مجله تحقیقات آب و خاک ایران (۴۰) ۱، ۱۳۸۸ (۱۵-۷)

ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی و مقایسه آن با زهکشی سنتی (جزر و مدی) در نخیلات آبادان

عبد علی ناصری[۱] و علی ارواحی[۲*]

[۱]دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهیدچمران اهواز و [۲]دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، بررسی و ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی با به کار گیری چهار نمونه از پوشش های زهکش های زیرزمینی شامل پوشش شن و ماسه موجود در منطقه، پوشش شن و ماسه استاندارد شده، پوشش مصنوعی پلی پروپیلین با شاخص منافذ ۷۰۰ و پوشش مصنوعی پلی پروپیلین با شاخص منافذ ۴۵۰ میکرون و مقایسه با زهکشی سنتی بر پایه پدیده جزر و مد در نخیلات آبادان بوده است. تعداد ۱۶ لاترال (زهکش زیرزمینی) در مزرعه ای به وسعت ۱۲ هکتار از جنوبی ترین اراضی طرح آبیاری و زهکشی نخیلات آبادان در سال ۱۳۸۳ اجرا و نصب گردید. تعداد چهار خط زهکش زیرزمینی با هر یک از این پوشش ها، اجرا شده و پیزومترهای لازم برای اندازه گیری مقاومت هیدرولیکی، منحنی سطح ایستابی و سایر پارامترهای مورد نیاز روی زهکش ها و در بین دو خط زهکش در فواصل ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۷۵ در طول لاترال نصب گردید و در آنها بررسی های زیر انجام گردید: الف- بررسی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی بر نوسانات سطح ایستابی، شوری خاک و کنترل سطح ایستابی و ب- بررسی پارامترهای طراحی سیستم زهکش زیرزمینی. در ارزیابی های مختلف، گزینه هایی که عملکرد بالاتری نسبت به زهکشی سنتی در کنترل سطح ایستابی و شوری نشان دادند، به ترتیب اولویت عبارت بودند از: اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی با به کارگیری فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰ و اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی با به کارگیری فیلتر شن و ماسه استاندارد.

واژه های کلیدی: پوشش مصنوعی، پلی پروپیلین، زهکشی زیرزمینی، زهکشی جزر و مدی.

مقدمه

توسعه روز افزون و الزام به آبیاری در صد سال اخیر سبب شده است که مقادیر متنابهی از آب به طرق مختلف هدر رفته و به آب زیرزمینی بپیوندد و نتیجهٔ آن نیز در اکثر موارد ماندابی شدن اراضی و یا شور شدن خاک بوده است (Baybordi, 1993). بهره‌برداری مجدد از خاک هایی که مورد استفاده ممتد و آبیاری مداوم قرار داشته و بخصوص مناطقی که خاک شور و سدیمی دارند، مستلزم اعمال روش‌های مناسب زهکشی و اصلاح اراضی خواهد بود. در شرایط آبیاری با آب شور و یا در اراضی ساحلی که تحت تأثیر جذر و مد دریا قرار دارند، این مسئله اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Alizadeh, 1995). وزارت کشاورزی با عنایت به بررسی‌های انجام شده در سال ۱۳۴۷ توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد مساحت اراضی شور در ایران را ۲۳/۵ میلیون هکتار می‌داند که معادل ۱۴/۲ درصد سطح کل کشور و معادل ۳۰ درصد اراضی دشت‌ها و فلات‌های کم ارتفاع کشور است. وزارت کشاورزی از این میزان ۷/۷ میلیون هکتار را آماده اجرای عملیات بهسازی می‌داند و معتقد است که ۸/۲ میلیون هکتار آن را خاک‌های باتلاقی شور تشکیل می‌دهد که اصلاح آن نیاز به بررسی‌های بیشتر دارد و اصولاً ۷/۶ میلیون هکتار دیگر آن را غیر قابل اصلاح می‌داند. گرچه این آمار بسیار قدیمی است ولی آمار جدیدتری از منابع داخل در دست نیست (Akram, 2002). اجرای سیستم‌های زهکشی زیرزمینی مدرن در دهه ۱۳۷۰ و طی سال‌های اخیر در اراضی واحدهای هفت گانه طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی و همچنین کشت و صنعت میان آب که جمعاً وسعتی در حدود ۹۰۰۰۰ هکتار را تشکیل می‌دهند، فرصت مناسبی را برای تجربه اندوزی در طراحی و اجرای سیستم‌های زهکشی زیرزمینی برای مشاورین، کارفرمایان، پیمانکاران و سایر علاقمندان این رشته فراهم آورد. استفاده از سیستم زهکش‌های کلکتور لوله‌ای توأم با ایستگاه‌های پمپاژ زهکشی نیز خود تجربه جدیدی در شرایط ایران می‌باشد. در هر حال، سطح زیر پوشش شبکه‌های مدرن آبیاری در ایران حدود ۱/۲ میلیون هکتار و سطح تحت پوشش سیستم زهکشی مدرن کمتر از ۱۵۰۰۰۰ هکتار می‌باشد. مقایسه این دو رقم نشان دهنده این واقعیت است که در زمینه مطالعات طراحی طرح‌های زهکشی زیرزمینی و شناخت و

* پست الکترونیک مکاتبه کننده: ali_arvahi@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

بررسی مشکلات اجرایی و به ویژه مسائل بهره‌برداری و عملکرد آنها هنوز در آغاز راه قرار داریم (Madah, 2002). بهترین راه برای فائق آمدن به این مشکلات، احداث مزارع آزمایشی و یا ارزیابی طرح‌های مناطق مشابه است. این کار سالهای سال است که در کشورهای پیشرفته انجام می‌شود و راهنمای بسیار خوبی برای رفع کاستی‌ها و اشتباهات گذشته است. حتی در کشورهایی نظیر هند، پاکستان و مصر نیز ارزیابی طرح‌های زهکشی به عنوان یک اصل پذیرفته شده و به طور پیوسته اصلاحاتی در طراحی زهکشی انجام می‌شود (Akram, 2002). بنابراین با ارزیابی عملکرد زهکش‌های اجرا شده و بررسی نقاط ضعف و قوت آنها، می‌توان با نگاهی جامع‌تر طرح‌های آینده را در اختیار برنامه‌ریزان قرار داد. به طور کلی در ایران برنامه‌های زهکشی بیشتر به دلیل اصلاح اراضی و یا کنترل مقدار املاح در خاک است و زهکشی به منظور خارج کردن آب اضافی از خاک، جز در مناطق مردابی و زهدار، مورد نیاز مبرم نیست (Baybordi, 1993).

به طور کلی سیستم‌های زهکشی در مزرعه دو نوع و یا ترکیبی از آنها می‌باشند: الف- زهکشی سطحی که برای خارج کردن آب‌های سطحی در مزرعه طراحی می‌شوند و ب- زهکشی عمقی یا زیرزمینی که برای تخلیه یا کنترل آب تحت الارضی و یا خارج کردن و کنترل نمک که در این صورت از آب به عنوان منتقل کننده نمک استفاده می‌گردد (U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1984). اصولاً سیستم‌های زهکشی زیرزمینی به منظورهای زیر احداث می‌گردد: الف – بهسازی اراضی زراعی، ب – جلوگیری از شور شدن اراضی، ج – پایین آوردن سطح آب زیرزمینی و زدودن املاح جمع شده در خاک (Iranian National Committee on Irrigation and Drainage, 1998).

ارزیابی عملکرد زهکش های اجرا شده در اراضی تحت توسعه نیشکر، بخصوص در منطقه جنوبی خوزستان، نشان می دهد که عمق کارگذاری زهکش ها را می توان کاهش داد و در نتیجه با مسائل بهره برداری و تخلیه بی مورد آب های زیرزمینی که در پایین دست باعث بروز مسائل زیست محیطی می شوند، کمتر مواجه شد (Mansouri, 2005). نتایج آزمایش ها در خصوص اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی با به کارگیری پوشش شن و ماسه در اراضی طرح توسعه نیشکر نشان داده است که فیلتر شن و ماسه از عملکرد مناسبی برخوردار می باشد (Parto Aazam, 2001). در مصر، کاهش عمق نصب زهکش ها و کاربرد فیلترهای مصنوعی باعث کاهش هزینه ها و افزایش عملکرد محصول به میزان ۱۰ تا ۱۵ درصد نسبت به حالت های استاندارد شده است (Drainage Research Institute (DRI), 2001).

در این راستا در گام نخست، تحقیقاتی در خصوص ارزیابی فنی و اقتصادی کاربرد فیلترهای مصنوعی و معدنی در سیستم زهکشی زیرزمینی انجام پذیرفت. فیلترهای به کار رفته در آن تحقیق شامل دو نوع فیلتر معدنی (۱- فیلتر شن و ماسه موجود در منطقه و ۲- فیلتر شن و ماسه استاندارد) و دو نوع فیلتر مصنوعی (۱- فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰ و ۲- فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰) میباشد. نتایج این تحقیق نشان داد که کاربرد فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰ و پس از آن فیلتر شن و ماسه استاندارد به ترتیب دارای بالاترین راندمان و قابل توصیه فنی و اقتصادی در سیستم زهکشی زیرزمینی نخیلات آبادان می باشد. از سوی دیگر، دو گزینه فیلتر شن و ماسه موجود در منطقه و فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰ دارای عملکردی ضعیف و غیر قابل توصیه ارزیابی شدند(Arvahi, 2005 ; Arvahi and Naseri, 2007). حال با توجه به سیستم زهکشی موجود در این اراضی که به صورت سنتی (جزر و مدی) میباشد و با توجه به لزوم تغییر سیستم زهکشی این اراضی به سبب تغییرات به وجود آمده در شبکه آبرسانی، ضرورت ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی با به کارگیری فیلترهای مذکور و مقایسه آن با شرایط موجود و عملکرد سیستم زهکشی جزر و مدی به وجود آمد. این تحقیق در مزرعه آزمایشی زهکشی شبکه آبیاری و زهکشی آبادان و خرمشهر در سال ۱۳۸۳ با اهداف زیر انجام گرفت: ۱- بررسی عملکرد سیستم‌های زهکشی زیرزمینی کم عمق (کمتر از ۱/۵ متر) بر نوسانات سطح ایستابی و شوری خاک در نخیلات آبادان و ۲- بررسی پارامترهای طراحی سیستم زهکش‌های زیرزمینی.

مواد و روش ها

آب شرب شهرهای آبادان و خرمشهر، آب مورد نیاز نخیلات موجود و همچنین آب مورد نیاز واحدهای صنعتی منطقه از طریق رودخانه های اروند و یا بهمنشیر تأمین می شود. اکولوژی این رودخانه در اثر کاهش دبی، ورود پساب های کشاورزی و صنعتی از بالادست و برگشت آب شور از پایین دست با مشکل جدی روبرو شده است.

۱- وضع موجود آبیاری و زهکشی

آبیاری نخیلات در شرایط موجود از طریق انهار اصلی منشعب از اروندرود به دو روش صورت میگیرد. روش اول غرقاب شدن اراضی در هنگام مد میباشد که بیشتر در اراضی پست مشاهده میشود و روش دیگر، آبیاری از طریق انهار فرعی

Archive of SID

www.SID.ir

منشعب از انهار اصلی است. زهکشی نخیلات آبادان و خرمشهر از طریق انهار جزر و مدی و در طی دوره جزر صورت میگیرد. در اراضی که رقوم زمین پایین تر از مد است و آبیاری به روش غرقابی صورت می گیرد، زهکشی غالباً وظیفه تخلیه آب سطح زمین را انجام میدهد ولی در مواردی که آبیاری به روش نشتی و از طریق نهرهای فرعی بین نخیلات صورت میگیرد، تا اندازه ای زهکشی بهتری انجام میشود و معمولاً در این مناطق عملکرد نخیلات بهتر است.

با احداث شبکه آبیاری ضرورت دارد که شبکه زهکشی آنها مورد توجه جدی قرار گیرد. چون در نظر است عملیات آبیاری از حالت سنتی آن، یعنی جزر و مدی، خارج شده و به یک روش غرقابی کنترل شده (سطحی) تغییر یابد به ناچار آب بیشتری به پروفیل خاک منتقل شده و با توجه به کم عمق بودن لایه محدودکننده در این اراضی، تمهیداتی باید قائل شد تا آب مازاد بر نیاز آبی گیاه و نیاز آبشویی، از پروفیل خاک خارج گردد.

۲- منابع خاک و لایه بندی آن

توپوگرافی اراضی جزیره آبادان دارای تغییرات زیادی نمیباشد. متوسط شیب طولی اراضی جزیره آبادان به سمت دریا تقریباً در حدود یک سانتی متر در هر کیلومتر است که به نظر می رسد کمی بیشتر از شیب طولی رودخانه اروند باشد. در ضمن شوری بسیار شدید آب های زیر زمینی منطقه در حدود ۵۰ تا۱۰۰ دسی زیمنس برمتر و یا بیشتر درپاره ای از مناطق مشاهده شده است.

لایه بندی پروفیل خاک به این ترتیب است که تا عمق ۱/۱ متری خاک ها به طور طبیعی دارای وضعیت زهکشی مناسبی هستند. زیر عمق ۱۵۰ تا ۱۶۰ سانتی متری که نزدیک به متوسط عمق آب دریاست خاک دارای بافت خیلی سنگین و ساختمان فشرده بوده و نفوذپذیری این لایه از خاک بسیار کم می باشد، بنابراین عمق ۱۵۰ سانتی متری به عنوان لایه محدود کننده در نظر گرفته شده است. بین لایه خاک فوقانی و لایه تحتانی لایه ای وجود دارد که دارای خلل و فرج ریز و خیلی ریز بوده و کمی ریشه های نازک در این عمق گسترش دارند.

به منظور اندازه گیری هدایت هیدرولیکی خاک از روش چاهک ارنست استفاده شده است. نتایج نشان می دهند که لایه سطحی تا عمق یک متری از سطح زمین دارای هدایت هیدرولیکی در حدود ۰/۷۵ متر در روز بوده ولی در عمق بین ۱ تا ۱/۵ متری سطح زمین این مقدار به کمتر از ۰/۲۵ متر در روز تنزل کرده و در عمق بیش از ۱/۵ متری هدایت هیدرولیکی خاک تا حدود ۰/۰۵ متر در روز تنزل می کند. در نتیجه هدایت هیدرولیکی بر اساس میانگین هندسی در کل پروفیل خاک معادل ۰/۱۸۳ متر در روز برآورد گردیده است.

۳- محل اجرای تحقیق

این تحقیق در مزرعه آزمایشی به مساحت تقریبی ۱۲ هکتار در واحد KQ8 ، یکی از ۲۲ واحد شبکه آبیاری و زهکشی آبادان و خرمشهر، به اجرا درآمد. موقعیت جغرافیایی این مزرعه عبارت از ۳۰ درجه و ۱ دقیقه و ۵۰ ثانیه عرض جغرافیایی و ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵ ثانیه طول جغرافیایی می باشد. در ضمن آرایش سیستم زهکشی در مزرعه آزمایشی مطابق شکل (۱) است. در این مزرعه تعداد ۱۶ لاترال زیرزمینی با به کارگیری چهار نوع پوشش از قبیل پوشش شن و ماسه منطقه، پوشش شن و ماسه استاندارد، پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰ و پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰ میکرون اجرا و نصب گردیده است. انتخاب پوشش های مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰ و ۴۵۰ میکرون متر، با توجه به تجارب آزمایشگاهی به دست آمده در طرح زهکشی توسعه نیشکر می باشد. در تعیین فیلتر استاندارد از جنس شن و ماسه معیارهای مختلفی وجود دارند که معروفترین آنها روشهای United States Bureau of Reclamation (USBR) و Soil Conservation Service (SCS) می باشد. محدوده دانه بندی مورد نیاز مصالح سنگی فیلتر توسط روش پیشنهادی USBR عموماً درشت تر از روش پیشنهادی SCS می باشد.

در این اراضی با توجه به منحنی دانه بندی شاخص خاک منطقه، محدودهٔ دانه بندی فیلتر مناسب به روش USBR و SCS ، در محدوده ای واقع بین حد بالای SCS و حد پایین USBR می باشد و به عنوان فیلتر استاندارد شن و ماسه معرفی میشود. از سوی دیگر، با توجه به کمبود معادن شن و ماسه در منطقه و هزینه حمل شن و ماسه مناسب از معدن تا محل پروژه، تصمیم بر این شد تا از پوشش شن و ماسه موجود در منطقه که دارای کیفیت چندان مناسبی نبوده و حُسن عمده آن در کاهش هزینه ها است، استفاده گردد.

لاترال های R31,R-32,R-33,R-34 توسط پوشش شن و ماسه منطقه، لاترال های R-35,R-36,R-37,R-38 توسط پوشش شن و ماسه استاندارد، لاترال های L-30,L-31,L-32 L-29 توسط پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰ و لاترال های L-33,L-34,L-35,L-36 توسط پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰، اجرا و نصب گردیده اند.

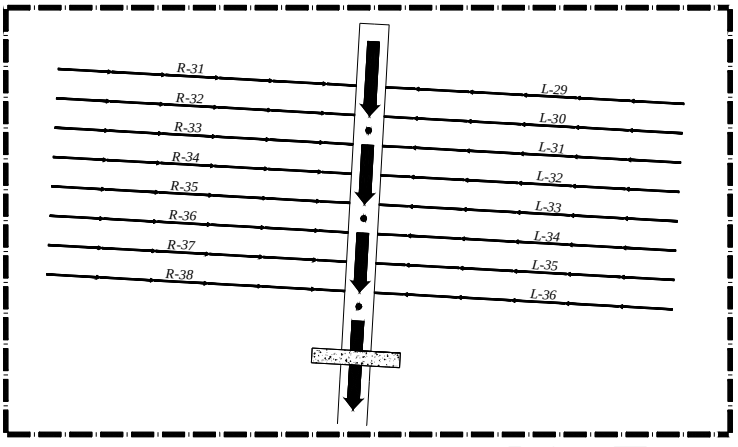
۴- مبانی طراحی زهکش های زیرزمینی

میزان ضریب زهکشی با احتساب ترکیب کشت نخیلات و کشت میانکار بین ۴/۴ تا ۴/۶ میلی متر در روز میباشد. بنابراین ضریب زهکشی روش های همگام (Steady State) حدوداً ۴/۵ میلیمتر در روز است. از طرف دیگر کاهش عمق زهکش ها و

Archive of SID

www.SID.ir

نصب زهکش ها روی لایه محدود کننده می تواند از شدت تخلیه آبهای زیرزمینی که مقدار آن ۱/۵ میلیمتر در روز است، بکاهد. به عبارت دیگر ضریب زهکشی به حدود ۳ میلیمتر در روز کاهش یافت.



شکل ۱- نقشه شماتیک مزرعه آزمایشی زهکشی KQ8

جدول ۱- خلاصه نتایج فاصله زهکشها به روشهای هوخهات، کرکهام و گلوور- دام

روش		عمق نصب زهکش به سانتی متر			
		H=۱۲۰	H=۱۳۰	H=۱۴۰	H=۱۵۰
هوخهات	خاک مطبق	۲۲	۲۴	۲۶	۲۹
	خاک همگن	۲۸	۳۱	۳۵	۳۷
گلوور- دام		۲۶	۳۰	۳۳	۳۵
McWhorter		۲۹	۳۳	۳۷	۴۱

عمق کنترل سطح ایستایی در طراحی شبکه زهکشی به دو عامل اصلی بستگی دارد: ۱- عمق ریشه گیاهان تحت کشت، ۲- عمق بحرانی جهت جلوگیری از صعود جریان کاپیلاریته در خاک. لذا در تعیین عمق کنترل سطح ایستایی به نیازهای ریشه نخل و کشتهای میانکار توجه شده و در نهایت عمق کنترل سطح ایستایی معادل ۰/۸ متر از سطح خاک در نظر گرفته شده است و عمق نصب زهکشهای زیر زمینی بر اساس عمق ریشه نخل (معادل ۰/۸ متر) و عمق لایه محدودکننده معادل ۱/۵ متر از سطح زمین و با در نظر گرفتن حداقل بار آبی مورد نیاز جهت تخلیه زه آب، عمق نصب زهکش های زیرزمینی بین ۱/۵-۱/۲ متر از سطح زمین درنظر گرفته شده است.

فاصله زهکش ها با در نظر گرفتن معادلات جریان همگام و غیر همگام (جدول ۱)، معادل ۳۰ متر برآورد گردید، لازم به یادآوری است که این فاصله نیز با توصیه Smedema و Cavelaars کارشناسان بین المللی زهکشی در گزارش خود تحت عنوان طرح زهکشی اراضی جزیره آبادان مطابقت دارد (Consulting Engineers Anhar Jonoub, 2005).

دبی عبوری از زهکش های زیرزمینی با فرض اینکه ابتدای زهکش به اندازه نصف فاصله زهکش ها از مرز زمین فاصله دارد، از رابطه (۱) به دست می آید. دبی طراحی زهکش ها در شرایطی که خاک منطقه پایدار و از لوله های پلاستیکی استفاده شود، با توجه به ۲۵ درصد ضریب رسوبگذاری به دست می آید (Alizadeh, 1995):

$$Q = \frac{q \times S \times \left(L + \frac{S}{2}\right)}{1000 \times 3600 \times 24} \qquad (۱)$$

در رابطه بالا، Q دبی زهکش (مترمکعب بر ثانیه)، S فاصله زهکش ها (متر) و q ضریب زهکشی است. قطر زهکش ها نیز با فرض شرایط جریان غیر یکنواخت با استفاده از روابط (۲)، (۳) و (۴) محاسبه می گردد که Q_d دبی طراحی، d قطر داخلی لوله موجدار بر حسب متر، n ضریب زبری مانینگ وi شیب طولی لوله های زهکشی است. با توجه به روابط ذکر شده، قطر زهکش ها (D) معادل ۷۰ میلی متر به دست می آید که جهت جلوگیری از گرفتگی احتمالی و بسته به روش کارگذاری لوله‌های زهکشی با حفر و یا بدون حفر ترانشه، حداقل قطر لوله‌های زهکشی به ترتیب معادل ۸۰ یا ۱۰۰ میلی‌متر منظور

Archive of SID
www.SID.ir

می‌گردد.

$$n = 0.015 + 0.02d - 0.013d^2 \quad (۲)$$

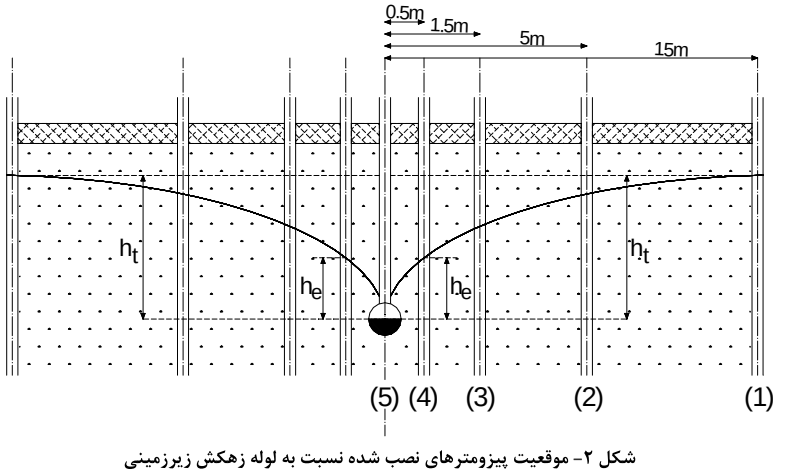
$$K_m = \frac{0.54}{n} \quad (۳)$$

$$D = \left[\frac{Q_{design}}{K_m \times i^{0.5}}\right]^{\frac{1}{2.67}} \quad (۴)$$

۵- لوله‌های پیزومتر

لوله‌های پیزومتر از نوع لوله پولیکا با قطر سه اینچ و طول ۱/۵ متر انتخاب شد. در قسمت انتهایی لوله‌ها برش هایی به طور موازی و به فواصل چهار سانتی متر ایجاد شد. پیزومترها به منظور تعیین شاخص های عملکرد زهکش های زیرزمینی، مقایسه پوشش های مختلف و بررسی نوسانات سطح آب قبل و پس از آبیاری و آبشویی به کار رفته اند.

طرح های پیشنهاد شده برای آرایش مزرعه آزمایشی این گونه است که ردیف های مخصوص چاهک های مشاهداتی در فواصل ۰/۲۵ و ۰/۵ و ۰/۷۵ از طول زهکش قرار می گیرند و محل قرارگیری چاهک های مشاهداتی: ۱) وسط فاصله بین زهکش ها، ۲) در فاصله ۵ متری از زهکش، ۳) در فاصله ۱/۵ متری از زهکش، ۴) در فاصله ۰/۴ تا ۰/۵ متری از زهکش و ۵) دقیقاً در بالای زهکش، میباشد (Dieleman and Trafford, 1976). در این تحقیق، الگوی فوق مطابق شکل (۲) مورد استفاده قرار گرفت و به طور کلی در این مزرعه تعداد ۱۸۴ پیزومتر نصب گردید.



شکل ۲- موقعیت پیزومترهای نصب شده نسبت به لوله زهکش زیرزمینی

نتایج و بحث

با توجه به اینکه اطلاعات به طور روزانه و هر روز در سه زمان برداشت گردیده، ضرورت داشت تا اختلاف و تغییر اطلاعات بین سه زمان بررسی شود. پس از بررسی، با توجه به اینکه اختلاف

۶- جمع آوری اطلاعات

به منظور اندازه‌گیری نوسانات سطح ایستابی پس از نصب و تجهیز پیزومترها، فراهم آمدن امکان قرائت سطح ایستابی و توقف پروسه آبشویی، نوسانات سطح ایستابی به طور روزانه از تاریخ ۱۳۸۴/۱/۲۵ لغایت ۱۳۸۴/۲/۸ و روزانه سه مرتبه در ساعات ۷ صبح، ۱۱ صبح و ۱۵ عصر، قرائت و ثبت گردیده اند. جهت قرائت پیزومترها و تعیین عمق سطح ایستابی نسبت به سطح زمین، از فلوتر استفاده شد. همچنین به منظور تعیین خصوصیات کمی و کیفی آب خروجی زهکش‌ها و آب آبیاری در مدت زمانی که پروسه آبشویی در حال انجام بود، از تاریخ ۱۳۸۴/۱/۱۹ لغایت ۱۳۸۴/۱/۲۵ و در ساعت ۱۱ صبح، اندازه گیری شوری آب آبیاری توسط دستگاه EC متر صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش‌ها از روش حجمی استفاده شد. در زمان اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش‌ها، از آب آنها برای به دست آوردن مقدار EC، نمونه‌برداری به عمل آمد میزان EC زه آب خروجی از تاریخ ۱۳۸۴/۱/۱۹ لغایت ۱۳۸۴/۲/۸ به صورت روزانه در ساعت ۱۱ صبح اندازه گیری شد. در نهایت، به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه در ۱۰ نقطه از مزرعه آزمایشی، نمونه های دست نخورده در سه عمق مختلف (۳۰-۰)، (۶۰-۳۰) و (۹۰-۶۰) سانتی متر توسط اُگر برداشت گردید. این نمونه ها در طول تحقیق دو بار جمع آوری شده است که زمان اول، قبل از انجام آبشویی بوده و زمان دوم، پس از گذشت چند روز از توقف آبشویی می‌باشد.

معنی دار و قابل توجهی بین سه زمان فوق مشاهده نگردید، تصمیم گرفته شد که اطلاعات برداشت شده در ساعت ۱۱ صبح، مبنای محاسبات و تحلیل اطلاعات باشد. سپس، آن دسته از لاترال های زیرزمینی که در حاشیه مرزهای مزرعه و لاترال هایی که منحنی آنها متأثر از به کار بردن دو نوع پوشش مختلف

Archive of SID
www.SID.ir

در زهکش ها بود، به منظور کاهش خطا از گردونه محاسبات کنار گذاشته شدند. در نهایت، آخرین گام، ترسیم منحنی های نوسانات سطح ایستابی برای لاترال های باقیمانده بود. پس از بررسی منحنی های فوق، به عنوان شاخص برای هر یک از پوشش های به کار رفته، یک لاترال که دارای بهترین شرایط هیدرولیکی در میان سایر لاترال های همدسته بود، انتخاب گردید که عبارتند از، لاترال R-33 (پوشش شن و ماسه منطقه)، R-36 (پوشش شن و ماسه استاندارد)، L-30 (پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰) و L-34 (پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰). ضروری است که اطلاعات بدست آمده در این بخش حول دو محور اساسی زیر به طور جداگانه بررسی شوند. این دو محور عبارتند از : ۱- ارزیابی و بررسی عملکرد زهکش‌های زیرزمینی و ۲- ارزیابی و بررسی پارامترهای طراحی.

همانگونه که ذکر شد، در فاز نخست این تحقیق به بررسی و ارزیابی فنی و اقتصادی فیلتراسیون زهکش های زیرزمینی در این اراضی پرداخته شد و در نتیجه، عملکرد دو فیلتر شن و ماسه موجود در منطقه و فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰ مردود و غیر قابل توصیه ارزیابی گردید (Arvahi, 2005 ; Arvahi and Naseri, 2007). در این تحقیق تنها به منظور تأئید مجدد نتایج به دست آمده در تحقیق اولیه و اطمینان کامل از آنها، به بررسی اطلاعات به دست آمده و مقایسه آنها با عملکرد سیستم زهکشی جزر و مدی خواهیم پرداخته خواهد شد.

۱- ارزیابی و بررسی عملکرد زهکش‌های زیرزمینی

هدف از زهکشی در نواحی خشک و نیمه خشک، کنترل شوری از طریق خارج کردن آب مازاد از پروفیل خاک و همچنین پایین آوردن سطح ایستابی است. لذا در این مطالعه، عملکرد زهکش‌های زیرزمینی از جنبه‌های زیر مورد بررسی قرار گرفت.

الف- کنترل سطح ایستابی

جهت ارزیابی عملکرد زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی می‌توان از شاخص Relative Ground Water Depth (RGWD) (عمق نسبی آب زیرزمینی) استفاده کرد که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$RGWD = \frac{\text{متوسط عمق سطح ایستابی در طول دوره بر حسب متر}}{\text{عمق مطلوب سطح ایستابی در طول دوره بر حسب متر}} \qquad (۵)$$

مقدار بهینه و مطلوب این شاخص برابر با یک است و این شاخص می‌تواند در محدوده ۰/۸ تا ۱/۲ قرار گیرد. که مقادیر زیاد آن نشان دهنده زهکشی بیش از حد (Over drainage) و مقادیر کمتر به معنی کمبود زهکشی (Under drainage) است.

مقادیر این شاخص، با در نظر گرفتن عمق مطلوب سطح ایستابی برای کشت نخیلات معادل ۰/۸ متر محاسبه و در جدول (۲) آمده است. چنان که از نتایج جدول (۲) مشخص است، زهکش‌هایی که در بخش فیلتر مصنوعی PP-450 قرار دارند، عملکرد خوبی را از خود نشان داده و زهکش های بخش فیلتر شن و ماسه استاندارد عملکرد متوسط و نسبتاً قابل قبولی را نشان داده اند، اما زهکشهایی که در دو بخش فیلترهای شن و ماسه منطقه و فیلتر مصنوعی PP-700 قرار گرفته اند، دارای عملکردی ضعیف و غیر قابل قبول در کنترل سطح ایستابی می باشند.

ب- مقایسه عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی و زهکشی سنتی

با توجه به اینکه نخیلات آبادان و اراضی این منطقه در گذشته به صورت جزر و مدی تحت آبیاری قرار می گرفت و این اراضی دارای سیستم زهکشی سنتی بر پایه همان پدیده جزر و مد میباشد، ضرورت مقایسه این دو گزینه از دو جنبه کنترل سطح ایستابی و شوری خاک را بوجود می آورد. به این منظور با توجه به اطلاعات بدست آمده از پیزومترهای واقع در مرزهای مزرعه، جهت ارزیابی عملکرد نسبی دو سیستم در خصوص وضعیت سطح ایستابی نسبت به دیگری، رابطه ای به صورت زیر تعریف شد که نتایج آن در جدول (۲) آمده است.

$$P = \frac{\text{متوسط نوسانات سطح ایستابی زهکش زیرزمینی بر حسب متر}}{\text{متوسط نوسانات سطح ایستابی زهکشی سنتی بر حسب متر}} \qquad (۶)$$

که P عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی نسبت به زهکشی سنتی (جزر و مدی) است. مقدار عددی P بیشتر یا کمتر از یک، نشان دهنده افزایش یا کاهش عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی نسبت به زهکشی جزر و مدی است. چنانکه از نتایج جدول (۲) مشخص است، زهکش‌هایی که در بخش فیلتر مصنوعی PP-450 قرار دارند، دارای بیشترین افزایش عملکرد نسبت به زهکش های سنتی می باشند. اما زهکش هایی که در بخش شن و ماسه منطقه قرار گرفتند، دارای عملکردی غیر قابل قبول نسبت به زهکش های سنتی در کنترل سطح ایستابی می باشند.

ج- خروج نمک از پروفیل خاک (ناحیه ریشه)

جهت ارزیابی سیستم زهکشی در کنترل نمک می‌توان شاخص نمک خروجی Salt Export Indicator (SEI) را به کار برد که به صورت رابطه زیر تعریف میشود:

$$SEI = ((E\overline{C}_i - E\overline{C}_d)/E\overline{C}_i) \qquad (۷)$$

که $E\overline{C}_i$ متوسط شوری آب آبیاری (نمک ورودی بر حسب دسی زیمنس بر متر) و $E\overline{C}_d$ شوری زه آب خروجی

Archive of SID

www.SID.ir

(نمک خروجی بر حسب دسی زیمنس بر متر) می باشد. این شاخص بایستی در طول اجرای سیستم و در طول سال کمتر یا مساوی صفر باشد (یعنی نمک خروجی بیشتر از نمک ورودی باشد). نتایج محاسبه شاخص SEI در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول (۲)، در هر چهار بخش، این شاخص در تمام دوره منفی بوده که نشان دهندهٔ خروج نمک از ناحیه ریشه می‌باشد. البته نکته قابل ذکر این است که دو بخش از زهکش های زیرزمینی که دارای پوشش شن و ماسه منطقه و پوشش مصنوعی PP-700 هستند، بالاترین ضریب SEI را دارند. با توجه به ارزیابی عملکرد این زهکش ها در قسمت قبل و پایین بودن عملکردشان، می توان نتیجه گرفت که قسمت قابل توجهی از نمک خروجی، متأثر از نمک موجود در آب زیرزمینی و خروج آن توسط لاترال بوده است. اما در خصوص دو بخش دیگر از سیستم زهکشی زیرزمینی شامل پوشش های شن و ماسه استاندارد و فیلتر مصنوعی PP-450 با توجه به عملکرد بالا و مطلوبشان در کنترل سطح ایستابی، می توان نتیجه گرفت که غالب نمک خروجی ناشی از شوری آب آبیاری و پروسه آبشویی می باشد.

جدول ۲- نتایج محاسبه شاخص های RGWD، P و SEI در مزرعه آزمایشی زهکشی

فیلتر	RGWD	P	SEI
شن و ماسه منطقه	۰/۵۴	۰/۹۴	-۷/۹۴
شن و ماسه استاندارد	۰/۷۳	۱/۳۱	-۴/۴۴
پلی پروپیلین ۷۰۰	۰/۶۵	۱/۲۶	-۷/۷۱
پلی پروپیلین ۴۵۰	۰/۹۳	۱/۳۳	-۴/۶۸

د- شوری خاک

یکی دیگر از اهداف زهکشی پایین نگه داشتن شوری خاک از طریق آبشویی است. شوری خاک قبل و پس از آبشویی در هر چهار بخش مزرعه در عمق های مختلف اندازه گیری شد (جدول ۳). در تمام بخش های مزرعه، به استثنای بخشی که شامل فیلتر شن و ماسه منطقه است، کاهش نسبی متوسط شوری در پروفیل خاک دیده میشود. ضمن اینکه در بخش شن و ماسه منطقه، بخصوص در عمق (۳۰-۰) سانتی متر، افزایش شوری را در خاک داریم که این به سبب عملکرد پایین زهکشی و صعود و تجمع نمک در اثر تبخیر سطحی به لایه فوقانی خاک می باشد. در بخشی که شامل پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰ می باشد هر چند که کاهش نسبی شوری دیده میشود، اما روند کاهش شوری رضایت بخش نبوده، که علت اصلی آن عملکرد نه چندان خوب سیستم زهکشی زیرزمینی می باشد.

در نمونه گیری های اولیه قبل از نصب سیستم زهکشی زیرزمینی، تحلیل نمونه های خاک حاکی از این بود که شوری خاک بین ۳۸ الی ۵۰ دسی زیمنس بر متر می باشد. اما با توجه به مقادیر به دست آمده در بخشی که دارای پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰ و پوشش شن و ماسه استاندارد می باشند، شوری خاک قبل از آبشویی بسیار پایین تر از نمونه برداری های اولیه است. این بدان خاطر است که در فاصله زمانی نصب زهکش ها تا آبشویی اولیه در این منطقه بارش نسبتاً زیادی رخ داده که با توجه به عملکرد خوب زهکشی در بخش های مذکور، باعث آبشویی ناخواسته و پیش از موعد گردیده است. این خود دلیل دیگری برای تأیید عملکرد سیستم زهکشی در دو بخش پوشش مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰ و پوشش شن و ماسه استاندارد می باشد.

جهت ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی در کنترل شوری خاک می‌توان از شاخص Relative EC (REC) استفاده نمود:

$$REC = \text{شوری بحرانی خاک} / \text{متوسط شوری خاک} \quad (۸)$$

مقدار بهینه این شاخص برابر با یک است. در اینجا شوری بحرانی برابر شوری آستانهٔ محصول در نظر گرفته می‌شود که در مورد خرما، ۴ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. در این مقدار، محصول دچار هیچ کاهشی در عملکرد نخواهد شد. شاخص REC برای تمام بخش های مزرعه محاسبه شد که نتایج آن در جدول (۴) آمده است. با بررسی جدول (۴)، به وضوح به شرایط بحرانی در این اراضی پی خواهیم برد و تنها در بخش فیلتر مصنوعی PP-450 شاهد مقدار نسبتاً کم خطری برای شاخص REC هستیم. در بخش پوشش شن و ماسه استاندارد، شاخص در حد متوسطی قرار دارد. البته در هر دو بخش ذکر شده نیاز به کاهش هر چه بیشتر شوری می باشد. با توجه به اینکه عملکرد و تأثیر اجرای سیستم های زهکشی بر تولید محصول به مدت یک تا پنج سال پس از احداث سیستم مشخص خواهد شد، نباید انتظار داشت تا به سرعت اثرات مطلوب زهکشی خود را نشان دهند. در بخش های پوشش شن و ماسه منطقه و پلی پروپیلین ۷۰۰، شاخص فوق نشان دهنده وضعیت بسیار بحرانی می باشد.

جدول ۳- مقادیر متوسط شوری (بر حسب دسی زیمنس بر متر) در پروفیل خاک (قبل و پس از آبشویی)

فیلتر	قبل از آبشویی			پس از آبشویی		
عمق نمونه برداری (cm)	(۳۰-۰)	(۶۰-۳۰)	(۹۰-۶۰)	(۳۰-۰)	(۶۰-۳۰)	(۹۰-۶۰)
شن و ماسه منطقه	۲۸/۶	۲۵/۱	۲۲/۷	۳۷/۷	۲۴/۳	۲۴/۳
شن و ماسه استاندارد	۲۰/۰	۱۲/۱۲	۱۱/۵	۱۴/۸۲	۸/۹۲	۱۰/۹۳
پلی پروپیلین ۷۰۰	۲۷/۴۵	۲۲/۵	۲۰/۹۶	۲۲/۶۵	۱۶/۷۵	۱۹/۶۵
پلی پروپیلین ۴۵۰	۷/۹۲	۹/۷۲	۱۰/۸۴	۷/۲۶	۶/۷۲	۸/۳

جدول ۴- نتایج شاخص REC در مزرعه آزمایشی (قبل و پس از آبشویی)

فیلتر	قبل از آبشویی	پس از آبشویی
شن و ماسه منطقه	۶/۳۵	۷/۲
شن و ماسه استاندارد	۳/۶۲	۲/۹
پلی پروپیلین ۷۰۰	۵/۹	۴/۹۲
پلی پروپیلین ۴۵۰	۲/۴	۱/۸۵

Archive of SID
www.SID.ir

۲- بررسی پارامترهای طراحی زهکش های زیرزمینی

طراحی سیستم زهکش‌های زیرزمینی در شرایط جریان ماندگار و غیر ماندگار صورت می‌گیرد. لذا در این مطالعه با استفاده از معادلات زهکشی در هر دو حالت فاکتورهای طراحی برآورد شده و با مقادیر مورد استفاده در طراحی مقایسه شدند. با توجه به عملکرد نامطلوب سیستم زهکشی در دو بخش زهکشی با پوشش شن و ماسه منطقه و پوشش پلی پروپیلین ۷۰۰، اصولاً نیازی به بررسی پارامترهای طراحی سیستم زهکشی نمی باشد و با توجه به عملکرد ضعیف زهکشی در این بخش ها لازم است تا پارامترهای طراحی تغییر یابند.

الف- شرایط جریان ماندگار

در این شرایط، عموماً از معادلهٔ هوخهات استفاده می‌شود که می‌توان به شکل زیر آن را بیان نمود:

$$q = Ah^2 + Bh \qquad (۹)$$

$$A = \frac{4k}{L^2} \qquad (۱۰)$$

$$B = \frac{8kd}{L^2} \qquad (۱۱)$$

در روابط فوق، q ضریب زهکشی (متر بر روز)، h بار سطح ایستابی در نقطه وسط بین دو زهکش (متر)، K هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)، d عمق معادل (متر) و L فاصلهٔ بین لوله‌های زهکش (متر) می باشد. با اندازه‌گیری دبی آب خروجی از زهکش (q) و بار سطح ایستابی در نقطه وسط بین دو زهکش (h) و رسم منحنی، می‌توان یک رابطهٔ درجهٔ دوم همانند رابطهٔ بالا برقرار نمود. آنگاه با معلوم بودن فاصلهٔ زهکش‌ها می‌توان پارامترهای هدایت هیدرولیکی و عمق معادل را برآورد نمود. نتایج محاسبات فوق در جدول (۵) ارائه شده است. بررسی جدول (۵) نشان می‌دهد که مقادیر هدایت هیدرولیکی و عمق معادل به دست آمده در مزرعه، در بخش های پوشش شن و ماسه استاندارد و فیلتر مصنوعی PP-450، اختلاف قابل توجهی را با پارامترهای طراحی سیستم زهکشی نشان نمی دهد و در مجموع پارامترهای طراحی خوب ارزیابی می شود.

ب- شرایط جریان غیر ماندگار

در حالتی که نوسانات سطح آب زیرزمینی در اثر تغذیه خیلی سریع باشد، کاربرد روابط جریان غیرماندگار توصیه شده و معادله گلوور – دام (معادله ۱۲) به کار می‌رود:

$$\alpha t = 2.3\log(h_{t_2}/h_{t_1}) \qquad (۱۲)$$

در رابطه فوق، α ضریب عکس‌العمل، h_{t1} و h_{t2} بار هیدرولیکی در زمان های t_1 و t_2 بر حسب متر و t مدت زمان مشاهده بر حسب روز است. از طرف دیگر می‌توان با محاسبهٔ α، آبدهی ویژه μ را از معادله (۱۳) به دست آورد:

$$\mu = \frac{\pi^2 kd}{\alpha L^2} \qquad (۱۳)$$

در هنگام طراحی زهکش‌های زیرزمینی، مقدار μ اغلب از رابطه تجربی (۱۵) محاسبه می‌شود، که در آن K هدایت هیدرولیکی بر حسب سانتیمتر در روز و μ بر حسب درصد به دست می آید. نتایج محاسبات α و μ در بخش های مختلف مزرعه در جدول (۵) آمده است. بررسی جدول (۵) نشان می‌دهد که مقادیر α و μ به دست آمده در مزرعه، در بخش های پوشش مصنوعی PP-450 و پوشش شن و ماسه استاندارد، اختلاف قابل توجهی را با پارامترهای طراحی نشان نمی دهند و در مجموع پارامترهای طراحی نسبتاً خوب ارزیابی می شوند.

$$\alpha = 2.3\times\left[\frac{(\log(h_2)-\log(h_1))}{(t_2-t_1)}\right] \qquad (۱۴)$$

$$\mu = k^{0.5} \qquad (۱۵)$$

جدول ۵- نتایج محاسبات هدایت هیدرولیکی، عمق معادل، ضریب عکس العمل و آبدهی ویژه در مزرعه آزمایشی زهکشی

پارامتر / فیلتر	K (m/day)	d (m)	α (1/day)	μ % معادله (۱۳)	μ % معادله (۱۵)
شن و ماسه استاندارد	۰/۲۳	۲/۷	۰/۰۶۱	۱۱	۴/۸
پلی پروپیلین ۴۵۰	۰/۷	۱/۹	۰/۰۸۵	۱۳	۸/۳
پارامتر های طراحی	۰/۲۵	۲/۲۸	۰/۰۹	۷	۷

۳- نتیجه گیری و پیشنهادها

ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی و مقایسه آن با زهکشی سنتی (جزر و مدی) نشان داد که گزینه های: ۱- اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی با پوشش فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۴۵۰ و ۲- اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی با پوشش فیلتر شن و ماسه استاندارد، به ترتیب دارای بهترین نتایج بوده و جایگزین مناسبی برای زهکشی سنتی (جزر و مدی) می‌باشند. اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی با به کار گیری پوشش های شن و ماسه منطقه و فیلتر مصنوعی پلی پروپیلین ۷۰۰ قابل توصیه نبوده و اجرای آنها در اراضی نخیلات آبادان پیشنهاد نمی شود. نتایج این تحقیق در مقایسه با تحقیقات مشابه توسط Parto Aazam (2001)، Mansouri (۲۰۰۵) و Drainage Research Institute (DRI)(۲۰۰۱)، نشان دهنده تایید کاربرد فیلتر مصنوعی و اهمیت نصب زهکش های زیرزمینی در عمق کم می باشد.

در انتها پیشنهاد می گردد تا عملیات ارزیابی به صورت

Archive of SID

www.SID.ir

سالانه و برای سه آبیاری و حداقل به مدت پنج سال تداوم داشته باشد تا بتوان به نتایج بهتر و قطعی تری دست یافت. علاوه بر آن، میزان تغییرات عملکرد محصولات زراعی نیز در این تحقیقات می بایست مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

از وزیر محترم نیرو، کارفرمای محترم این طرح (سازمان آب و برق خوزستان)، اعضای محترم کمیسیون کشاورزی مجلس شورای اسلامی به سبب بازدید از این طرح و تصویب اجرای آن در اراضی آبادان و خرمشهر، از هیئت مدیره محترم شرکت مهندسین مشاور انهار جنوب و همچنین از پیمانکار محترم این طرح (شرکت سد و عمران پارس گستر) کمال سپاس را داشته و قدردانی می نماییم.

REFERENCES

Akram, M. 2002. *Methods and Problems of Constructing Subsurface Drains at Cane Sugar Development Project in Iran*. Complex Articles about Studying the Problems of Research and Construction the Subsurface Drainage System in Iran, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Journal, No. 59. (In Farsi).

Alizadeh, A. 1995. *Land Drainage*. Planning and Design of Agricultural Drainage Systems. Ferdowsi University Press, Iran, 49-80. (In Farsi).

Arvahi, A., and Naseri, A. 2007. Technical & Economic Evaluation of Synthetic Envelopes Usage in Subsurface Drainage & Comparison with Gravel Envelopes in Date palm Gardens of Abadan. Iranian Journal of Agricultural Sciences, Vol. 38, No. 3, Pp: 373-384. (In Farsi).

Arvahi, A. 2005. Technical & Economic Evaluation of Synthetic Envelopes Usage in Subsurface Drainage & Comparison with Gravel Envelopes in Date palm Gardens of Abadan. M.S thesis, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (In Farsi).

Baybordi, M. 1993. *Principles of Land Drainage*. Tehran University Publications. (In Farsi).

Cavelaars, J.C., Vlotman, W.F., and Spoor, G. 1994. Subsurface Drainage Systems, Chapter 21. In : Ritzema, H.P. (Ed.). *Drainage Principles and Applications*. ILRI Publication 16, 2nd Ed. Wageningen, the Netherlands. pp. 827-930.

Consulting Engineers Anhar Jonoub. 2005. *Technical Reports of Constructing Subsurface Drainage System in Date Palm Gardens of Abadan*, Ministry of Energy Press, Iran, 20-80. (In Farsi).

Dieleman, P.J., and Trafford, B.D. 1976. *Drain Testing*. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 28, Food and Agricultural Organisation of the United Nations, Rome, Italy. 172 pp.

Drainage Research Institute (DRI). 2001. *Subsurface drainage research on design, technology & management*. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands.

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage. 1998. *The Concepts of Drainage, Water and Soil Salinity*. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Journal, No. 22. (In Farsi).

Madah, M. 2002. *Methods and Problems of Constructing Subsurface Drains at Cane Sugar Development Project in Iran*. Complex Articles about Studying the Problems of Research and Construction the Subsurface Drainage System in Iran, Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Journal, No. 59. (In Farsi).

Mansouri, F. 2005. Studying about Designing Parameters of Subsurface Drainage System at Cane Sugar Development Project. M.S thesis, Tehran University, Tehran, Iran. (In Farsi).

Parto Aazam, R. 2001. *Evaluate of Envelopes Usage in Subsurface Drainage System in Miyanab Land*. M.S thesis, Chamran University, Ahvaz, Iran. (In Farsi).

U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation. 1984. *Drainage manual*. United States Government Printing Office, Denver, Colorado.

Archive of SID

www.SID.ir