تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲ (ص ۲۳۶-۲۲۵)

بررسی عملکرد سامانهٔ زهکشی بدون پوشش در کنترل سطح ایستابی در مقایسه با پوشش رایج معدنی در اراضی دشت شادگان

علی‌رضا حسن‌اقلی[۲]*، عادل اسمعیلی امینلویی[۲]، حسین سخایی راد[۳]

۱. استادیار مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی

۲. کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. کارشناس ارشد مهندسین مشاور سامان آبراه

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۹ ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۸/۱)

چکیده

امروزه در پروژه‌های زهکشی در دست اجرای کشور و به‌خصوص در خوزستان بخش قابل توجهی از هزینه‌های اجرایی به تهیهٔ پوشش معدنی (شن و ماسه) اطراف لوله‌های زهکش زیرزمینی اختصاص می‌یابد. از سویی، با توجه به خصوصیات خاک برخی مناطق و بر اساس توصیه‌های فنی، زهکشی بدون پوشش نیز ممکن است به‌منزلهٔ یک گزینه مد نظر قرار گیرد. به همین منظور، در پژوهش حاضر، که یکی از تجربه‌های نخستین در مقیاس واقعی در ایران است، در مزرعه‌ای آزمایشی با مساحت تقریبی ۲۰ هکتار زیر کشت گندم، در اراضی دشت شادگان واقع در استان خوزستان، علاوه بر زهکشی با پوشش رایج شن و ماسه‌ای، زهکشی بدون استفاده از مواد پوششی، با توجه به ویژگی‌های خاک منطقه، انجام شد. هر واحد آزمون پنج خط زهکش (لترال) داشت با فواصل ۵۰ متر، عمق کارگذاری متوسط ۱/۷ متر، و طول تقریبی ۲۲۰ متر. به‌منظور بررسی وضعیت سطح ایستابی، در راستای عمود بر زهکش، وسط لترال میانی هر واحد به فواصل ۰/۵ و ۲/۵ و ۵ و ۱۰ و ۲۵ متر از لولهٔ زهکش، پیزومترهایی تا عمق ۲ متری خاک کار گذاشته شد و لترال میانی به منهول تجهیز شد. همچنین، در ۳۰ متر از ابتدا و انتهای این زهکش دو پیزومتر در فواصل ۰/۵ و ۲/۵ متری نصب شد. زهکشی رایج در دو واحد آزمایشی و زهکشی بدون پوشش در نتیجهٔ ممانعت زارعان محلی از اجرای سامانه بدون کاربرد شن و ماسه فقط در یک واحد آزمایشی اجرا شد. اما داده‌های لازم در این واحد از سه زهکش میانی و در پوشش رایج از زهکش میانی برداشت شد. بررسی مقادیر عمق سطح ایستابی عملکرد قابل قبول زهکش‌های بدون پوشش و عملکرد مناسب زهکش‌های دارای پوشش شن و ماسه را در کنترل سطح ایستابی و در طول یک فصل زراعی نشان داد. محاسبهٔ مقادیر شاخص عمق نسبی آب زیرزمینی (RGWD) نیز عملکرد قابل قبول سامانهٔ زهکشی بدون پوشش در اراضی دشت شادگان را در طول مدت اجرای این پژوهش و بدون خروج رسوب قابل توجه تأیید کرد. بنابراین، در صورت عملکرد مناسب سامانهٔ زهکشی بدون پوشش در میان‌مدت و درازمدت، می‌توان آن را به‌عنوان گزینه‌ای در پروژه‌های زهکشی زیرزمینی و در اراضی دارای شرایط مشابه شادگان مطرح کرد.

کلیدواژگان: پوشش شن و ماسه‌ای، خوزستان، زهکشی زیرزمینی، سطح ایستابی، لترال بدون پوشش.

مقدمه

زهکشی عملیاتی است مهم و جایگاهی ویژه در زراعت‌های آبی کشور دارد. زیرا با گسترش کشاورزی، خواه ناخواه، برخی اراضی به‌دلیل آبیاری بی‌رویه و در نتیجهٔ ظرفیت پایین تخلیهٔ طبیعی با خیز سطح ایستابی و افزایش شوری خاک مواجه می‌شوند و برای تجهیز و نوسازی به زهکشی نیاز پیدا خواهند کرد (Alizadeh, 2007). تاکنون زهکشی فقط به خارج‌کردن آب اضافی از سطح مزرعه یا از نیم‌رخ خاک اطلاق می‌شد. بدیهی است این کار در مناطق خشک و نیمه‌خشک با خارج‌کردن نمک اضافی از خاک همراه است. بنابراین، بانک جهانی تعریف جامع‌تری ارائه کرد. بر اساس این تعریف، زهکشی فرایند خارج‌کردن آب سطحی اضافی و مدیریت سفرهٔ آب زیرزمینی کم‌عمق از طریق نگه‌داشت و دفع آب و مدیریت کیفیت آب برای رسیدن به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی است؛ ضمن اینکه محیط زیست نیز حفظ شود. از این رو، نگرش به زهکشی باید از تعریف سادهٔ قبلی به سمت چنین تعریف جامعی سوق داده شود (IRNCID, 2008).

در شرایط معمول پروژه‌های زهکشی در خاک‌های شور و ناپایدار، برای عملکرد بهینهٔ زهکش‌های زیرزمینی، انتخاب مصالح مناسب (لوله و مواد پوششی اطراف زهکش) و نصب و

* نویسنده مسئول: arho49@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

نگه‌داری بایستهٔ آن‌ها ضرورت دارد. گاه، هنگام نصب زهکش زیرزمینی، لوله‌های زهکشی به محافظت بیشتر برای جلوگیری از ورود ذرات خاک به داخل آن‌ها نیاز دارند. ذرات خاک ممکن است در اثر نیروی رانشی آب و از طریق سوراخ‌های روی لوله به داخل زهکش منتقل شوند. این فرایند را نمی‌توان به‌طور کامل قطع کرد؛ اما با به‌کاربردن مواد متخلخل در اطراف لولهٔ زهکش می‌توان شدت آن را کاهش داد یا حتی متوقف کرد. مادهٔ متخلخلی که این وظیفه را عهده‌دار است پوشش زهکش[1] نام دارد که اغلب به‌اشتباه به آن فیلتر گفته می‌شود. در واقع، وظیفهٔ فیلتر این است که ذرات خاک را پشت خود نگه دارد. بنابراین می‌تواند موجب گرفتگی خود فیلتر شود. به‌عکس، پوشش زهکش مناسب از رسوب‌گذاری تا حد ممکن جلوگیری می‌کند و اطراف زهکش محیطی با هدایت هیدرولیکی بالا و قدرت تثبیت ساختمان خاک فراهم می‌آورد (IRNCID, 2005).

کاربرد پوشش در اطراف زهکش‌ها به ویژگی‌های خاک محل بستگی دارد. در عمل، هزینه‌ها و چگونگی دسترسی به مواد و مصالح تا حد زیادی بر فرایند انتخاب نوع پوشش تأثیر می‌گذارد. امروزه در ایران، که زهکشی برای کنترل ماندابی و شوری خاک به‌کار می‌رود، با توجه به کمبود شن و ماسه و مشکلات تأمین آن به‌ویژه در استان خوزستان، نیاز به یافتن جایگزینی مناسب و در عین حال ارزان‌قیمت برای پوشش‌های رایج معدنی ضرورت یافته است؛ به‌گونه‌ای که ملاحظات زیست‌محیطی (Akram *et al*., 2013) و اقتصادی و فنی پروژه‌های زهکشی نیز لحاظ شود. پوشش‌های شن و ماسه‌ای رایج‌ترین نوع پوشش مورد استفاده هستند و بخش قابل توجهی از هزینه‌های اجرایی یک پروژهٔ زهکشی را به خود اختصاص می‌دهند (Hassanoghli, 2010; Kabusi, 2006). چنین برآورد می‌شود که در پروژه‌های زهکشی در دست اجرا در استان خوزستان بالغ بر نیمی از هزینه‌ها به تهیه و اجرای مناسب لولهٔ زهکش و پوشش معدنی اطراف آن اختصاص می‌یابد. بنابراین، گران‌بودن و دردسترس‌نبودن پوشش‌های معدنی، به‌دلیل دوری منابع قرضه و بُعد مسافت از ۱۰۰ تا ۲۵۰ کیلومتری معادن شن و ماسه از محل اجرای پروژه‌ها، مشکلات عدیده‌ای را به‌وجود آورده است. همچنین، حین حمل‌ونقل از معدن تا محل اجرای پروژه و نیز در زمان کارگذاری لولهٔ زهکش، علاوه بر جداشدن ذرات با اندازه‌های مختلف از یک‌دیگر (بر هم خوردن یکنواختی پوشش)، تلفات قابل توجهی از پوشش معدنی نیز اتفاق می‌افتد (Hassanoghli, 2010 & 2012).

به‌طور کلی، ضرورت استفاده از پوشش به ویژگی‌های خاک منطقه‌ای بستگی دارد که زهکش زیرزمینی در آن اجرا می‌شود. متحرک‌ترین ذرات خاک در اثر جریان آبْ ذرات مابین سیلت و ماسهٔ نرم (با قطر ۲۰ تا ۱۵۰ میکرون) است. در زمین‌های تحت آبیاری وجود پوشش در اطراف لولهٔ زهکش برای جلوگیری از ورود ذرات خاک به داخل آن، به‌علت تجمع سدیم و ناپایداری کمپلکس خاک، ضروری است. به‌علاوه، هنگام کارگذاری لوله و پرکردن مجدد ترانشه، خاک ریخته‌شده فاقد استحکام لازم است و ممکن است با جریان آب زیرزمینی وارد لوله‌ها شود (Vatanzadeh, 1994). وجود مقادیر قابل توجهی از ذرات ماسهٔ ریز و سیلت در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک باعث می‌شود هنگام اشباعْ پایداری این خاک‌ها به میزان قابل توجهی کاهش یابد؛ به‌خصوص اگر مقدار رس آن‌ها کمتر از ۲۵ درصد باشد، ذرات خاک در اطراف لوله‌های زهکش به‌حرکت درمی‌آید. آزمایش نمونه‌های خاک تشکیل‌شده از درصدهای مختلف ماسه و سیلت در اندازهٔ متفاوت نشان می‌دهد به هر میزان قطر ۵۰ درصد ذرات خاک (d_{50}) و ضریب یکنواختی خاک (C_U) بالاتر باشد، مقاومت نمونه در برابر شسته‌شدن ذرات تحت بارهای آبی یکسان افزایش می‌یابد (Kaveh, 1969).

پوشش زهکش عملکرد سامانهٔ زهکشی را بهبود خواهد بخشید؛ مگر اینکه نوع پوشش به‌درستی انتخاب نشود یا به‌صورت صحیح نصب نشود. ضرورت استفاده از پوشش در درجهٔ اول به مقدار درصد رس خاک در عمق نصب زهکش و در نتیجه به میزان پایداری ساختمانی خاک بستگی دارد. روش‌های متعددی برای تعیین نیاز یا عدم نیاز به پوشش وجود دارد. یکی از روش‌های بسیار مهم روش گرادیان شکست هیدرولیکی[2] است. بدین منظور ابتدا گرادیان خروجی در حد فاصل زهکش- پوشش- خاک با دردست‌داشتن فواصل زهکش‌ها، مقدار ضریب زهکشی، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، و مساحت سطح جریان محاسبه می‌شود. سپس، مقدار گرادیان شکست هیدرولیکی خاک با استفاده از مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک (هدایت هیدرولیکی و شاخص پلاستیسیته) محاسبه و با کمیت گرادیان خروجی مقایسه می‌شود. در صورتی که مقدار گرادیان خروجی بیشتر از گرادیان شکست هیدرولیکی باشد، افت بار زیاد در حد فواصل مذکور وجود دارد. در این حالت، استفاده از پوشش ضروری است (Samani, 1979; Vlotman *et al*., 2000) از دیگر روش‌ها می‌توان به روش میزان رس خاک،

1. Drain envelope

2. Hydraulic failure gradient

Archive of SID

www.SID.ir

روش ترکیبی میزان رس و نسبت جذب سدیم خاک، و روش شاخص پلاستیسیته توأم با ضریب یکنواختی خاک اشاره کرد.

در هلند، زهکش‌های زیرزمینی در خاک‌هایی با مقدار رس بالای ۲۵ درصد بدون پوشش کار گذاشته می‌شوند. تحقیقات Abdel Dayem (1985) در پروژه‌های زهکشی مصر نشان داد در خاک‌های با مقدار رس بالای ۳۰ درصد لوله‌های زهکش بدون پوشش از جنس رسی و بتنی عملکرد قابل قبولی از نظر وضعیت رسوب‌گذاری دارند. در خاک‌های رسی، که نوع کانی‌های رس آن‌ها بیشتر از نوع مونت موریلونیت است، خطر رسوب‌گذاری به‌دلیل ترک‌خوردگی شدید این خاک‌ها بالاست. نتیجهٔ تحقیقات پروژهٔ راجاد در هند نیز بیانگر آن است که خاک‌های با درصد رس کمتر از ۳۰ و ۴۰ و SAR بیشتر از ۸ ـ ۱۳ به پوشش نیاز دارند. در گزارش پروژهٔ راجاد، خاک‌های با مقدار رس بالای ۴۰ درصد به پوشش نیاز نداشتند. البته این مقدار تا حدودی محافظه‌کارانه است؛ زیرا عدم پوشش‌گذاری در خاک‌های با رس کمتر از ۴۰ درصد نیز امکان‌پذیر گزارش شده است. طبق تحقیقات صورت‌گرفته در هندوستان، در خاک‌های با درصد رس کمتر از ۴۰ و SAR بالای ۱۳ و نیز خاک‌های با مقدار رس کمتر از ۳۰ درصد بدون درنظرگرفتن مقدار SAR به پوشش نیاز است (Rajad Project Staff, 1995). از سویی، Singh *et al.* (1999) با تحقیق دربارهٔ عملکرد زهکش‌های زیرزمینی بدون پوشش در دابهو وجود رسوب داخل لوله‌ها را پس از سه سال از شروع کار زهکش‌ها گزارش دادند. در این شرایط، مقدار تجمع رسوبات داخل زهکش‌های بدون پوشش حدود ۴ تا ۲۰ برابر زهکش‌های با پوشش به‌دست آمد. البته مقدار رس در این خاک‌ها ۲۳ درصد بود. تحقیقات Ojaghloo (2010) در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه نفوذسنج نشان داد عملکرد سیستم بدون پوشش در خاک‌های با مقادیر رس بالای ۳۵ درصد و نسبت جذب سدیم کمتر از ۲۵ قابل قبول است و می‌توان لوله‌های زهکش بدون پوشش را برای این نوع خاک‌ها توصیه کرد. نتیجهٔ تحقیقات Batista (1978) حکایت از آن دارد که وقتی مقدار هدایت هیدرولیکی اشباع خاک حدود ۰٫۰۲ تا ۴٫۵ میلی‌متر در روز باشد، روش گرادیان شکست هیدرولیکی جهت تعیین نیاز به پوشش و همچنین انتخاب پوشش قابل استفاده است.

اصولاً به‌کارگیری و تعمیم تجربیات حاصل از یک منطقه به‌صورت مستقیم در منطقهٔ دیگر توصیه نمی‌شود. روش مناسب تعیین ضرورت استفاده از پوشش احداث خطوط زهکش آزمایشی برای انواع خاک‌های موجود در منطقه است. این روش به صرف وقت و هزینهٔ بالا نیاز دارد. حتی اگر برای جلوگیری از ورود رسوبات ریزدانه به‌داخل لوله‌های زهکش استفاده از پوشش ضرورت نداشته باشد، ممکن است شرایط ویژهٔ دیگری استفاده از پوشش را اجتناب‌ناپذیر کند که از آن‌ها می‌توان به شرایط هیدرولیکی و اجرا و نصب اشاره کرد. خاک‌های با مقادیر بالای رس و مواد آلی استحکام ساختمانی بالایی دارند. همبستگی ساده‌ای بین مقدار رس یا مواد آلی خاک با میزان استحکام ساختمانی خاک به‌منظور تعیین نیاز به پوشش برقرار نشده است؛ ولی این اطلاعات در ترکیب با تجارب محلی می‌تواند پیش‌بینی‌های مناسبی ارائه دهد (Ojaghloo, 2010).

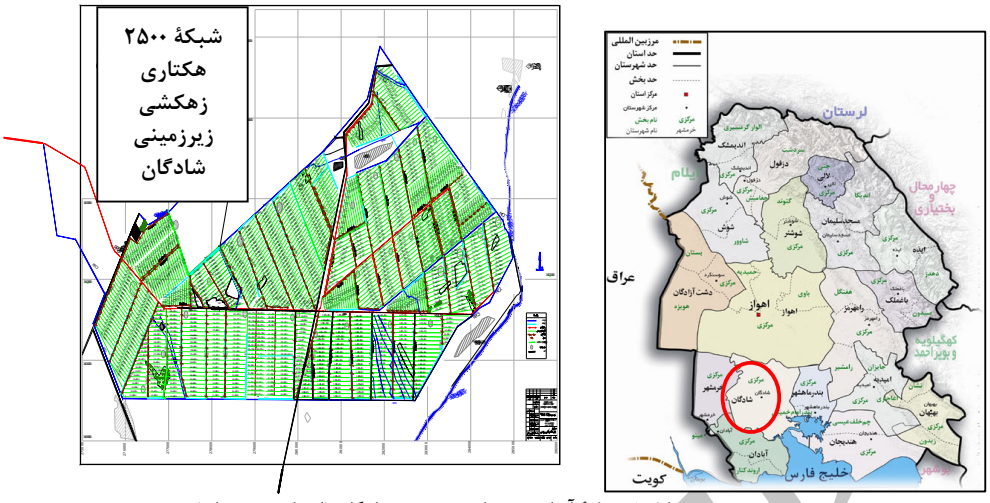
بر اساس توصیه‌های فنی موجود و در صورت بالابودن اندیس خمیرایی (PI >۱۲) و ضریب یکنواختی خاک‌ها (C_U >۱۵) برای اجرای سامانهٔ زهکشی به پوشش نیاز نیست. اما در هیچ‌یک از پروژه‌های کشور عدم کاربرد پوشش به‌عنوان یک گزینهٔ اجرایی عملی نشده است. هدف این پژوهش بررسی امکان استفاده از لولهٔ زهکش بدون پوشش در خاکی متناسب با این گزینه و مقایسهٔ عملکرد آن در کنترل سطح ایستابی با شرایط کاربرد پوشش معدنی رایج (شن و ماسه) در اراضی در دست تجهیز و نوسازی دشت شادگان (استان خوزستان) است.

مواد و روش‌ها

دشت شادگان جلگه‌ای است هموار و بدون عوارض طبیعی که ارتفاع بلندترین نقطهٔ آن در محدودهٔ پروژهٔ زهکشی هفت متر و پست‌ترین آن دو متر از سطح دریاست. شیب اراضی در این محدوده بسیار کم و به‌طور متوسط حدود ۰٫۰۰۰۵ و در جهت کلی شمال شرقی به جنوب غربی است. اراضی طرح از رسوبات آبرفتی رودخانهٔ جراحی تشکیل می‌یابد که در خط‌الرأس دشت شادگان در جریان است و اراضی را به دو بخش تقسیم می‌کند. آب مورد نیاز برای آبیاری به‌کمک ایستگاه پمپاژ از رودخانهٔ جراحی تأمین می‌شود. دشت شادگان اقلیمی خشک دارد و کشت غالب این منطقه گندم است. در شبکهٔ زهکشی دشت شادگان به وسعت ۲۵۰۰ هکتار، که در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز و ۷۰ کیلومتری شمال شرقی آبادان و در استان خوزستان واقع است (شکل ۱)، بر اساس مطالعات شرکت مشاور، فاصله و عمق متوسط کارگذاری زهکش‌ها به‌ترتیب ۵۰ و ۱٫۷ متر طراحی شد و طول لترال‌ها به‌طور متوسط ۲۲۰ متر بود. لوله‌های زهکش به‌کاررفته در این پروژه از جنس PVC با قطر ۱۲۵ میلی‌متر بود (Saman Abrah Consulting Engineers, 2009).

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱. شبکهٔ آبیاری و زهکشی دشت شادگان (استان خوزستان)

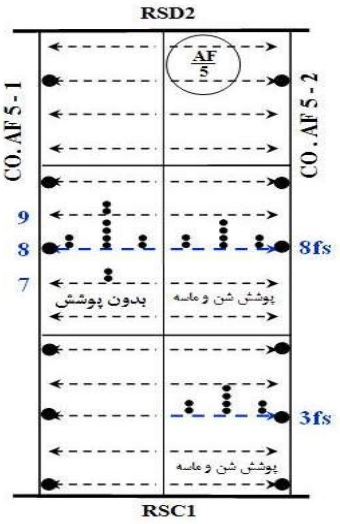
برای اجرای این پژوهش، مزرعه‌ای آزمایشی به این امر اختصاص یافت. تیمارهای تحقیقاتی اجراشده در مزرعهٔ آزمایشی شامل زهکشی با استفاده از پوشش معدنی رایج (شن و ماسه) در دو واحد و نیز اجرای زهکشی بدون پوشش بود که به‌دلیل وجود معارض در منطقه و پافشاری کشاورزان مبنی بر کاربرد شن و ماسه در اجرای لترال‌ها و ممانعت آن‌ها فقط در یک واحد (قطعهٔ آزمایشی) اجرا شد. گفتنی است، هنگام اجرای سامانهٔ زهکشی زیرزمینی در مزرعهٔ آزمایشی، سطح ایستابی در اعماق پایین‌تر از عمق حفر ترانشه قرار داشت و لوله‌های زهکش بدون هیچ‌گونه مزاحمتِ آب زیرزمینی و در شرایط عادی، از نظر رطوبت خاک، کار گذاشته شد. سپس اراضی تسطیح نسبی و آمادهٔ اجرای عملیات زراعی شد و پیش‌آبیاری به‌منظور بهبود وضعیت خاک و آماده‌سازی آن جهت کشت انجام گرفت. تعداد خطوط زهکش کارگذاری‌شده در هر واحد آزمایشی ۵ لترال بود. در مجموع ۱۵ خط زهکشی به این امر اختصاص یافت. اندازه‌گیری‌ها برای پوشش معدنی در خط زهکش میانی (از ۵ لترال) و در تیمار بدون پوشش در سه خط میانی انجام شد. برای کنترل شرایط از نظر وضعیت تخلیهٔ زهکش، خروج احتمالی رسوبات، و نمونه‌برداری از زه‌آب در همهٔ واحدهای آزمایشی و روی زهکش میانی منهول نیز اجرا شد تا تسهیلات لازم از این نظر فراهم آید. در مجموع، با توجه به جمیع شرایط و لحاظ‌کردن فاصلهٔ لازم بین قطعات برای حذف اثر متقابل واحدهای آزمایشی بر هم، مساحتی نزدیک به ۲۰ هکتار به اجرای پژوهش اختصاص یافت. در هر واحد آزمایشی و برای کنترل وضعیت سطح ایستابی در جهت عمود بر زهکش و در وسط لترال میانی، به فواصل ۰/۵ و ۲/۵ و ۵ و ۱۰ و ۲۵ متر از لولهٔ زهکش، پیزومترهایی تا عمق ۲ متر و مطابق دستورالعمل‌های موجود ایجاد و تجهیز شد (FPBOI, 1997; FMPOI, 2007). در زهکشی بدون پوشش، این کار در سه لترال میانی انجام پذیرفت. به‌علاوه، در فواصل ۳۰ متری از ابتدا و انتهای زهکش میانی پیزومترهای دیگری در فواصل ۰/۵ و ۲/۵ متری از لولهٔ زهکش نصب شد تا بتوان وضعیت سطح ایستابی و تغییرات آن را در طول لولهٔ زهکش نیز بررسی کرد. اجرای هر پیزومتر با مشکلات فراوانی همراه بود و کشاورزان با این کار مخالفت می‌کردند. بدین سبب در ابتدا و انتهای لترال‌ها امکان اجرای پیزومتر در فواصل بیشتر میسر نشد (شکل ۲).

به‌منظور آگاهی از مشخصات شیمیایی و تعیین بافت خاک، در چهار نقطه از منطقهٔ اجرای تحقیق نمونه‌های خاک تا عمق ۲۱۰ سانتی‌متر (با تواتر ۳۰ سانتی‌متری) از سطح خاک تهیه شد. نمونه‌ها با استفاده از روش‌های استاندارد و دقیق آزمایشگاهی و در محل آزمایشگاه تحقیقات آب- خاک- فاضلاب مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی (کرج) تجزیه شد. دانه‌بندی خاک با استفاده از سری الک‌های استاندارد و هیدرومتری تعیین شد. کیفیت آب زیرزمینی منطقه قبل از شروع کشت و پس از اجرای سامانهٔ زهکشی و کیفیت آب آبیاری نیز در طول اجرای تحقیق بررسی شد.

پوشش زهکشی مصرفی در این طرح از نوع پوشش معدنی (شن و ماسه‌ای) بود که دانه‌بندی آن بر اساس معیار SCS و با بهره‌گیری از مشخصات خاک تعیین و به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر در اطراف لولهٔ زهکش زیرزمینی اجرا شد. تیمار بدون پوشش نیز فقط با لوله‌گذاری در ترانشه و پرکردن مجدد آن با خاک حفاری‌شده به‌اجرا درآمد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲. پلان مزرعهٔ آزمایشی اجراشده در دشت شادگان

آزمایش نفوذپذیری آب به خاک با استوانه‌های مضاعف در سه نقطه با فواصلی در حدود ۳۰۰ متر واقع در سه رأس یک مثلث فرضی متساوی‌الاضلاع در سه تکرار در هر نقطه مطابق دستورالعمل استاندارد کشوری (FMPOI, 2002) انجام شد.

روش اندازه‌گیری‌ها برای اجرای تحقیق به این ترتیب بود که با شروع کشت گندم و آغاز عملیات آبیاری در اوایل پاییز سال ۱۳۸۸ مقدار دبی آب آبیاری ورودی و رواناب خروجی مزارع طرح، با استفاده از فلوم WSC، اندازه گرفته شد. همچنین قبل از هر آبیاری ارتفاع سطح ایستابی در پیزومترها با استفاده از سطح‌سنج الکترونیکی ثبت شد. پس از اجرای عملیات آبیاری و قطع آب نیز، با تناوب مناسب (در ابتدا سه بار در روز و سپس یک بار در روز و در ساعتی مشخص)، این عملیات تکرار شد و مقادیر در جدول‌هایی که به همین منظور طراحی شده بود درج شد.

برای ارزیابی عملکرد زهکش‌های زیرزمینی در کنترل سطح ایستابی از شاخص عمق نسبی آب زیرزمینی[1] (RGWD) استفاده شد که در قالب رابطهٔ ۱ تعریف می‌شود (Naseri and Arvahi, 2010):

$$RGWD = \frac{\text{(رابطهٔ ۱) متوسط عمق سطح ایستابی در طول دوره (متر)}}{\text{عمق مطلوب سطح ایستابی در طول دوره (متر)}}$$

مقدار بهینه و مطلوب این شاخص برابر ۱ و محدودهٔ تغییرات آن از ۰٫۸ تا ۱٫۲ است. در این حالت مقادیر بالاتر از ۱ نشان‌دهندهٔ زهکشی و تخلیهٔ بیش از اندازهٔ زه‌آب از اراضی و مقادیر کمتر از ۱ بیان‌کنندهٔ ضعف زهکشی و عدم تخلیهٔ مناسب زه‌آب از اراضی تحت کشت است.

1. Relative Ground Water Depth

یافته‌ها و بحث

مشخصات آب و خاک منطقه

کیفیت شیمیایی و میزان آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در خاک و آب آبیاری و آب زیرزمینی در آزمایشگاه تحقیقات آب- خاک- فاضلاب مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی اندازه‌گیری شد. متوسط مقادیر حاصل در جدول ۱ می‌آید.

آب آبیاری استفاده‌شده در طول فصل زراعی در مزرعهٔ آزمایشی آب رودخانهٔ جراحی بود که از طریق کانال‌های موجود در منطقه به مزرعهٔ آزمایشی منتقل می‌شد. کیفیت این آب، بر اساس طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک امریکا، در کلاس $S_1 - C_4$ تا $S_2 - C_4$ قرار گرفت که نامناسب است و بر عملکرد محصول و کیفیت خاک مزرعه تأثیر می‌گذارد. برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی منطقه، قبل از شروع عملیات آبیاری و در حین اجرای زهکش‌های زیرزمینی، نمونه‌هایی برداشت و تجزیه شد. از بررسی مقادیر می‌توان نتیجه گرفت که آب زیرزمینی آزمایش‌شده کیفیت بسیار پایینی دارد و مقدار شوری و سدیم آن بالاست. بنابراین، از لحاظ کیفیت و بر اساس معیار طبقه‌بندی آزمایشگاه شوری خاک امریکا در کلاس C_4 -S_4 قرار می‌گیرد.

به‌منظور تعیین بافت و چگونگی توزیع ذرات خاک برحسب قطر در نمونه‌های بررسی‌شده، آزمایش دانه‌بندی انجام گرفت. بافت خاک بر اساس تقسیم‌بندی کشاورزی تا عمق ۹۰ سانتی‌متری Silty Clay، در عمق ۹۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متری Silty Clay Loam، و از عمق ۱۲۰ تا ۲۱۰ سانتی‌متری Silty Clay تعیین شد. متوسط مقدار رس خاک ۲۹ درصد، سیلت ۵۰ درصد، و شن و ماسه ۲۱ درصد بود. نفوذپذیری خاک، بر اساس میزان سرعت نفوذ پایه، از خیلی آهسته تا خیلی سریع قابل طبقه‌بندی است. نتایج آزمایش‌های نفوذپذیری به روش استوانهٔ مضاعف بر خاک محل اجرای تحقیق نشان داد سرعت نفوذ پایهٔ اندازه‌گیری‌شده در محدودهٔ خیلی آهسته (از حداقل ۰٫۸۴ میلی‌متر در ساعت تا حداکثر ۱٫۷۰ میلی‌متر در ساعت) و آهسته (از حداقل ۲٫۵۰ میلی‌متر در ساعت تا حداکثر ۳٫۱۶ میلی‌متر در ساعت) و فقط در یک مورد در محدودهٔ متوسط (۸٫۸۸ میلی‌متر در ساعت) قرار داشت.

برای تعیین کیفیت ذرات ریزدانهٔ (رس) نمونه‌های خاک و همچنین خواص خمیرایی آن‌ها آزمایش تعیین حدود آتربرگ (شامل حد روانی و حد خمیری) در آزمایشگاه مکانیک خاک مؤسسهٔ تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی انجام پذیرفت. اندیس خمیرایی از تفاضل این دو مقدار رطوبت خاک حاصل می‌شود. نتایج در جدول ۲ می‌آید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. متوسط مقادیر کیفیت خاک و آب آبیاری و آب زیرزمینی در منطقهٔ اجرای تحقیق

نمونه	ECe/EC (dS/m)	pH	آنیون‌ها (meq/l)				جمع آنیون‌ها	کاتیون‌ها (meq/l)			جمع کاتیون‌ها	SAR
			Cl^-	CO_3^{2-}	HCO_3^-	SO_4^{2-}		Na^+	$Mg^{2+}+Ca^{2+}$	K^+		
خاک	۳۲/۱۴	۷/۶۱	۲۹۴/۰۰	–	۴/۰۶	۲۸/۲۹	۳۲۶/۳۵	۱۹۷/۳۴	۱۲۸/۰۰	–	۳۲۵/۳۴	۲۶/۳۹
آب آبیاری	۵/۷۵	۷/۷۳	۳۶/۰۰	–	۳/۴۶	۱۲/۹۰	۵۲/۳۶	۳۶/۸۰	۲۵/۰۰	–	۵۱/۸۰	۱۰/۰۶
آب زیرزمینی	۶۶/۹۰	۶/۵۰	۷۷۵/۰۰	–	۲/۵۰	۵۰/۰۰	۸۲۷/۵۰	۶۵۲/۰۰	۱۶۵/۰۰	–	۸۱۷/۰۰	۷۲/۰۰

جدول ۲. حدود آتربرگ (مقادیر درصد رطوبت) خاک منطقهٔ اجرای تحقیق در اعماق مختلف

عمق خاک (cm)	حد روانی (٪)	حد خمیری (٪)	اندیس خمیرایی (٪)
۰ تا ۳۰	۲۶/۸۵	۹/۶۷	۱۷/۱۸
۳۰ تا ۶۰	۳۱/۵۰	۱۱/۸۴	۱۹/۶۶
۶۰ تا ۹۰	۳۶/۶۰	۱۵/۴۷	۲۱/۱۳
۹۰ تا ۱۲۰	۳۷/۶۵	۱۶/۵۲	۲۱/۱۳
۱۲۰ تا ۱۵۰	۴۰/۴۰	۱۷/۲۳	۲۳/۱۷
۱۵۰ تا ۱۸۰	۴۲/۰۰	۲۰/۲۲	۲۱/۷۸
۱۸۰ تا ۲۱۰	۴۲/۴۵	۱۹/۵۱	۲۲/۹۴
میانگین	۳۶/۷۷	۱۵/۷۸	۲۰/۹۹

از معیارهای تعیین‌کنندهٔ نیاز لوله‌های زهکش به پوشش اندیس خمیرایی در کنار ضریب یکنواختی خاک است (IRNCID, 2005). با توجه به ارقام ارائه‌شده در جدول ۲، اندیس خمیرایی خاک منطقه بالاتر از ۱۲ است و بر اساس ضوابط به‌نظر می‌رسد خاک تمایلی به رسوب‌گذاری مواد سیلتی[1] در لوله‌های زهکش نداشته باشد. ضریب یکنواختی، که همراه اندیس خمیرایی نشان‌دهندهٔ پایداری خاک یا پتانسیل رسوب‌گذاری در لولهٔ زهکش است، در صورت فزونی از ۱۵ پایداری خاک را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه d_{60} خاک (اندازه‌ای از ذرات خاک که ۶۰ درصد ذرات از آن کوچک‌ترند) از روی منحنی دانه‌بندی برابر ۰/۰۱۶ میلی‌متر و d_{10} آن برابر ۰/۰۰۰۷ میلی‌متر بود، ضریب یکنواختی از تقسیم d_{60} بر d_{10} خاک محاسبه شد و عدد ۲۲/۸۵ به‌دست آمد که بزرگ‌تر از ۱۵ است.

نوسانات سطح ایستابی در زهکش‌های با پوشش شن و ماسه‌ای

بررسی نوسانات سطح ایستابی می‌تواند اطلاعات مفیدی دربارهٔ وضعیت زهکشی زیرسطحی در منطقه ارائه دهد. در واقع تراز سطح ایستابی تعادلی است که بین تغذیه و تخلیهٔ آب زیرزمینی ایجاد می‌شود. با تغییر این تعادل، عمق سطح ایستابی نیز تغییر می‌کند و خیز برمی‌دارد یا پایین می‌رود. چنانچه سطح ایستابی به‌طور ثابت یا فصلی بسیار نزدیک به سطح خاک باشد، اجرای سامانهٔ زهکشی زیرسطحی الزامی خواهد بود. عملکرد سامانهٔ زهکشی نیز با کنترل وضعیت سطح ایستابی و نوسانات آن قابل پایش است.

ارزیابی عملکرد پوشش‌های معدنی (شن و ماسه) در دو واحد آزمایشی به‌اجرا درآمد. در هر واحد، زهکش یا لترال میانی بین پنج خط زهکش اجراشده مبنای کار ارزیابی بود که در واحد اول با عنوان ۳fs (تکرار اول پوشش شن و ماسه) و در واحد دوم با عنوان ۸fs (تکرار دوم پوشش شن و ماسه) مشخص شد. در جدول ۳ مقادیر حداقل و حداکثر ارتفاع سطح ایستابی از تراز لولهٔ زهکش در تیمارهای مختلف و درست در وسط لترال می‌آید. مطابق مقادیر جدول ۳ در لترال ۳fs خیز سطح ایستابی در پیزومترهای واقع در فاصلهٔ ۰/۵ و ۲/۵ متری قابل توجه است که می‌توان علت آن را نشست خاک بالای لترال دانست که باعث می‌شود مقدار بیشتری آب آبیاری به سمت ترانشه حرکت کند و در محل لولهٔ زهکش تجمع یابد. گفتنی است عملیات

1. Siltation

Archive of SID

www.SID.ir

آبیاری در منطقه به روش سطحی انجام می‌شد. در حداکثر تراز سطح ایستابی ارتفاع سطح آب زیرزمینی از تراز زهکش در پیزومترهای ۰٫۵ و ۲٫۵ و ۵ و ۱۰ و ۲۵ متری به‌ترتیب ۱٫۰۷ و ۱٫۰۴ و ۰٫۵۸ و ۰٫۵۸ و ۰٫۴۹ متر بود. از سویی می‌توان با داشتن رقوم زمین طبیعی و سطح ایستابی فاصلهٔ سطح ایستابی تا زمین طبیعی را به‌دست آورد که بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده و در زمانی که تراز سطح ایستابی بیشترین مقدار را داشت فاصلهٔ سطح ایستابی تا زمین طبیعی به‌ترتیب ۰٫۶۳ و ۰٫۶۶ و ۱٫۱۲ و ۱٫۱۲ و ۱٫۲۱ متر در پیزومترهای واقع در ۰٫۵ و ۲٫۵ و ۵ و ۱۰ و ۲۵ متری از لولهٔ زهکش بود. شرکت طراح حداکثر خیز سطح ایستابی بین دو زهکش را بر حسب شرایط محلی یک متر از سطح خاک (یا به‌طور متوسط ۰٫۷ متر از تراز زهکش) در نظر گرفته است. در اغلب موارد چنین شرایطی حادث شده است.

جدول ۳. مقادیر حداقل و حداکثر خیز سطح ایستابی مشاهده‌شده در پیزومترهای واقع در وسط زهکش

شمارهٔ پیزومتر	فاصله از محور زهکش (متر)	میزان خیز سطح ایستابی از محور زهکش (متر)					
		زهکش ۳fs*، معدنی		زهکش ۸fs*، معدنی		میانگین بدون پوشش	
		حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر
۱	۰٫۵	-۰٫۰۳	۱٫۰۷	–	–	۰٫۲۵	۱٫۲۵
۲	۲٫۵	-۰٫۰۶	۱٫۰۴	۰٫۰۹	۱٫۴۳	۰٫۲۹	۱٫۳۱
۳	۵٫۰	-۰٫۰۶	۰٫۵۸	۰٫۰۸	۱٫۳۶	۰٫۲۷	۱٫۳۳
۴	۱۰٫۰	-۰٫۰۱	۰٫۵۸	۰٫۰۷	۱٫۴۴	۰٫۲۴	۱٫۱۶
۵	۲۵٫۰	-۰٫۰۲	۰٫۴۹	–	–	۰٫۲۲	۱٫۳۵

* زهکش ۳fs تکرار اول پوشش شن و ماسه‌ای و زهکش ۸fs تکرار دوم آن است (نام‌گذاری برحسب توالی لترال‌ها در قطعهٔ زراعی).

از جدول ۳ مقادیر حداقل و حداکثر ارتفاع سطح ایستابی از تراز لولهٔ زهکش در لترال ۸fs (تکرار دوم پوشش شن و ماسه) و در وسط لترال قابل مشاهده است. حداکثر خیز سطح ایستابی در طول فصل زراعی در پیزومترهایی که به فاصلهٔ ۲٫۵ و ۵ و ۱۰ متری از لولهٔ زهکش قرار گرفته بودند به‌ترتیب ۱٫۴۳ و ۱٫۳۶ و ۱٫۴۴ متر بود. متأسفانه به‌دلیل تخریب پیزومترهای نصب‌شده در فواصل ۰٫۵ و ۲۵ متری به‌دست کشاورز مالک مزرعه و عدم اجازه برای تجدید آن‌ها داده‌ای برداشت نشد. به همین دلیل، بیشتر از داده‌های لترال ۳fs برای تحلیل‌ها استفاده شد. با داشتن رقوم زمین طبیعی، فاصلهٔ سطح ایستابی تا سطح زمین به‌دست آمد که بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده و در زمانی که تراز سطح ایستابی بیشترین مقدار را داشت فاصلهٔ سطح ایستابی تا زمین طبیعی برای پیزومترهای لترال ۸fs به‌ترتیب ۰٫۲۷ و ۰٫۳۴ و ۰٫۲۶ متر بود که از میزان ۰٫۷ متری مورد نیاز کمتر است. اما تخلیهٔ زه‌آب از نیم‌رخ خاک با سرعتی مناسب سطح آب را پایین می‌انداخت.

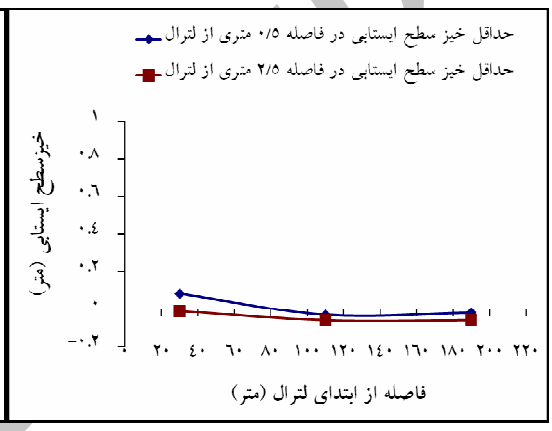
شکل‌های ۳ و ۴ حداقل و حداکثر خیز سطح ایستابی در طول لترال ۳fs (وسط زهکش و در ۳۰ متری از ابتدا و انتهای آن) را در فواصل ۰٫۵ و ۲٫۵ متری از لترال نشان می‌دهند. مطابق شکل ۳، حداقل خیز سطح ایستابی در مجاورت لترال تقریباً هم‌تراز با محور زهکش است. مطابق شکل ۴، حداکثر خیز سطح ایستابی در فواصل ۰٫۵ و ۲٫۵ متری در وسط لترال بیش از ابتدا و انتهای آن است. حداکثر خیز سطح ایستابی در ابتدای لترال و وسط و انتهای آن در فاصلهٔ ۰٫۵ متری به‌ترتیب ۰٫۴۶ و ۱٫۰۷ و ۰٫۶۳ متر و در فاصلهٔ ۲٫۵ متری از لترال به‌ترتیب برابر ۰٫۵۷ و ۱٫۰۴ و ۰٫۷۳ متر بود.

شکل ۵ نوسانات سطح ایستابی پیزومترهایی را که وسط لترال ۳fs قرار گرفته‌اند در طول مدت اجرای پژوهش نشان می‌دهد. تناوب اندازه‌گیری یک بار در هر ۲۴ ساعت و رأس زمان مشخص بود. از آنجا که مقدار بار آبی و نوسانات سطح آب در پیزومتری که در فاصلهٔ ۲٫۵ متری از لترال قرار داشت با پیزومتری که در فاصلهٔ ۰٫۵ واقع شده بود نزدیک بود، داده‌های پیزومتر ۲٫۵ متری نشان داده نشد. روند تغییرات سطح ایستابی در پیزومتری که در فاصلهٔ ۵ متری از لترال قرار داشت با پیزومتری که در فاصلهٔ ۰٫۵ متری از لترال واقع شده بود تقریباً مشابه بود؛ با این تفاوت که بار آبی در فاصلهٔ ۵ متری بیشتر از فاصلهٔ ۰٫۵ متری بود. بار آبی در این دو پیزومتر با شروع آبیاری به‌شدت افزایش و با گذشت زمان با روند تقریباً ثابت و یکنواختی کاهش یافت. با شروع آبیاری سوم، سطح ایستابی دوباره بالا آمد تا به مقدار ۰٫۷۸ و ۱٫۰۷ متر برای این دو پیزومتر رسید. پس از آبیاری پنجم (آخرین آبیاری) سطح ایستابی دوباره شروع به افت کرد و روند نزول تا آنجا ادامه یافت که در هشتادمین روز داده‌برداری به زیر تراز زهکش رسید. بیشترین

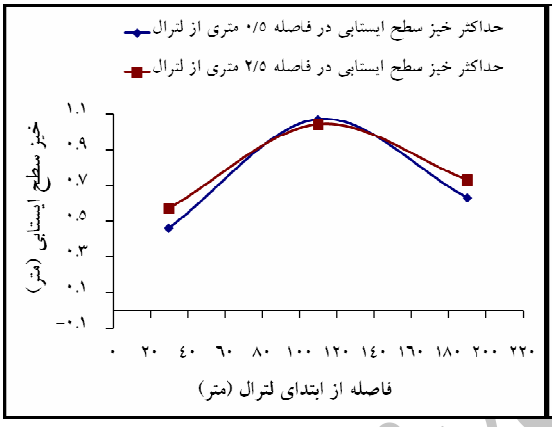
Archive of SID
www.SID.ir

مقدار بار آبی در داخل پیزومترهای اجراشده در فواصل ۱۰ و ۲۵ متری از لترال در روز چلهم آبیاری اتفاق افتاد که به‌ترتیب برابر ۰/۷۹ و ۰/۵۸ متر بود. پس از پایان آبیاری پنجم، سطح ایستابی داخل این دو پیزومتر نیز مانند پیزومترهای نزدیک لترال به‌صورت یکنواخت کاهش یافت تا در انتها به مقدار ۰/۰۹ و ۰/۲۲ متر رسید. مطابق شکل ۵، فاصله‌ای که از روز هفتم تا روز هفدهم مشاهده می‌شود به‌دلیل پایین‌بودن تراز سطح ایستابی است و در حدی است که هیچ‌گونه آبی در پیزومترها وجود ندارد. با شروع آبیاری سوم در روز هفدهم تراز سطح ایستابی دوباره بالا آمد.

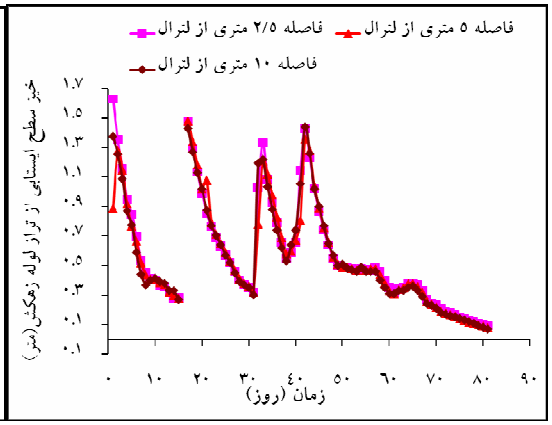
شکل ۶ نوسانات سطح ایستابی در وسط لترال 8fs و در طول فصل زراعی را نشان می‌دهد. در این شکل، مقدار بار آبی و همچنین نوسانات آن در فواصل ۲/۵ و ۵ و ۱۰ متری تقریباً یکسان و نزدیک هم بود. بار آبی در این سه پیزومتر با شروع آبیاری افزایش و با گذشت زمان در ابتدا با شیبی تند کاهش و سپس به‌طور یکنواخت با شیبی ملایم‌تر کاهش یافت. بیشترین مقدار بار آبی در این سه پیزومتر در روز هفدهم اتفاق افتاد که ۱/۴۴ متر بود و کمترین مقدار آن در انتهای فصل به ۰/۰۸ متر رسید. یادآور می‌شود در طول پژوهش داده‌هایی از پیزومترهای واقع در فاصله ۰/۵ و ۲۵ متری از لترال به‌دست نیامد که علت آن تخریب تجهیزات به‌دست کشاورزان محلی است.



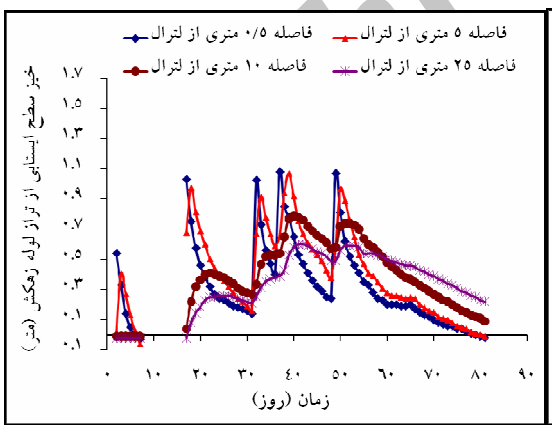
شکل ۳. حداقل خیز سطح ایستابی در امتداد طول لترال 3fs



شکل ۴. حداکثر خیز سطح ایستابی در امتداد طول لترال 3fs



شکل ۵. نوسانات سطح ایستابی در مدت اجرای تحقیق در پیزومترهای نصب‌شده در وسط لترال 3fs



شکل ۶. نوسانات سطح ایستابی در مدت اجرای تحقیق در پیزومترهای نصب‌شده در وسط لترال 8fs

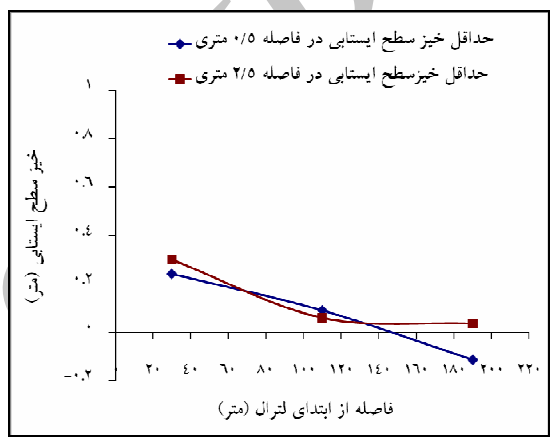
نوسانات سطح ایستابی در لترال‌های بدون پوشش

در جدول ۳ مقادیر متوسط حداقل و حداکثر ارتفاع سطح ایستابی از تراز لولهٔ زهکش در لترال‌های بدون پوشش و در وسط طول زهکش می‌آید. گفتنی است سه زهکش بدون پوشش بر حسب موقعیت قرارگیری در محل با شماره‌های ۷ و ۸ و ۹ مشخص شده‌اند (شکل ۲) و مقادیر جدول ۳ میانگین داده‌های این سه زهکش است. در کل، حداقل سطح ایستابی در پیزومترهای نزدیک زهکش‌ها، به‌دلایلی که پیش‌تر آمد، تا حدودی بالاتر بود. مطابق مقادیر جدول ۳ در حداکثر خیز سطح ایستابی ارتفاع سطح آب زیرزمینی از تراز زهکش در پیزومترهای ۰/۵ و ۲/۵ و ۵ و ۱۰ و ۲۵ متری به‌طور متوسط به‌ترتیب برابر ۱/۲۵ و ۱/۳۱ و ۱/۳۳ و ۱/۱۶ و ۱/۳۵ متر بود. با

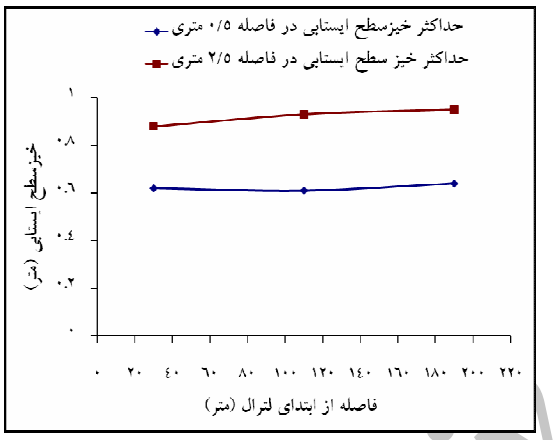
www.SID.ir

داشتن رقوم زمین طبیعی و سطح ایستابی، فاصلهٔ سطح ایستابی تا زمین طبیعی در زمانی که تراز سطح ایستابی بیشترین مقدار را دارد به‌ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۳۹ و ۰/۳۷ و ۰/۵۴ و ۰/۳۵ متر به‌دست آمد. با توجه به بار آبی که شرکت طراح در نظر گرفته است (یک متر از سطح خاک یا ۰/۷ متر از تراز زهکش)، در لترال‌های شمارهٔ ۷ و ۸ و ۹ بار آبی موجود در مواقعی بیشتر از مقدارِ تعیین‌شده بود. این وضعیت نشان می‌دهد لترال بدون پوشش در مقایسه با پوشش شن و ماسه‌ای سطح ایستابی بین دو زهکش را آهسته‌تر پایین می‌آورد. در این شرایط شاید بهتر باشد با کم‌کردن فاصلهٔ زهکش‌ها به کنترل بهتر سطح ایستابی کمک کرد. بیشترین خیز سطح ایستابی در شرایط زهکشی بدون پوشش در لترال‌های شمارهٔ ۷ و ۹ و کمترین مقادیر در لترال ۸ مشاهده شد.

شکل‌های ۷ و ۸ حداقل و حداکثر ارتفاع سطح ایستابی (خیز سطح ایستابی) را از محور لترال بدون پوشش میانی (لترال ۸) و در جهت طول آن در فواصل ۰/۵ و ۲/۵ متری از زهکش نشان می‌دهند. در شکل مذکور ارتفاع سطح ایستابی در طول این لترال بدون پوشش تا حدودی پایین‌تر از لترال‌های دیگر بود. حداکثر خیز سطح ایستابی در ابتدا و وسط و انتهای لترال در فاصلهٔ ۰/۵ متری از زهکش به‌ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۶۱ و ۰/۶۴ متر و در فاصلهٔ ۲/۵ متری از زهکش به‌ترتیب ۰/۸۸ و ۰/۹۳ و ۰/۹۵ متر بود.



شکل ۷. حداقل خیز سطح ایستابی در طول لترال ۸ بدون پوشش



شکل ۸. حداکثر خیز سطح ایستابی در طول لترال ۸ بدون پوشش

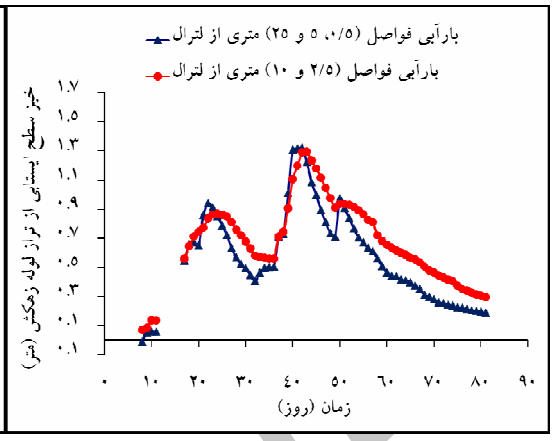
شکل ۹ نوسانات سطح ایستابی در وسط لترال ۷ بدون پوشش و در طول فصل زراعی را نشان می‌دهد. بار آبی پیزومترهایی که در فواصل ۰/۵ و ۵ و ۲۵ متری نصب شده بودند نزدیک هم و همچنین پیزومترهای نصب‌شده در فواصل ۲/۵ و ۱۰ متری شبیه بودند. بنابراین، در این شکل به صورت دو منحنی به تصویر کشیده شدند. سطح ایستابی در طول فصل با سه خیز مواجه شد که بیشترین خیز آن در آبیاری چهارم رخ داد. بیشترین مقدار بار آبی در منحنی‌های رسم‌شده در آبیاری چهارم و در روز چهل‌ودوم به‌ترتیب ۱/۳۲ و ۱/۲۹ متر و در انتهای فصل ۰/۱۸ و ۰/۲۹ متر بود. سطح ایستابی بین آبیاری‌های سوم و چهارم دارای نوساناتی بود و پس از آبیاری پنجم، با گذشت زمان و به‌طور یکنواخت، کاهش یافت.

شکل ۱۰ نوسانات سطح ایستابی در وسط لترال ۸ بدون پوشش و در طول فصل زراعی را نشان می‌دهد. با شروع آبیاری دوم سطح ایستابی در پیزومترهای با فواصل ۰/۵ و ۲/۵ و ۵ و ۱۰ و ۲۵ متر با شیب یکسانی افزایش یافت. اما بار آبی در فاصلهٔ ۲/۵ و ۲۵ متری از لترال با شروع آبیاری سوم تا حدودی خیز بیشتری نسبت به سه پیزومتر دیگر داشت و سطح ایستابی در دیگر پیزومترها با همان روند قبلی افزایش یافت. با شروع آبیاری چهارم، خیز سطح ایستابی در فاصلهٔ ۱۰ متری مانند ۲/۵ و ۲۵ متری افزایش بیشتری داشت، اما سطح ایستابی در دو پیزومتر دیگر با شیب یکسانی افزایش یافت و در روز چهل و چهارم به‌ترتیب به ارتفاع ۰/۶۱ و ۰/۹۳ و ۰/۶۱ و ۰/۸۳ و ۱/۱۰ متر از محور لولهٔ زهکش رسید. با گذشت زمان از آبیاری پنجم، سطح آب با شیب یکنواختی روند نزولی خود را ادامه داد تا در انتهای فصل زراعی به ارتفاع ۰/۲۴ و ۰/۲ و ۰/۳۹ و ۰/۳۲ و ۰/۴۳ متر رسید.

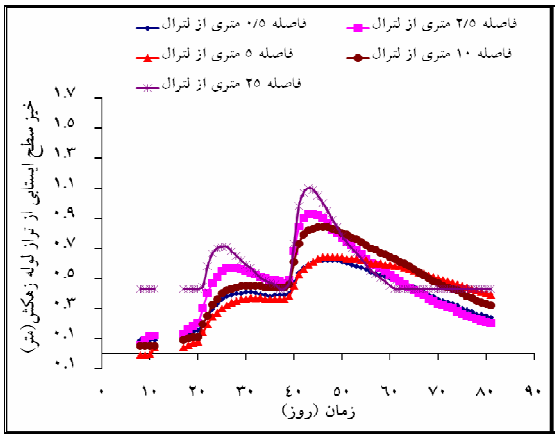
شکل ۱۱ نوسانات سطح ایستابی در وسط لترال ۹ بدون پوشش و در طول فصل زراعی را نشان می‌دهد. در این شکل منحنی نوسانات سه پیزومتر به فواصل ۰/۵ و ۲/۵ و ۵ متری می‌آید و به‌دلیل مشکلات اجرایی و ممانعت کشاورزان پیزومتری در فاصلهٔ ۱۰ متری نصب نشد. روند صعودی و نزولی بار آبی در هر سه پیزومتر مانند هم بود و هر سه دارای دو خیز بودند. بیشترین خیز سطح ایستابی در آبیاری چهارم و روز چهلم

Archive of SID
www.SID.ir

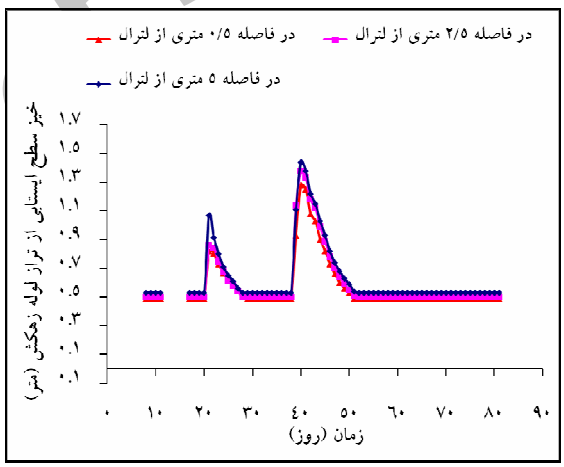
به‌ترتیب به ارتفاع ۱٫۲۸ و ۱٫۳۸ و ۱٫۴۴ متر بود. پس از سپری‌شدن زمان آبیاری چهارم، سطح ایستابی با شیبی تند کاهش یافت و در پیزومترهای موجود در فواصل ۰٫۵ و ۲٫۵ و ۵ متری به‌ترتیب در ارتفاع ۰٫۴۹ و ۰٫۵ و ۰٫۵۳ باقی ماند.



شکل ۹. نوسانات سطح ایستابی در مدت اجرای تحقیق در پیزومترهای نصب‌شده در وسط لترال ۷ بدون پوشش



شکل ۱۰. نوسانات سطح ایستابی در مدت اجرای تحقیق در پیزومترهای نصب‌شده در وسط لترال ۸ بدون پوشش



شکل ۱۱. نوسانات سطح ایستابی در مدت اجرای تحقیق در پیزومترهای نصب‌شده در وسط لترال ۹ بدون پوشش

بررسی عملکرد پوشش‌های زهکشی

برای ارزیابی عملکرد زهکش‌های زیرزمینی اجراشدهٔ بدون پوشش و دارای پوشش معدنی در کنترل سطح ایستابی از شاخص عمق نسبی آب زیرزمینی (RGWD) مطابق رابطهٔ ۱ استفاده شد. نتیجهٔ محاسبهٔ این شاخص در جدول ۴ می‌آید. در این محاسبات عمق مطلوب سطح ایستابی برای کشت گندم با درنظرگرفتن ضریب اطمینان به‌منظور لحاظ‌کردن صعود مویینگی در زمان گرمای هوا در فصل کشت (مطابق نظر مشاور طراح پروژه) ۱ متر لحاظ شد.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، به‌جز در زهکش ۸fs، که عملکرد آن متوسط ارزیابی می‌شود (زهکشی بیش از حد)، عملکرد سایر زهکش‌ها در محدودهٔ خوب است و زهکش ۳fs از نظر عملکرد کلی در کنترل سطح ایستابی شبیه لترال بدون پوشش ۸ عمل می‌کند. سایر زهکش‌های بدون پوشش نیز عملکرد مناسبی در کنترل سطح ایستابی از خود نشان دادند. گفتنی است روی‌کرد جدید پروژه‌های زهکشی استان خوزستان کاهش عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی به ۱٫۵ متر و کمتر از آن است (Akram *et al*, 2013). این کار در جهت کاهش سهم آب زیرزمینی شور در زه‌آب تخلیه‌شده از زهکش‌ها و حفاظت بیشتر از محیط زیست انجام می‌شود. بدیهی است چنین شرایطی بر طراحی پروژه‌های زهکشی و عمق کنترل سطح ایستابی مؤثر خواهد بود.

جدول ۴. مقادیر شاخص عمق نسبی آب زیرزمینی (RGWD) در زهکش‌ها

نوع پوشش	شن و ماسه	شن و ماسه	زهکش بدون پوشش		
شمارهٔ لترال	۳fs	۸fs	ش ۷	ش ۸	ش ۹
RGWD	۱٫۱۳	۱٫۲۶	۱٫۰	۱٫۱۲	۱٫۰۶
نحوهٔ عملکرد	خوب	متوسط	خوب	خوب	خوب

Archive of SID

www.SID.ir

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج اندازه‌گیری نوسانات سطح ایستابی در طول دورهٔ مطالعه در زهکش‌های مزرعهٔ آزمایشی می‌توان دریافت مقدار بار آبی در وسط دو زهکش (از تراز لولهٔ زهکش) در ابتدای هر آبیاری خیز قابل ملاحظه‌ای دارد که با سرعت قابل قبولی نیز افت می‌کند؛ به‌گونه‌ای که خاک سطحی از تهویهٔ کافی برخوردار است. نحوهٔ عمل در زهکش‌های دارای پوشش معدنی و سرعت پایین‌آمدن سطح ایستابی بهتر از سامانهٔ زهکشی بدون پوشش است. اما عملکرد زهکش‌های بدون پوشش نیز، به‌رغم مقاومت ورودی بالاتر، خوب و قابل قبول ارزیابی می‌شود. نکتهٔ قابل توجه این است که در طول یک فصل زراعی در منهول منتهی به لترال بدون پوشش رسوب چندانی مشاهده نشد که نکته‌ای حائز اهمیت بود. از سویی، سطح ایستابی در پایان فصل زراعی و در زهکش‌های بدون پوشش به‌میزان قابل توجهی بالاتر از لترال‌های دارای پوشش معدنی بود که این موضوع نیز نشان‌دهندهٔ مقاومت ورودی بالاتر سامانهٔ زهکشی بدون پوشش است. در عمل، سرعت افت سطح ایستابی در زهکش‌های بدون پوشش در مقایسه با زهکش‌های دارای پوشش معدنی کمتر بود و شیب منحنی افت ملایم‌تری به‌دست می‌داد؛ اما این موضوع مشکلی را از نظر تخلیهٔ آب اضافی از نیم‌رخ خاک پدید نیاورد. بنابراین می‌توان عملکرد کلی زهکشی بدون پوشش را در شرایط این پژوهش مناسب ارزیابی کرد.

REFERENCES

Abdel Dayem, S. (1985). Investigation of pipe clogging and need for envelope materials in subsurface drainage, *Pilot Areas and Drainage Technology Project,* Technical Report No. 28, Drainage Research Institute, Giza, Cairo, Egypt, 104.

Akram, M., Azari, A., Nahvi, A., Bakhtiari, Z., and Safaei, H. D. (2013). Subsurface drainage in Khuzestan, Iran: environmentally revisited criteria, *Irrigation and Drainage,* 62(3), 306-314.

Alizadeh, A. (2007). *Modern land drainage*, Pub. by Imam Reza University, 1st edition, No. 104, (In Farsi).

Batista, J. M. (1978). *Effect of soil compaction on hydraulic failure of soils*, Thesis presented in partial fulfillment of the requirements of the degree of Master of Science, Utah State University, Logan, Utah.

FMPOI, Former Management and Planning Organization of Iran (2002). Manual for infiltration rate measurement by cylinder infiltrameter method, Technical Note, No. 243. Pub. by FPBOI, (In Farsi).

FMPOI, Former Management and Planning Organization of Iran. (2007). Criteria of selection and design of subsurface drainage testing, Technical note, No. 348. Pub. by FPBOI, (In Farsi).

FPBOI, Former Program and Budget Organization of Iran (1997). Manual of casing and establishment of observation wells, Technical note, No. 154. Pub. by FPBOI, (In Farsi).

Hassanoghli, A. (2010). Selection and application of geotextile as subsurface drainage envelope, Technical note, No. 20. *Agricultural Engineering Research Institute*, (In Farsi).

Hassanoghli, A. (2012). Laboratory investigation of soil and water quality for selection of proper synthetic envelope in drainage projects, Final Research Report, No. 41170. Agricultural Engineering Research Institute, (In Farsi).

IRNCID, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (2005). Materials for subsurface drainage, No. 83. Pub. by IRNCID, (In Farsi).

IRNCID, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (2008). Subsurface drainage practices; guidelines for the implementation, operation and maintenance, No. 120. Pub. by IRNCID, (In Farsi).

Kabusi, K. (2006). *Laboratory investigation on rice hosts as subsurface drainage envelope,* Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, University of Tehran, Department of Irrigation and Reclamation, Karaj, Iran, (In Farsi).

Kaveh, F. (1969). *Movement of fine soil fraction under varying hydraulic gradients*, Unpublished Master of Science thesis, American University of Beirut, Lebanon.

Naseri, A. and Arvahi, A. (2010). Use of new basis for designing subsurface drainage systems and the effects of them on executive methods in Khuzestan providence, The Proceedings of the 6th Drainage and Environment Technical Workshop, *Iranian National Committee on Irrigation and Drainage*, 67-81, (In Farsi).

Ojaghloo, H. (2010). *Percentage of clay and sodium adsorption ratio influence on need for subsurface drainage system envelopes,* Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, University of Tehran, Department of Irrigation and Reclamation, Karaj, Iran, (In Farsi).

Rajad Project Staff (1995). Analysis of subsurface drainage design criteria, Rajasthan Agricultural Drainage Research Project (Rajad), Chambal Command Area Development, Rajasthan, India, Sep. 8-11.

Saman Abrah Consulting Engineers (2009). Report of 2500 ha Shadegan subsurface drainage project, Saman Abrah, Ahwaz, (In Farsi).

Samani, Z. A. (1979). *Effects of soil properties on hydraulic failure gradient of soils,* Thesis presented in partial fulfillment of the

Archive of SID

www.SID.ir

requirements of the degree of Master of Science, Utah State University, Logan, Utah.

Singh, P. K., Singh, O. P., and Jaiswal, C. S. (1999). Field performance of subsurface drain envelope materials, *Proceedings of the 5th International Drainage Workshop,* Lahore, Pakistan, ICID, IWASRI, Vol. 111, 5.1- 5.7.

Vatanzadeh, M. (1994). *Drainage envelopes and compare of different criteria's for design of envelopes in drainage*, Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, University of Tehran, Department of Irrigation and Reclamation, Karaj, Iran, (In Farsi).

Vlotman, W. F., Willardson, L. S., and Dierickx, W. (2000). Envelope design for subsurface drains, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Pub. No. 56, Wageningen, The Netherlands, 71-83 and 97-117.

Archive of SID

www.SID.ir