:	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
سال انتشار:	۱۳۸۷
شمارگان:	۵۰۰ جلد
ویراستار:	فرحناز سهراب
صفحه‌آرایی:	بنفشه فرزانه
لیتوگرافی، چاپ و صحافی:	دفتر خدمات تکنولوژی آموزشی - نشر آموزش

آدرس: کرج، بلوار شهید فهمیده، صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۸۴۵
موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
تلفن: ۰۲۷۰۵۳۲۰، ۰۲۷۰۵۳۴۲ و ۰۲۷۰۸۳۵۹ (۰۲۶۱)، دورنگار: ۰۲۷۰۶۲۷۷ (۰۲۶۱)

پایگاه اطلاعاتی موسسه: www.aeri.ir

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	مقدمه
۵	هدایت هیدرولیکی خاک (K)
۱۰	ضریب زهکشی اراضی
۱۵	فاصله زهکش‌های زیرزمینی
۲۴	نتیجه‌گیری
۲۵	منابع مورد استفاده
۲۷	پیوست نشریه - فرمول‌های زهکشی



مقدمه

بخش وسیعی از برنامه توسعه کشور به استفاده بهینه از منابع آب و خاک و جلوگیری از تخریب آنها مربوط است. با توجه به بارندگی ناچیز و تبخیر زیاد، اعمال آبیاری با مدیریت نامناسب باعث شوری و ماندابی شدن قسمت وسیعی از اراضی کشور شده است. در ۵۰ سال گذشته (۱۳۳۵ تا ۱۳۸۵) حدود ۲۰۵ هزار هکتار از اراضی کشور به زهکش‌های زیرزمینی مجهز شده است که از این مقدار، حدود ۱۸۵ هزار هکتار در حال حاضر مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در برنامه چهارم توسعه کشور مقرر است سالیانه ۱۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی به زهکش‌های زیرزمینی مجهز شوند. هم‌زمان با اجرای برنامه‌های توسعه‌ای در چند دهه گذشته، به موضوع تأمین آب توجه خاصی شده است، به‌طوری‌که در پروژه‌های بزرگ، هزینه‌های زیادی برای احداث سدها و شبکه‌های آبیاری صرف شده است. بنابراین، آن‌چنان‌که به مسائل آبیاری و آبرسانی توجه شده، به موضوع زهکشی و مسائل و مشکلات آن پرداخته نشده است. به عنوان مثال در شبکه *آبیاری مغان* پس از احداث شبکه‌های آبیاری و در نتیجه آبیاری‌های متعددی که صورت گرفت، سطح آب زیرزمینی به‌سرعت در نواحی خروجی دشت بالا آمد و حدود ۲۰ هزار هکتار از اراضی دشت در معرض خطر نابودی قرار گرفت. در سال‌های اخیر شبکه‌ای از



زهکش‌های زیرزمینی در مناطق زهدار دشت مغان احداث و با بهبود نسبی وضعیت، اراضی مذکور زیرکشت محصولات زراعی قرار گرفته‌اند. در استان خوزستان وضعیت اقلیمی، گرما، جنس خاک و آب فراوان بهترین شرایط مطلوب را برای ایجاد و توسعه کشت نیشکر فراهم کرده است. به‌علت شوری خاک و کم بودن پتانسیل زهکشی طبیعی اراضی، در تمامی واحدهای توسعه نیشکر احداث زهکش‌های زیرزمینی از ضرورت‌های بهره‌برداری پایدار اراضی می‌باشد. دشت‌های استان فارس از گذشته درخشانی در کشاورزی و دامپروری برخوردار بوده‌اند، اما بافت سنگین خاک، و وجود لایه‌های غیرقابل نفوذ و یا با نفوذپذیری کم در قسمت‌هایی از اعماق مختلف خاک و احداث سد درودزن و شبکه‌های آن باعث زهدار شدن برخی از اراضی این استان شده است.

مساله مهم در امر زهکشی این است که در بسیاری از مواقع تنها توجه به مسائل نظری نمی‌تواند پاسخگوی نیازها و رفع مشکلات باشد و انجام آزمایش در مزارع تحقیقاتی زهکشی قبل از احداث شبکه زهکشی ضرورت می‌یابد. علیرغم تمامی دقتی که در مباحث نظری در مرحله مطالعات اولیه طرح‌های زهکشی در سطح کشور معمول می‌شود، بنابراین در عمل و پس از احداث شبکه زهکشی، نتایج حاصل از عملکرد شبکه با برآوردهای اولیه در مرحله طراحی متفاوت و گاه نیز مغایر است. از این‌رو بهترین راه فائق آمدن به مشکلات یادشده، احداث مزارع آزمایشی زهکشی می‌باشد.



ضریب هدایت هیدرولیکی خاک یا ضریب آبگذری از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی است و روش‌های مختلف صحرایی و آزمایشگاهی برای برآورد آن وجود دارد. در بخش اول نشریه به بیان نتیجه تعدادی از پروژه‌های تحقیقاتی انجام شده در رابطه با مقایسه روش‌های مختلف تعیین ضریب آبگذری پرداخته شده و توصیه قابل استفاده از مجموع تحقیقات ارائه می‌شود.

از دیگر پارامترهای تأثیرگذار در تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی، **ضریب زهکشی** است. در بخش دوم نشریه، رویکردهای اخیر برای کاهش ضریب زهکشی در طراحی زهکش‌های زیرزمینی بیان شده و پاره‌ای از تجربیات مربوط به آن در داخل و خارج کشور ذکر شده است.

در بخش سوم نشریه، نتایج تحقیقات انجام گرفته در رابطه با مقایسه روابط و فرمول‌های مختلف تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی در داخل و خارج کشور آورده شده و توصیه‌های قابل کاربرد حاصل از پژوهش‌ها ذکر شده است.

مطالب این نشریه برای بهره‌برداری مهندسان و کارشناسان آبیاری و زهکشی، به‌ویژه افرادی که به‌طور تخصصی در رابطه با طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی فعالیت دارند مفید می‌باشد.



هدایت هیدرولیکی خاک (K)

هدایت هیدرولیکی یا ضریب آبگذری خاک، استعداد و توانایی انتقال آب در داخل خاک را نشان می‌دهد. در پروژه‌های زهکشی تعیین ضریب آبگذری خاک به‌ویژه در زیر سطح ایستابی از اهمیت زیادی برخوردار است. هدایت هیدرولیکی خاک به عوامل مختلفی از جمله بافت خاک، املاح و مواد آلی موجود در خاک، و کیفیت آب آبیاری بستگی دارد. در مطالعات زهکشی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک با روش‌های صحرایی انجام می‌شود. روش‌های صحرایی زیادی برای اندازه‌گیری k ارائه شده است که هر یک در شرایط ویژه خود قابل استفاده است. ضریب هدایت هیدرولیکی خاک در اغلب روابط و فرمول‌های حاکم بر طراحی زهکش‌های زیرزمینی دخالت داده شده و مقدار آن در تعیین فاصله زهکش‌ها نقش زیادی دارد. در ادامه نتایج تعدادی از تحقیقات انجام شده در خصوص مقایسه روش‌های مختلف برآورد ضریب آبگذری خاک در شرایط ایران برای دستیابی به مناسب‌ترین روش ذکر می‌شود:

براهیمی (۱۳۷۳)، در آزمایشی در منطقه ورامین به‌عنوان دشت معرف خاک‌های حوزه مرکزی ایران، چهار روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک را با هم مقایسه نمود. روش‌های مورد مقایسه عبارت از روش چاهک، چاهک معکوس، بارفتان و پرماترگلف بودند. آزمایش در دو محل با فاصله حدود ۱۰ کیلومتر از هم انجام شد. محل شماره ۱



اراضی زیردست روستای محمدآباد در جنوب شرقی قرچک و محل شماره ۲ در نزدیکی اراضی روستای چال‌طرخان در شرق پالایشگاه تهران انتخاب گردید. در هر محل در ۱۰ نقطه، آزمایش با چهار روش انجام پذیرفت و در هر نقطه نیز آزمایش با هر روش دارای سه تکرار بوده است. جدول شماره ۱ خلاصه نتایج آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱- مقادیر ضریب آبگذری خاک با روش‌های مختلف صحرائی در منطقه ورامین

محل ۱				ضریب آبگذری
بارافتان	چاهک معکوس	گلف	چاهک	
۰/۰۲	۶/۴۱	۰/۰۳	۱۰/۴۰	حداقل (متر در روز)
۰/۹۳	۲۲/۷۶	۰/۳۹	۴۶/۰۱	حداکثر (متر در روز)
۰/۹۱	۱۶/۳۵	۰/۳۵۴	۳۵/۶۱	دامنه تغییرات
۰/۲۱۸	۱۳/۲۷	۰/۱۶۸	۱۷/۴۸	میانگین (متر در روز)
محل ۲				ضریب آبگذری
بارافتان	چاهک معکوس	گلف	چاهک	
۰/۱۰	۷/۰۴	۰/۰۵	۳/۶۷	حداقل (متر در روز)
۰/۴	۴۴/۵	۱/۰۱	۲۲/۵۶	حداکثر (متر در روز)
۰/۳۹	۳۷/۴۶	۰/۹۵۸	۱۸/۸۹	دامنه تغییرات
۰/۱۱۸	۲۶/۱۳	۰/۳۷	۱۱/۶۹	میانگین (متر در روز)



مقایسه میانگین مشاهدات با روش‌های آماری نشان داد که بین روش چاهک (به عنوان شاهد) و سایر روش‌ها با احتمال ۹۹ درصد اختلاف‌ها معنی دار می باشد. در بین روش‌ها، روش چاهک معکوس (پورشه) بیشترین همبستگی را با روش چاهک دارد.

رحیمیان (۱۳۷۵)، در تحقیق حوالی روستای زمان آباد در ۳۰ کیلومتری جنوب مشهد سه روش چاهک، چاهک معکوس و گلف را برای اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاک با هم مقایسه نمود. در جدول ۲ پارامترهای آماری روش‌های آزمایشی در ۵ نقطه مشترک آورده شده است.

جدول ۲- برآورد مقدار ضریب آبگذری خاک با سه روش مختلف در حوالی مشهد

ضریب آبگذری	چاهک	گلف	چاهک معکوس
حداقل (متر در روز)	۲۸/۸	۳/۸	۷/۵۶
حداکثر (متر در روز)	۷۶/۴	۱۵/۷	۱۱/۹۴
دامنه تغییرات	۴۷/۶	۱۱/۹	۴/۳۸
میانگین (متر در روز)	۴۳/۳	۶/۹	۱۴/۵

نتایج جدول نشان می دهد روش چاهک بیشترین مقدار هدایت هیدرولیک خاک را دارد که میانگین این روش حدود ۶ برابر روش گلف و حدود ۳ برابر روش چاهک معکوس می باشد. ضریب همبستگی بین داده های روش چاهک و چاهک معکوس ۰/۹۵ و برای داده های روش



چاهک و گلف ۰/۷۲ می‌باشد. روابط حاصل از رگرسیون خطی بین داده‌ها به شرح زیر است:

$$y = ۲/۲۶ x_1 + ۱۳/۴۵ \quad (۱)$$

$$y = ۳/۲ x_2 + ۲۱/۹ \quad (۲)$$

که در آن،

y = روش چاهک؛ x_1 = روش چاهک معکوس (پورشه)؛ و x_2 = روش گلف است.

در آزمایش انجام شده توسط ترابی (۱۳۷۷)، پنج روش مختلف تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک شامل روش چاهک، استوانه‌های مضاعف، نفوذ سنج گلف و دو روش همبسته (Correlative Method) موسوم به مدل ساکستون و همکاران (Saxton et al) و مدل جابرو (Jabro) مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفتند. در روش‌های همبسته براساس پاره‌ای خصوصیات فیزیکی خاک از قبیل قطر ذرات خاک، وزن مخصوص ظاهری، تخلخل مؤثر و مقدار کربن موجود، ضریب هدایت هیدرولیک خاک برآورد می‌شود. آزمایش در یک خاک شور و نسبتاً سنگین واقع در اراضی ایستگاه تحقیقات کشاورزی رودشت اصفهان اجرا شد. آزمایش با هر روش در ۲۴ نقطه تصادفی



انجام گرفت. میانگین ضریب هدایت هیدرولیک اشباع خاک در روش‌های چاهک، استوانه‌های مضاعف، نفوذسنج گلف، مدل ساکستون و همکاران و مدل جابرو به ترتیب ۹۰۱، ۱۲۰، ۱۱۹، ۷/۳ و ۱/۴ سانتی‌متر در روز برآورد شد. نتایج آزمون آماری داده‌ها نشان داد که به‌جز روش‌های استوانه مضاعف و گلف، بین سایر روش‌ها اختلاف معنی‌دار وجود دارد.

جمع‌بندی (۱)

روش چاهک متداول‌ترین و قابل اعتمادترین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک در مناطقی است که در زمان مطالعه زهدار بوده و سطح ایستابی نزدیک به سطح خاک باشد. روش چاهک معکوس (روش پورشه) نیز متداول‌ترین شیوه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک در مناطقی است که تمام یا قسمتی از اراضی در زمان مطالعه مشکل زهکشی ندارد، اما انتظار می‌رود که در اثر انجام آبیاری یا آبشویی با مشکل زهداری مواجه شوند. بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده فوق‌الذکر و تحقیقات مشابه، اعداد حاصل از روش چاهک ۲ تا ۳ برابر مقادیر روش چاهک معکوس است. اهمیت در نظر گرفتن رابطه بین این دو روش، بدلیل تغییر شرایط از عدم زهداری در زمان مطالعات زهکشی (شرایط روش چاهک معکوس) به زهدار شدن در زمان بهره‌برداری از زهکش‌ها (شرایط روش چاهک) و تأثیرگذاری زیاد



ضریب هدایت هیدرولیکی خاک در تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی است.

در ایران کاربرد روش چاهک معکوس به دلیل پایین بودن سطح ایستابی در زمان مطالعات زهکشی، بیش از سایر روش‌ها متداول است. با توجه به تغییر شرایط در زمان بهره‌برداری و بالا آمدن سطح ایستابی بدلیل عملیات آبخویی و آبیاری اراضی، انتظار می‌رود مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی خاک با روش چاهک ۲ تا ۳ برابر مقادیر برآورد شده در زمان طراحی به دست آید. لذا توصیه می‌گردد در شرایط کشور ما حداقل ۲ برابر مقادیر برآورد شده برای k با روش چاهک معکوس، جهت استفاده در فرمول‌های زهکشی و تعیین فاصله زهکش‌ها در نظر گرفته شود.

ضریب زهکشی اراضی

ضریب زهکشی میزان آب اضافی است که در مدت زمان معین از ناحیه توسعه ریشه گیاه خارج شده و به سفره آب زیرزمینی می‌پیوندد. ضریب زهکشی با واحدهای متر در روز یا میلی‌متر در روز سنجیده می‌شود و مقدار آن تأثیر زیادی در محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی دارد. مهندسان طراح پرمصرف‌ترین گیاه در الگوی کشت را انتخاب و پس از محاسبه نیاز آبی و برآورد نظری عواملی چون نفوذ



عمقی، به محاسبه ضریب زهکشی منطقه می پردازند. از آنجا که در این محاسبات نقش زهکشی طبیعی و تخلیه زه آب توسط جمع کننده ها در نظر گرفته نمی شود، مقدار ضریب زهکشی برآورد شده برای اراضی ممکن است تا چندین برابر افزایش یابد. رویکردهای اخیر در طراحی زهکشی زیرزمینی، بهینه سازی ضریب زهکشی بر اساس آزمایش های مزرعه ای طرح های قبلی می باشد. نمونه هایی از این تجربیات در خارج و داخل کشور به شرح زیر است:

تجربه پاکستان

ضریب زهکشی در پروژه های جدید در پاکستان به طور قابل ملاحظه ای پایین تر از پروژه های قدیمی در نظر گرفته می شود. تمایل عمومی برای کاهش ضریب زهکشی پس از ارزیابی عملکرد پروژه های اجرا شده در پاکستان ایجاد گردید، به طوری که ضریب زهکشی از رقم $3/5$ میلی متر در روز در پروژه های به نام EKTDP (۱۹۷۶) تا $0/95$ میلی متر در روز در پروژه MTD۲ (۱۹۹۴) کاهش یافت (جعفری، ۱۳۷۴).

تجربه مصر

در مصر پروژه های جدید زهکشی در دلتای رود نیل با ضریب زهکشی معادل یک میلی متر در روز طراحی می شود. با این حال اگر



چه این مقدار برای کنترل سطح ایستابی در حد یک متر از سطح زمین کافی است، بنابراین بررسی‌های انجام یافته حکایت از این دارد که برای کنترل شوری و رطوبت خاک برای گیاهان مختلف در اراضی پست ناکافی است. اخیراً سازمان ملی پروژه‌های زهکشی مصر ضریب زهکشی را در نواحی شمال دلتای نیل به $1/25$ و در نواحی پست و کم ارتفاع به $1/5$ میلی‌متر در روز افزایش داده است. این تصمیم براساس نتایج آزمایش‌های مختلف در مزارع آزمایشی متعدد اتخاذ شده است (DRI, ۱۹۸۹).

تجربیات داخل کشور

طرح زهکشی دشت مغان ابتدا بر اساس برنامه آبیاری محصول یونجه با مصرف آب 18400 متر مکعب در سال با ضریب زهکشی $4/8$ میلی‌متر در روز طراحی شده بود. پس از اجرای بخش‌هایی از شبکه و مشاهده تخلیه کمتر از حد انتظار زهکش‌ها و عمق بیشتر از حد مورد نظر سطح ایستابی، گرایش به کاهش ضریب زهکشی قوت گرفت. در تجدید نظر اساسی طرح، محصول پنبه با سطح کشت بیشتر از یونجه و آب مصرفی 11200 متر مکعب در سال در نظر گرفته شد و با منظور کردن نفوذ عمقی کمتر، ضریب زهکشی تا $2/8$ میلی‌متر در روز کاهش داده شد (آذری و مصطفی‌زاده، ۱۳۸۰).



در طرح زهکشی بهبهان، ضریب زهکشی براساس نیاز آبی محصول یونجه و ذرت تحت شرایط ماندگار محاسبه شد. میانگین شدت تغذیه در دو ماه حداکثر مصرف برابر ۴ میلی‌متر در روز برآورد شد که پس از کسر پتانسیل زهکشی طبیعی به میزان ۱/۵ میلی‌متر در روز، ضریب زهکشی طرح معادل ۲/۵ میلی‌متر در روز مبنای محاسبات فاصله زهکش‌ها قرار گرفت (لطفی، ۱۳۷۸).

در طرح توسعه کشت و صنعت اکالیپتوس در استان خوزستان، با گرایش به سمت کاهش ضریب زهکشی و براساس برنامه آبیاری درختان اکالیپتوس، مقدار ضریب زهکشی برابر ۲/۱ میلی‌متر در روز منظور شده است (مهندسین مشاور یکم، ۱۳۷۵).

آذری و مصطفی‌زاده (۱۳۷۹)، در تحقیقی نشان دادند که زهکش‌های جمع‌کننده در شبکه‌های زهکشی می‌توانند ۲۵ تا ۳۰ درصد زه‌آب اراضی را تخلیه نمایند. جمع‌کننده‌ها در محل تحقیق (شبکه زهکشی مغان) قبل از احداث لترال‌ها ۰/۹۲ میلی‌متر در روز از زه‌آب اراضی را تخلیه می‌کردند. پس از احداث لترال‌ها، میزان تخلیه به ۲/۰۴ میلی‌متر در روز رسید. ضریب زهکشی الگوی کشت منطقه به هنگام طراحی ۲/۸ میلی‌متر در نظر گرفته شده بود. اختلاف ضریب زهکشی طراحی و اندازه‌گیری شده، ناشی از در نظر نگرفتن مقداری برای تخلیه جمع‌کننده‌ها و زهکشی طبیعی منطقه می‌باشد. این مقدار یعنی ۰/۷۶ میلی‌متر در روز معادل ۲۷ درصد ضریب زهکشی طراحی



است و انجام این تعدیل در ضریب زهکشی، فواصل لترال‌ها را ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش می‌دهد که موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های اجرایی خواهد بود.

حقایقی و اخوان (۱۳۸۴)، در یک طرح تحقیقاتی به ارزیابی روابط حاکم بر زهکش‌های زیرزمینی احداث شده در منطقه مغان بین کانال DC-۵ و زهکش DR-۵-۶ پرداختند. قطعه زمین انتخابی به کشت پنبه اختصاص یافته و در آن ۵ خط زهکش به طول ۲۹۰ متر و فاصله ۱۰۰ متر برای انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد در بیش از ۸۰ درصد موارد، ضریب زهکشی اندازه‌گیری شده کمتر از ۱ میلی‌متر در روز یعنی کمتر از ۵۰ درصد مقدار برآورد شده در زمان طراحی بوده است.



شکل ۱- خروجی زهکش‌های زیرزمینی در مناطق خوزستان و مغان

جمع بندی (۲)

بر اساس تجربیات جهانی و داخل کشور، به طور کلی نگرشی مبنی بر لزوم کاهش مقادیر ضریب زهکشی وجود دارد و خوشبختانه در پروژه های اخیر در دست طراحی و احداث کشور این نگرش مورد توجه قرار گرفته است. لذا بر اساس یافته های تحقیقاتی داخل و خارج کشور، مقدار ضریب زهکشی برای اغلب نواحی ایران ۲ میلی متر در روز و یا کمتر از آن قابل توصیه است. چنانچه در طرحی ضریب زهکشی بیش از ۲ میلی متر در روز در نظر گرفته شود، باید مبتنی بر اندازه گیری در مزارع زهکشی آزمایشی باشد.

فاصله زهکش های زیرزمینی

تاکنون تحقیقاتی چند در رابطه با نحوه عملکرد معادله ها و روابط زهکشی در حالت ماندگار و غیرماندگار در داخل و خارج کشور انجام شده است. این نوع پژوهش ها هزینه و زمان نسبتاً زیادی می طلبند. در ادامه به نتایج تعدادی از این تحقیقات اشاره می شود:

فرنچ و اکالاگان (۱۹۶۶)، ۶ معادله زهکشی شامل معادله های گلوور، دام، وان شلیفگارد، باور و وان شلیفگارد، حماد و لوتین را در اقلیم مرطوب کشور فرانسه به مساحت ۰/۵ هکتار مورد مقایسه قرار دادند. در این آزمایش فاصله زهکش ها ۱۲ متر، عمق لایه غیرقابل نفوذ ۴/۹ متر و عمق کارگذاری زهکش ها ۰/۹ متر بوده است. قطعه مورد



آزمایش ابتدا برای شش هفته تحت آبیاری مداوم قرار گرفت تا در این مدت سطح آب به اندازه کافی بالا بیاید. سپس آبیاری قطع شده و طی ۱۳ روز افت سطح ایستابی و میزان خروجی از زهکش‌ها مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که اگر حداکثر ۲۰ درصد انحراف از فاصله واقعی زهکش‌ها به عنوان محدوده قابل قبول انتخاب شود، معادله وان‌شیلفگارد با احتمال ۸۷ درصد (۸۷ مورد از ۱۰۰ مورد) مرتبه اول را به خود اختصاص می‌دهد. معادله‌های حماد با ۶۷ درصد، گلوور با ۵۳ درصد، بارو و وان‌شیلفگارد ($C = 1$) با ۴۷ درصد و دام با ۲۰ درصد در رده‌های بعدی جای می‌گیرند. معادله لوتین خارج از این دامنه قرار گرفت.

اسکگر و همکاران (۱۹۷۳)، چهار معادله زهکشی شامل معادله‌های گلوور (با در نظر گرفتن همگرایی خطوط جریان)، حماد، وان‌شیلفگارد و باور و وان‌شیلفگارد را در منطقه‌ای به مساحت ۴ هکتار واقع در ایالت کارولینای شمالی آمریکا مورد آزمایش و مقایسه قرار دادند. در این آزمایش فاصله زهکش‌ها ۷/۵، ۱۵ و ۳۰ متر، عمق لایه غیر قابل نفوذ ۱/۲۵ متر و عمق کارگذاری زهکش‌ها در ۱ متر بوده است. آنها معادله‌های مذکور را برای دو حالت به کار بردند. در حالت نخست، ضریب آبگذری به دست آمده از طریق نمونه‌های دست نخورده و روش آزمایشگاهی را در معادله‌های زهکشی قرار داده و فاصله زهکش‌ها را



تخمین زدند. در حالت دوم ابتدا اطلاعات به دست آمده از اندازه گیری های صحرائی را در هر یک از معادله ها قرار داده و به ازای فاصله ۱۵ متر، ضریب آبگذری موثر را برای هر معادله محاسبه کردند. آنگاه از این ضریب آبگذری مجدداً در معادله ها استفاده کرده و فاصله زهکش ها را به این طریق تخمین زدند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که در حالت نخست، معادله حماد ضعیف ترین عملکرد را نشان داد. حال آنکه تفاوت اندکی بین سه معادله دیگر دیده شد. در حالت دوم که از ضریب آبگذری مؤثر در معادله های زهکشی استفاده شد، معادله های حماد، وان شیلفگارد، باور و وان شیلفگارد و گلوور به ترتیب دقت عملکرد بهتری داشتند.

نوا و توکاک (۱۹۶۷)، هفت معادله زهکشی شامل معادله های باور و وان شیلفگارد، گلوور، حماد، لوتین، وان شیلفگارد، گلوور اصلاح شده توسط وان شیلفگارد و معادله هوخهات را در کشور انگلیس مورد مطالعه قرار دادند. نتیجه این تحقیق دقت عملکرد معادله های مذکور را به شرح زیر مشخص نمود:

- ۱- باور و وان شیلفگارد ($C=1$)، ۲- گلوور اصلاح شده توسط وان شیلفگارد، ۳- باور و وان شیلفگارد ($C=0.8$)، ۴- گلوور بدون در نظر گرفتن همگرایی خطوط جریان، ۵- وان شیلفگارد، ۶- هوخهات، ۷- حماد، و ۸- معادله های لوتین (برای سطح ایستابی مسطح و بیضوی).



برومندنسب (۱۳۶۷)، برای مقایسه فاصله نظری محاسبه شده زهکش‌ها با فاصله واقعی در شرایط غیرماندگار، آزمایشی در قطعه زمینی به مساحت ۱۲ هکتار از اراضی نظامیه اهواز انجام داد. در این آزمایش فاصله زهکش‌ها ۲۵، ۵۰ و ۷۵ متر، عمق لایه نفوذناپذیر ۲/۵ متر و عمق کارگذاری زهکش‌ها ۱/۸ متر بود. محاسبه فاصله نظری و مقایسه با مقادیر واقعی در دو حالت انجام شده است:

- اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیکی به روش ارنست و تخلخل مؤثر از جذر ضریب آبگذری خاک.
- اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیکی و تخلخل مؤثر از روش افت سطح ایستابی.

در هر دو حالت به ترتیب معادله‌های دام، گلوور، باور و وان‌شیلفگارد ($C=1$)، وان‌شیلفگارد و مک‌ورتر جواب‌های بهتری نشان دادند، ضمن اینکه جواب‌های معادله حماد انحراف زیادی با فاصله واقعی لوله‌های زهکشی داشت.

ترابی (۱۳۷۸)، به‌منظور ارزیابی عملکرد معادله‌های زهکشی جریان غیرماندگار چند آزمایش صحرائی روی یک شبکه زهکشی به وسعت یک هکتار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی رودشت اصفهان انجام داد. در این آزمایش فاصله زهکش‌ها ۳۱ متر، عمق لایه نفوذناپذیر ۳/۴ متر و عمق کارگذاری زهکش‌ها ۱/۴ متر بود. برای تعیین ضریب آبگذری



مؤثر و درجه غیرهم‌روندی خاک از روش تخلیه آب از گودال استفاده شد. تخلخل قابل زهکشی به عنوان یک مقدار متغیر و به صورت تابعی از سطح ایستابی با استفاده از مفهوم متوسط افت سطح ایستابی محاسبه شد. بر اساس دقت نتایج، معادله‌ها به چهار گروه تقسیم شدند. این گروه‌ها به ترتیب اولویت عبارتند از:

۱- معادله یانگز، لوتین (برای سطح ایستابی مسطح) و باور و وان شیلفگارد ($C = 2$)؛

۲- معادله دام؛

۳- معادله گلوور اصلاح شده توسط وان شیلفگارد، معادله وان شیلفگارد و معادله گلوور (بدون در نظر گرفتن همگرایی خطوط جریان)؛

۴- معادله‌های هوخهات، گلوور (با در نظر گرفتن همگرایی خطوط جریان) و معادله حماد.

حقایقی و/خوان (۱۳۸۶)، در یک مزرعه آزمایشی زهکشی به وسعت ۱۸ هکتار از اراضی بخش ۳ کشت و صنعت مغان به مقایسه معادله‌های مختلف در شرایط غیرماندگار پرداختند. فواصل زهکش‌ها ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر، طول لترال‌ها ۲۰۰ متر و عمق کارگذاری ۱/۸۵ متر بود. محاسبه فاصله نظری و مقایسه با مقادیر واقعی در دو حالت انجام شد:

الف- اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیکی (k) با روش چاهک و تخلخل مؤثر از رابطه جذر مقدار k ؛



ب- محاسبه ضریب k و تخلخل مؤثر با استفاده از داده‌های صحرایی سطح ایستابی و خروجی زهکش‌ها.

نتایج نشان داد در حالت اول به‌ترتیب استفاده از روش‌های باور و وان‌شیلفگارد، دام، گلوور و وان‌شیلفگارد مناسب هستند. در حالت دوم به‌ترتیب فرمول‌های حماد با ۳ درصد، باور و وان‌شیلفگارد با ۶ درصد و وان‌شیلفگارد با ۷ درصد متوسط انحراف از فاصله واقعی زهکش‌های زیرزمینی بهترین کارایی را نشان دادند. بیشترین انحراف از فاصله واقعی زهکش‌ها مربوط به فرمول دام با ۱۸/۵ درصد بود.



شکل ۲- عملیات لوله‌گذاری در مزرعه آزمایشی
کشت و صنعت مغان

حقایقی و دهقانیان (۱۳۸۶)، در آزمایشی در منطقه آونجان رامجرد از توابع شهرستان مرودشت استان فارس در زمینی به وسعت حدود ۴۰



هکتار به مقایسه فرمول‌های مختلف زهکشی پرداختند. در این تحقیق فواصل زهکش‌ها ۲۵، ۵۰ و ۷۵ متر، طول لترال‌ها ۱۵۰ متر و عمق کارگذاری ۱/۹ متر بود. برای اندازه‌گیری داده‌های سطح ایستابی و خروجی زهکش‌ها از بارش‌های زمستانه منطقه در دو نوبت استفاده به عمل آمد. محاسبات در دو حالت مشابه بند ۵-۶ انجام شد. نتایج نشان داد که در حالت اول به ترتیب استفاده از روش‌های گلوور، دام، وان شلیفگارد و باور و وان شلیفگارد قابل توصیه هستند. در حالت دوم به ترتیب فرمول‌های دام با ۱۱/۲۵ درصد و گلوور با ۱۳/۸ درصد متوسط انحراف از فاصله واقعی زهکش‌های زیرزمینی بهترین کارایی را دارا بودند. در جدول ۳ نتایج هفت تحقیق ذکر شده فوق، خلاصه و جمع‌بندی شده است.



شکل ۳- حفر ترانشه زهکش زیرزمینی
در مزرعه آزمایشی آونجان فارس

جمع‌بندی (۳)

در کشور ما مهندسان طراح بیشتر از رابطه دام - گلوور برای محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی در حالت غیرماندگار استفاده می‌کنند، حال آنکه بر اساس نتایج تحقیقات ذکر شده در داخل و خارج کشور، روابطی مانند باور و وان‌شیلفگارد و وان‌شیلفگارد عملکرد خوب و در برخی موارد بهتر از روابط دام و گلوور نشان داده‌اند. از آنجا که پارامترهای موردنیاز برای محاسبه فاصله زهکش‌ها در فرمول‌های مختلف شرایط غیرماندگار تفاوت چندانی با هم ندارند، استفاده از روابطی چون باور و وان‌شیلفگارد و وان‌شیلفگارد حداقل در حد مقایسه با رابطه دام - گلوور توصیه می‌شود.



جدول ۳- مقایسه عملکرد معادله‌های زهکشی در شرایط غیرماندگار حاصل از پنج تحقیق

انجام شده

محقق	اقلیم منطقه	فاصله زهکش‌ها (متر)	عمق کارگذاری (متر)	عمق لایه نفوذناپذیر (متر)	تو تیب برتری معادله‌های زهکشی			
					۱	۲	۳	۴
فرنج و اکالاکان	مرطوب	۱۲	۰/۹	۴/۹	وان شیفگارد	حماد	گلوور	باور و وان شیفگارد
اسکگر و همکاران	نیمه مرطوب	۷/۵ ۱۵ ۳۰	۱/۰	۱/۲۵	حماد	وان شیفگارد	باور و وان شیفگارد	گلوور
نوا و توکاک	مرطوب	-	-	-	باور و وان شیفگارد (c=۱)	گلوور اصلاح شده توسط وان شیفگارد (c=۰.۸)	باور و وان شیفگارد	گلوور
برومند نسب	خشک	۲۵ ۵۰ ۷۵	۱/۸	۲/۵	دام	گلوور	باور و وان شیفگارد (c=۱)	وان شیفگارد
ترابی	خشک	۳۱	۱/۴	۳/۴	لوتین (برای سطح ایستایی سطح)	باور و وان شیفگارد (c=۲)	دام	گلوور اصلاح شده توسط وان شیفگارد
حقایقی و اخوان	نیمه خشک	۵۰ ۱۰۰ ۱۵۰	۱/۸۵	۳/۸	حماد	باور و وان شیفگارد	وان شیفگارد	گلوور
حقایقی و دهقانیان	خشک	۲۵ ۵۰ ۷۵	۱/۹	۴/۴	دام	گلوور	باور و وان شیفگارد	وان شیفگارد



نتیجه‌گیری

در ایران کاربرد روش چاهک معکوس بیش از سایر روش‌ها برای تعیین ضریب هدایت هیدرولیک خاک متداول است. بر اساس نتایج تحقیقات، برآوردهای حاصل از روش چاهک حدود ۲ تا ۳ برابر نتایج به‌دست آمده از روش چاهک معکوس است. با توجه به تغییر شرایط از عدم زه‌داری در زمان مطالعات زهکشی به زه‌داری در زمان بهره‌برداری از زهکش‌ها، توصیه می‌گردد در شرایط کشور ما حداقل ۲ برابر مقادیر برآورد شده برای k با روش چاهک معکوس، جهت استفاده در فرمول‌های زهکشی و تعیین فاصله زهکش‌ها در نظر گرفته شود.

بر اساس تجربیات جهانی و داخل کشور، مقدار ضریب زهکشی برای اغلب پروژه‌های زهکشی در نواحی مختلف کشور بیشتر از ۲ میلیمتر در روز قابل توصیه نیست. چنانچه در طرحی ضریب زهکشی بیش از ۲ میلی‌متر در روز در نظر گرفته شود، باید مبتنی بر اندازه‌گیری در مزارع زهکشی آزمایشی باشد.

در کشور ما بیشتر از رابطه دام - گلوور برای محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی استفاده می‌شود. بر اساس نتایج تحقیقات، روابطی مانند باور و وان‌شیلفگارد و وان‌شیلفگارد عملکرد خوب و در برخی موارد بهتر از روابط دام و گلوور نشان داده‌اند. لذا استفاده از



روابطی چون باور و وان شیلfgارد و وان شیلfgارد حداقل در حد مقایسه با رابطه دام- گلوور توصیه می شود.

منابع مورد استفاده

- ۱- آذری، ا. و مصطفی زاده، ب. ۱۳۸۰. تعدیل ضریب زهکشی در دشت مغان. مجموعه مقالات دومین کارگاه فنی زهکشی، نشریه شماره ۴۲، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- ۲- ابراهیمی، ک. ۱۳۷۳. مقایسه چهار روش آزمایشگاهی و صحرایی تعیین هدایت هیدرولیکی خاک. نشریه شماره ۷۴/۶۸، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- ۳- برومندنسب، س. ۱۳۶۷. ارزیابی فرمول های زهکشی در حالت غیرماندگار با جمع آوری آمار و اطلاعات صحرایی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی.
- ۴- ترابی، م. ۱۳۷۷. مقایسه چند روش اندازه گیری ضریب آگذری در خاک های ایستگاه تحقیقات رودشت اصفهان. نشریه شماره ۷۷/۲۹۳، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- ۵- ترابی، م. ۱۳۷۸. تطبیق مدل ریاضی نظریه های زهکشی در حالت ماندگار و غیرماندگار به روش عناصر محدود با شرایط مزرعه. نشریه شماره ۷۸/۳۸۵، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- ۶- جعفری، ا. (مترجم) ۱۳۷۴. طراحی زهکش های زیرزمینی مزرعه ای در پاکستان. نشریه سالانه کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.



- ۷- حقایقی مقدم، س. ا.، اخوان، ک.، خواجه‌عبداللهی، م. ح.، عزیزی، آ. و ناصری، ع. ع. ۱۳۸۴. ارزیابی روابط حاکم بر زهکش‌های زیرزمینی در اردبیل و خوزستان. نشریه شماره ۸۴/۱۵۷۲، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- ۸- حقایقی مقدم، س. ا.، دهقانیان، س. ا.، و اخوان، ک. ۱۳۸۶. بررسی و تحقیق در کارایی فرمول‌های مناسب تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی. نشریه شماره ۸۶/۹۱۴، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- ۹- رحیمیان، م. ح. ۱۳۷۵. ارزیابی و تعدیل روش‌های چاهک معکوس و گلف در مقایسه با روش چاهک در اندازه‌گیری ضریب آبگذری. نشریه شماره ۷۵/۱۷۸، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.
- ۱۰- لطفی، ا. ۱۳۷۸. اجرای شبکه زهکشی زیرزمینی در دشت بهبهان. مجموعه مقالات کارگاه فنی مسائل و مشکلات اجرای شبکه‌های زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشریه شماره ۲۳، تهران.
- ۱۱- مهندسین مشاور یکم. ۱۳۷۵. طرح توسعه کشت و صنعت اکالیپتوس در شمال خرمشهر، جلد هفتم، مطالعات زهکشی، تهران.



۱۲. Drainage Research Institute (DRI). ۱۹۸۹. Land drainage in Egypt. Nubar Printing House, Cairo, Egypt.
۱۳. French, B.E. and Ocallaghan, J.R.. ۱۹۶۶. A field test of drain spacing equations for agricultural land. Journal of Agricultural Engineering Research. ۱۱(۴).
۱۴. Nwa, E. U. and Twocok, J. G. ۱۹۶۹. Drainage design theory and practice. Journal of Hydrology. No. ۵.
۱۵. Skaggs, R. W., Kriz, G. J. and Bernal, R. ۱۹۷۳. Field evaluation of transient drain spacing ۶ equations. Transaction of the ASAE. ۱۶, ۵۹۰-۵۹۵.

پیوست نشریه

فرمول‌های زهکشی

بخش عمده فرمول‌های زهکشی برای حالت ماندگار وضع شده و برای کشورهای اروپایی با بارش‌های طولانی مدت و کم شدت نتایج بسیار مطلوبی می‌دهد. شرایط ماندگار حالتی است که در مدت زمان طولانی سطح ایستابی تغییر نکرده و جریان خروجی از زهکش مقدار ثابتی می‌باشد. در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون کشور ایران که بارش‌ها کوتاه ولی با شدت زیاد صورت می‌گیرد، و یا نوسانات سریع سطح آب زیرزمینی بدلیل عملیات آبیاری به‌وجود می‌آید، استفاده از فرمول‌های حالت غیرماندگار توصیه می‌شود. در شرایط غیرماندگار فرمول‌های زیادی تاکنون ارائه گردیده است. روش استفاده از پنج



فرمول که از اعتبار بیشتری برخوردار هستند، به شرح زیر توضیح داده شده است:

معادله گلوور

شکل نهایی معادله گلوور (۱۹۵۴) به صورت زیر است.

$$L = \pi \sqrt{\frac{kDt}{\mu \ln \frac{4 h_0}{\pi h_t}}} \quad (۳)$$

که در آن،

L = فاصله زهکش‌ها (متر)؛ K = میانگین ضریب هدایت هیدرولیکی

لایه‌های خاک روی لایه محدودکننده (متر در روز)؛ t = زمان (روز)؛

h_0 و h_t = سطح ایستابی در زمان ۰ و t بر حسب متر.

$$D = d + \frac{h_0}{2}$$

d = فاصله محل قرارگیری زهکش‌ها تا لایه محدودکننده (متر)؛

μ = آبدهی ویژه یا تخلخل قابل زهکشی (متر بر متر).

گلوور فرضیات زیر را در استخراج معادله‌های خود در نظر گرفته است:

- منطقه مورد زهکشی در فواصل زمانی منظم آبیاری می‌شود.
- یک لایه محدودکننده (با نفوذپذیری کم) در زیر طبقه‌ای از خاک یکنواخت یا لایه لایه قرار دارد.



- میانگین وزنی ضریب هدایت هیدرولیکی خاک یا لایه‌های خاک برای منطقه در نظر گرفته می‌شود.
 - سطح ایستابی اولیه مسطح است.
- معادله گلوور همگرایی خطوط جریان در نزدیکی زهکش‌ها را در نظر نمی‌گیرد.

معادله حماد

حماد (۱۹۶۲) با فرض مستوی بودن شکل سطح ایستابی در حین افت، معادله دیفرانسیلی لاپلاس را برای حالت‌های زیر حل نمود:

الف- در حالتی که لایه محدودکننده نزدیک به سطح زمین باشد.

$$L = \frac{2\pi kt}{\mu \ln\left(\frac{h_0}{h_t}\right) \ln\left(\frac{L^2}{2\pi^2 rd}\right)} \quad (۴)$$

ب- در حالتی که لایه محدودکننده فاصله زیادی از سطح زمین داشته باشد.

$$L = \frac{2\pi kt}{\mu \ln\left(\frac{h_0}{h_t}\right) \ln\left(\frac{L}{\pi r}\right)} \quad (۵)$$

در معادله‌های ۴ و ۵، r = شعاع لوله زهکش و بقیه علائم قبلاً تعریف شده‌اند.



حماد در استخراج معادله‌های خود شرایط مرزی زیر را پذیرفت:

- فشار در سطح ایستابی معادل فشار جو است.
- در نزدیکی زهکش جریان به‌صورت شعاعی است.
- شکل سطح ایستابی در قسمت اعظمی از فاصله بین دو زهکش تقریباً مسطح بوده و تنها در نقاط واقع بر روی زهکش‌ها کم و بیش دارای فرورفتگی‌هایی می‌باشد.

معادله وان شیلفگارد

وان شیلفگارد (۱۹۶۳) از مفهوم عمق معادل برای دخالت دادن همگرایی خطوط جریان در مجاورت لوله‌های زهکشی استفاده کرد و با فرض سهمی بودن شکل اولیه سطح ایستابی، معادله زیر را ارائه نمود:

$$L = \left\{ \frac{9kd_e t}{\mu \ln \left[\frac{h_0(h_t + 2d_e)}{h_t(h_0 + 2d_e)} \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (۶)$$

در رابطه فوق de عمق معادل پیشنهادی هوخهات می‌باشد و از رابطه زیر به‌دست می‌آید:



$$d_e = \frac{L}{8 \left[\frac{1}{\pi} \ln \frac{D}{\sqrt{2}r} + \frac{\left(1 - \frac{\sqrt{2}D}{L}\right)^2}{\frac{8D}{L}} \right]} \quad (7)$$

که در آن، D = عمق لایه محدودکننده تا محل قرارگیری زهکش؛ و r = شعاع لوله زهکش می باشد.

معادله باور و وان شیلفگارد

باور و وان شیلفگارد (۱۹۶۳) با فرض ماندگار بودن دبی زه آب خروجی از فاصله دو خط زهکش در واحد سطح، شیوه جدیدی برای تخمین فاصله بین زهکش ها در حالت غیرماندگار ارائه نمودند. شکل نهایی معادله ارائه شده توسط این دو دانشمند به صورت زیر است:

$$L = \left\{ \frac{8kd_e t}{C\mu \ln \left[\frac{h_0(h_t + 2d_e)}{h_t(h_0 + 2d_e)} \right]} \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

در شرایطی که $0.8 < h/L < 0.2$ باشد، $C=0.8$ و زمانی که $h/L > 0.15$ باشد، C برابر با ۱ در نظر گرفته می شود.

معادله دام

دام (۱۹۶۴) با اعمال تغییراتی در معادله گلوور، ضمن تاثیر دادن همگرایی خطوط جریان در نزدیکی زهکش‌ها، سطح ایستابی اولیه را به شکل سهمی درجه چهار فرض کرده و معادله زیر را ارائه نمود.

$$L = \pi \sqrt{\frac{kDt}{\mu \ln 1.16 \frac{h_0}{h_t}}} \quad (9)$$

که در آن ضخامت لایه اشباع $D = d_e + \frac{h_0 + h_t}{4}$ در نظر گرفته می‌شود.

