



بررسی عملکرد سه نوع پوشش معدنی، آلی و مصنوعی مورد استفاده در زهکشی زیرزمینی

محمدرضا یوری

دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
m_r_y_2006@yahoo.com

حسین شریفان

استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
h_sharifan47@yahoo.com

ابوطالب هزارجریبی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
aboh10@yahoo.com

چکیده

زیاد بودن زمین‌های زهدار و شور در تمام کشور، نیاز به زهکشی را در سطوح وسیعی آشکار ساخته و با استقبال عمده از سامانه‌های زهکشی زیرزمینی، تأمین مصالح مورد نیاز در اجرای آن‌ها از جمله اولویت اساسی به‌شمار می‌رود. یکی از عوامل مؤثر، انتخاب پوشش مناسب زهکشی است. یکی از معیارها برای انتخاب، آبدهی سیستم لوله و پوشش است که در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی شرایط طبیعی اراضی زهکشی شده و آبدگزی پوشش‌ها، از یک مدل فیزیکی که علاوه بر امکان تنظیم سطح ایستابی، می‌تواند بخشی از یک ترانسه زهکشی را شبیه‌سازی نماید نیز استفاده شد. سه نوع پوشش معدنی، آلی و مصنوعی که در کشور استفاده می‌شوند تهیه شده و با ایجاد یک ترانسه در اطراف لوله زهکش، پوشش موردنظر به‌کار برده شده و آزمایشات لازم صورت گرفت. در تمامی آزمایشات انجام گرفته دبی پوشش معدنی (شن و ماسه) نسبت به پوشش آلی (پوسته برنج) و مصنوعی (PP450) به مراتب در ترازهای مختلف سطح آب بیشتر بوده است و با این‌که پوسته برنج در مقایسه با شن و ماسه موجب کاهش دبی می‌شود اما با این حال می‌توان از آن به‌عنوان گزینه مناسبی برای پوشش زهکش زیرزمینی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: زهکش زیرزمینی، دبی، پوشش، شن و ماسه، پوسته برنج، PP450

مقدمه

امروزه به دلیل وسعت اراضی زهدار و شور در گستره کشور، نیاز به زهکشی در سطوحی وسیعی آشکار است و با استقبال عمده از سامانه‌های زهکشی زیرزمینی، تأمین مصالح مورد نیاز در اجرای آن‌ها از جمله اولویت اساسی به‌شمار می‌رود. زهکش زیرزمینی عبارتست از تخلیه یا کنترل آب تحت‌الارضی و یا خارج کردن و کنترل نمک که در این صورت از آب به‌عنوان منتقل‌کننده نمک استفاده می‌گردد.

یکی از عوامل مؤثر در طراحی سیستم‌های زهکشی، انتخاب پوشش^۱ مناسب زهکشی است. با عنایت به اهمیت پوشش در طرح‌های زهکشی اراضی، توجه به ملاحظات کلی طرح و جنبه‌های اقتصادی و فنی پروژه‌های زهکشی و تجارب بین‌المللی، از مهمترین جنبه‌های انتخاب نوع پوشش می‌باشد.

نتایج بررسی‌ها در کشور هلند حاکی از آن است که قریب ۸۰ درصد موارد شکست در طرح‌های زهکشی ناشی از وضعیت نامناسب پوشش مصرفی می‌باشد. در طرح‌های زهکشی کشور نیز مواردی از کارآمد نبودن سیستم زهکشی به دلیل انتخاب و کاربرد نامناسب پوشش زهکشی گزارش شده است (ادیمی، ۱۳۸۸).

پوشش زهکش یک ماده متخلخل است که در اطراف لوله‌های زهکشی قرار می‌گیرد و وظیفه دارد از ورود ذرات موجود در آب به لوله جلوگیری کرده و باعث تسهیل جریان آب به درون لوله زهکش از لحاظ هیدرولیکی شود (بی‌نام، ۱۳۸۴). با توجه به این گفته‌ها پوشش‌ها را می‌توان به سه دسته معدنی (شن درشت، سنگریزه ریز، سنگ‌های شکسته و ماسه)، آلی (پوشال کتان، الیاف نارگیل، پوسته برنج، تراشه‌های چوب و خاک اره، نی، چمن، برگ سرو و ...) و مصنوعی (فایبرگلاس، پشم شیشه، پشم کانی، مواد از قبل پیچانده‌ی شل (PLM)، ژئوتکتایل و ...) تقسیم کرد.

تثبیت خاک اطراف لوله زهکش برای ممانعت از ورود ذرات خاک به داخل لوله و تسهیل هیدرولیکی جریان ورودی، از وظایف اصلی یک پوشش محسوب می‌شود که نقش مهمی را در عملکرد بهینه یک سیستم زهکشی زیرزمینی ایفا می‌کند (ولاتمن^۲ و همکاران، ۲۰۰۰).

قسمت زیادی از هزینه اجرایی یک طرح را پوشش شن و ماسه شامل می‌شوند، چرا که در بسیاری از مناطق، فاصله منابع قرضه از محل پروژه زیاد بوده و مشکلات زیادی در تأمین آن به‌وجود می‌آورد. بنابراین ضرورت ایجاد می‌کند پوشش مناسب دیگری جایگزین شود تا معایب کمبود پوشش شن و ماسه برطرف گردد.

نتایج آزمایش‌ها در خصوص اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی با به‌کارگیری پوشش شن و ماسه در اراضی طرح توسعه نیشکر نشان داده است که پوشش شن و ماسه از عملکرد مناسبی برخوردار می‌باشد (پرتو اعظم و کشکولی، ۱۳۸۰).

مواد آلی معمولاً از محصولات کشاورزی به‌دست می‌آید و می‌توانند به‌عنوان پوشش زهکشی استفاده شوند. در شمال غرب اروپا، عمده‌ترین پوشش‌های آلی از تورب، کاه کتان و الیاف نارگیل ساخته می‌شود. مهم‌ترین محدودیت پوشش‌های آلی تجزیه شدن تدریجی آن‌هاست. ولی با استفاده از مواد آلی به‌جای پوشش‌های معدنی، هزینه سیستم زهکشی تا اندازه زیادی کاهش می‌یابد (ریمیدیس و دیریکس^۳، ۲۰۰۳).

یکی از انواع پوشش‌های آلی پوسته برنج می‌باشد. پوسته برنج به‌عنوان یکی از تولیدات جانبی کارخانه‌های شالیگری به مقدار فراوان در دسترس وجود دارد. با توجه به آمار منتشر شده توسط اداره کل آمار و اطلاعات وزارت کشاورزی تولید برنج

¹ Envelope

² Vlotman

³ Rimidis and Dierickx

ایران در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ بالغ بر ۲۷۰۰۰۰۰ تن بوده است که با احتساب ۲۰ درصد پوسته برنج میزان تولید این ماده قریب به نیم میلیون تن می‌باشد (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۲).

کابوسی و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که اگر چه دبی زهکش با پوسته برنج کمتر از پوشش معدنی است، اما به دلیل مشکلات هزینه بالای تهیه و حمل و نقل شن و ماسه استفاده از پوسته برنج قابل توصیه می‌باشد. پوشش مصنوعی در مناطقی که در آن تهیه شن و ماسه با مشکل مواجه است مورد توجه قرار گرفته است. ضعف این پوشش‌ها تغییر خلل و فرج آن‌ها در اثر فشار وارده از طرف خاک می‌باشد که این موضوع حائز اهمیت بوده و در انتخاب نوع پوشش بایستی مدنظر قرار گیرد (حسن اقلی، ۱۳۸۳).

کریمی و همکاران (۱۳۸۷)، به بررسی آزمایشگاهی عملکرد سه نوع پوشش مصنوعی زهکشی خارجی (PP900، PP700، PP450) در مقایسه با پوشش معدنی با استفاده از خاک پروژۀ زهکشی شمال خرمشهر و آب غیرشور و توسط مدل فیزیکی نفوذسنج پرداختند. در این آزمایش‌ها، تغییرات شدت جریان خروجی از مجموعه خاک-پوشش، هدایت هیدرولیکی، نسبت گرادیان و نسبت هدایت هیدرولیکی در هر چهار پوشش بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که شدت جریان خروجی از پوشش معدنی تقریباً دوبرابر شدت جریان خروجی از پوشش مصنوعی است و پوشش PP450 نسبت به دیگر پوشش‌های مصنوعی دارای عملکرد مناسب‌تری است.

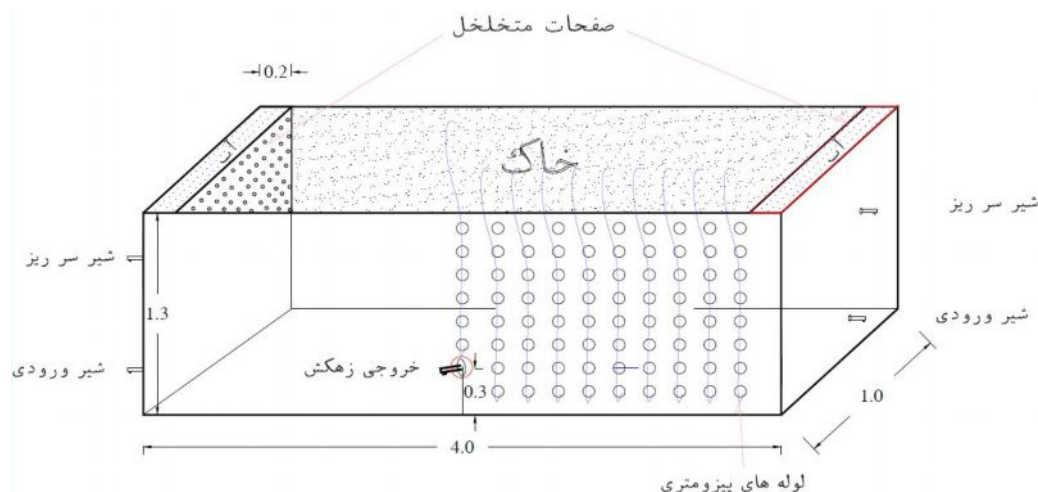
قانع (۱۳۸۵) نیز عملکرد دو نوع پوشش مصنوعی تهیه شده از الیاف پلی‌پروپیلن PP450 و PP700 را با پوشش معدنی در مخزن شن و ماسه مقایسه کرد. بر اساس نتایج این تحقیق، میانگین دبی خروجی پوشش معدنی حدود سه برابر دبی خروجی از پوشش‌های مصنوعی بود.

نتایج تحقیقات در نخیلات آبادان نشان داد که کاربرد پوشش مصنوعی PP450 و پس از آن پوشش شن و ماسه استاندارد به ترتیب دارای بالاترین راندمان و قابل توصیه فنی و اقتصادی در سیستم زهکشی زیرزمینی می‌باشد اما دو گزینه پوشش شن و ماسه موجود در منطقه و پوشش مصنوعی PP700 دارای عملکرد ضعیف و غیرقابل توصیه ارزیابی شدند (ناصری و ارواحی، ۱۳۸۶).

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی عملکرد پوشش‌های مختلف زهکش‌های زیرزمینی آزمایشاتی بر روی مدل فیزیکی در سه سطح ایستابی برای سه نوع پوشش و سه تکرار صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

هدف از انجام این تحقیق بررسی پوشش‌های مختلف به منظور پوشش زهکش‌های زیرزمینی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر می‌باشد. برای این منظور از مدل فیزیکی که شرایط یک ترانشه زهکشی را شبیه‌سازی می‌کند استفاده گردید. شکل (۱) نمای شماتیک مدل فیزیکی را نمایان می‌کند. بر روی مدل پیژومترهایی در اطراف لوله زهکش تعبیه شد تا بتوان میزان سطح آب در خاک نیز اندازه‌گیری شود. آزمایش‌ها در سه سطح ایستابی ۶۰، ۷۰، ۸۰ سانتی‌متری از مرکز لوله زهکش برای هر پوشش در سه تکرار صورت گرفت. در هر آزمایش بعد از اشباع‌سازی کامل خاک، میزان سطح آب در اطراف لوله با قرائت پیژومترها معلوم گردید. در هر آزمایش میزان دبی جریان زهکشی شده اندازه‌گیری شد.



شکل (۱): جزئیات ساختمان مدل فیزیکی

خاک مورد آزمایش از مزرعه شماره یک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان واقع در ۵ کیلومتری غرب شهر گرگان از منطقه شصت کلاته تهیه گردید. خاک را در سه لایه از منطقه برداشت کرده و با توجه به ترتیب خاکبرداری در مدل فیزیکی خاکریزی شد. آزمایش بافت و دانه بندی خاک انجام شد و جدول (۱) و شکل (۲) بیانگر اطلاعات آن می باشد.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک

pH	EC ($\mu\text{s}/\text{m}$)	SAR	پلاستیسیته PI	نوع بافت	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)
۷/۳۹	۳۶۷۰	۲/۲۷	۲۱	سیلتی رسی	۱۵	۴۹	۳۶

پوشش های مورد آزمایش شامل پوشش معدنی شن و ماسه، پوشش آلی پوسته برنج و پوشش مصنوعی PP450 می باشد. شن و ماسه: برای انتخاب پوشش معدنی از شرکت مهندسی آب و خاک استان گلستان راهنمایی گرفته شد و شن و ماسه منطقه را تهیه کردیم و با انجام آزمایش دانه بندی بر روی آن مشخص شد که در محدوده مجاز با توجه به معیار ترازقی می باشد. این معیارها عبارتند از:

- قطر ۱۵ درصد از ذرات مواد صافی (D_{15}) بایستی دست کم چهار برابر قطر ۱۵ درصد مواد خاک (d_{15}) باشد:

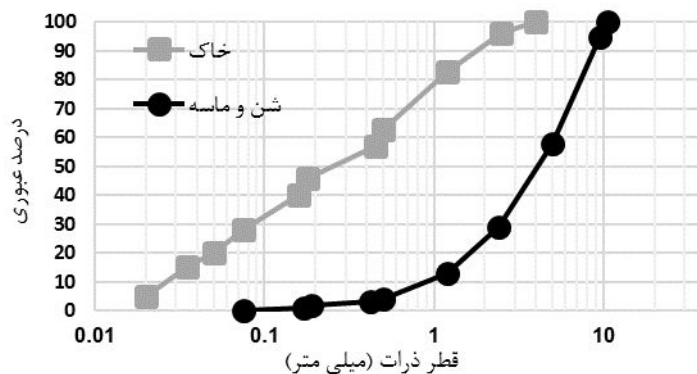
$$D_{15} \geq 4d_{15}$$

- قطر ۱۵ درصد از ذرات مواد صافی (D_{15}) نباید بیشتر از چهار برابر قطر ۸۵ درصد مواد خاک (d_{85}) باشد:

$$D_{15} \leq 4d_{85}$$

(جعفری تلوکلایی، ۱۳۹۲).

بر اساس منحنی دانه بندی پوشش شن و ماسه و خاک (شکل (۲)) در این تحقیق d_{15} حدود $0/035$ میلی متر به دست آمده لذا D_{15} بیشتر از $0/14$ باید باشد که در این دانه بندی حدود $1/4$ میلی متر به دست آمد و d_{85} برابر $1/25$ میلی متر می باشد که D_{15} کمتر از 5 میلی متر باید باشد. بنابراین با استفاده از این دو معیار، دانه بندی پوشش معدنی مشخص گردید.



شکل (۲): منحنی دانه‌بندی پوشش معدنی و خاک

پوسته برنج: علاوه بر پوشش معدنی، یک پوشش آلی نیز استفاده شد. انتخاب پوسته برنج به‌عنوان پوشش برای استفاده از مواد و مصالح بومی موجود در منطقه می‌باشد و این امر به‌خصوص در شرایطی که دیگر منابع پوشش در دسترس نباشند حائز اهمیت است. پوسته برنج تهیه شده از شالیکوبی‌های منطقه دارای خصوصیات فیزیکی مندرج در جدول (۲) بوده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، درصد تخلخل پوسته برنج بسیار بالاست که این به‌دلیل دوکی شکل بودن و نحوه آرایش آن می‌باشد.

جدول (۲): خصوصیات فیزیکی پوسته برنج

وزن مخصوص حقیقی (gr/cm^3)	وزن مخصوص ظاهری (gr/cm^3)	درصد جذب آب	تخلخل (درصد)	ضریب یکنواختی	ضریب انحناء
۰/۳۵	۰/۰۸	۴۱۳	۸۰	۲/۹	۱/۱۴

پلی‌پروپیلن ۴۵۰: پوشش دیگر استفاده شده از نوع مواد از قبل پیچانده سست (PLM) بوده؛ این پوشش از جنس پلی‌پروپیلن است که از رشته نخ‌های به‌هم پیوسته و حجیم ساخته شده است. این رشته‌ها ضایعات تولید فرش‌های بافته شده از الیاف پلی‌پروپیلن هستند (شکل (۳)). با توجه به استانداردهای بین‌المللی موجود، این نوع پوشش معیارهای نگهداری ذرات خاک و جلوگیری از انسداد معدنی را برای نمونه خاک استفاده شده با توجه به منحنی دانه‌بندی آن برآورده می‌کند. عدد ۴۵۰ بیانگر اندازه منافذ پوشش است که به اندازه ۴۵۰ میکرون می‌باشد.

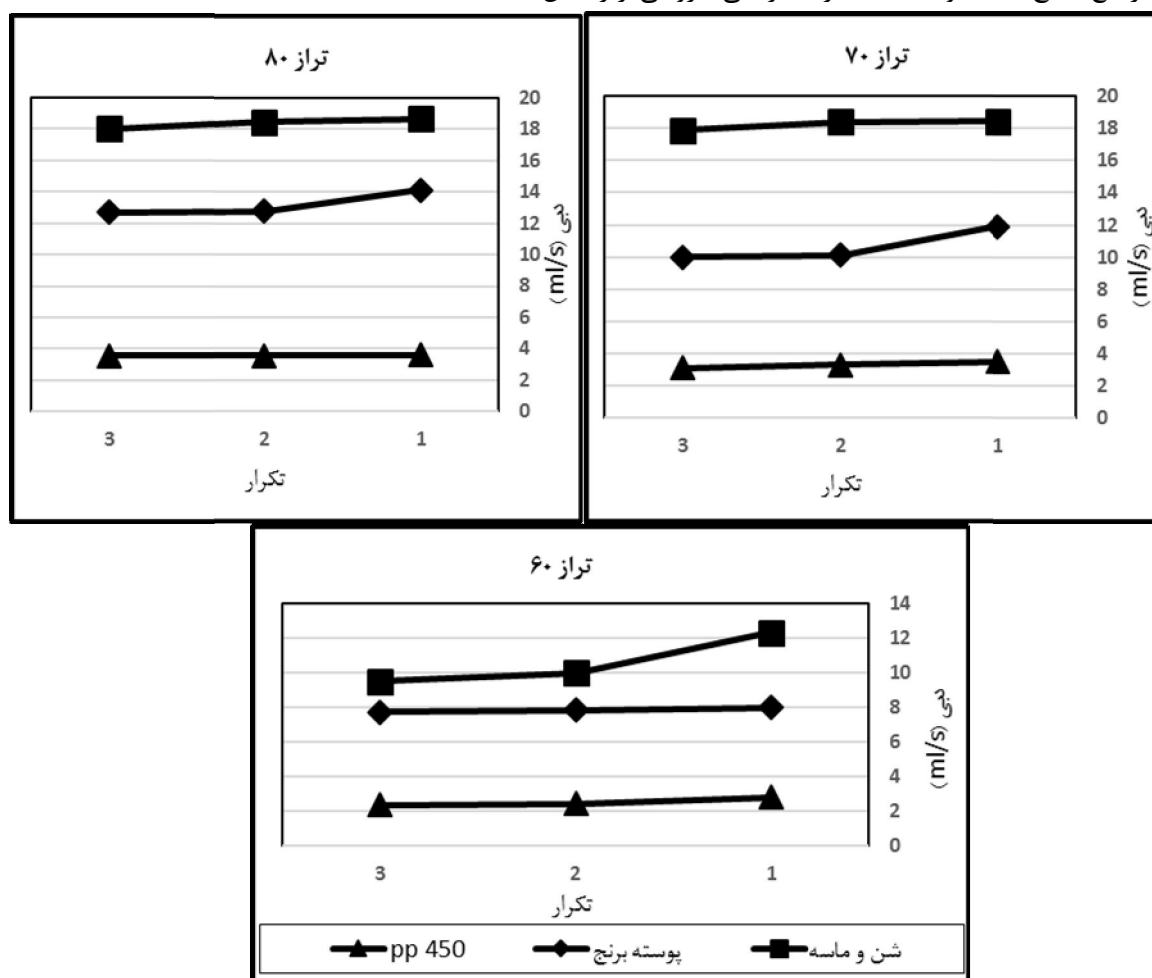
نتایج و بحث

با توجه به اندازه‌گیری دبی برای هر نوع پوشش در سه تراز سطح ایستایی، ضرورت داشت که هر کدام از پوشش‌ها به‌طور جداگانه در ترازهای مختلف و همچنین پوشش‌ها در یک تراز ثابت مورد ارزیابی قرار گیرند.

دبی خروجی از زهکش در سه سطح ۸۰، ۷۰ و ۶۰ سانتی‌متری برای سه نوع پوشش شن و ماسه، پوسته برنج و PP450 در شکل (۳) ارائه شده است. همان‌طور که نمودارها نشان می‌دهند میزان آبدهی خروجی شن و ماسه از دو نوع دیگر پوشش بیشتر می‌باشد و همچنین دبی خروجی زهکش با پوشش پوسته برنج نیز از PP450 بیشتر بوده است. دلیل این امر میزان تخلخل در پوشش‌های معدنی و آلی است که به مراتب بیشتر از پوشش مصنوعی می‌باشد و با توجه به این امر میزان دبی

خروجی از زهکش با پوشش شن و ماسه در ترازهای مختلف حدوداً ۴-۵ برابر دبی خروجی از زهکش با پوشش مصنوعی است و همچنین برای پوسته برنج نیز حدود ۳-۴ برابر پوشش مصنوعی دبی را خروجی از زهکش را شاهد بودیم. در مقایسه دبی خروجی از زهکش با دو نوع پوشش شن و ماسه و پوسته برنج مشاهده شد که با توجه به d_{50} (قطر بزرگترین دانه‌ای است که می‌تواند از الکی که ۵۰ درصد دانه‌ها از آن عبور کرده‌اند رد شود) پوشش شن و ماسه که حدود دو برابر d_{50} پوسته برنج است، دبی آن نیز حدود ۵۰ درصد بیشتر می‌باشد.

دبی در سه تکرار در همهی موارد کاهش پیدا کرده و این کاهش دبی خروجی به این علت است که پس از پر کردن مدل با خاک و برقرار شدن جریان آب در خاک، ذرات خاک در اطراف لوله و پوشش آرایش تازه‌تری پیدا می‌کند و ذرات ریزتر در داخل منافذهای موجود بین ذرات پوشش قرار می‌گیرند. در بررسی پوشش شن و ماسه مشاهده شد که تأثیر اختلاف سطح ایستابی در ۶۰ سانتی‌متری نسبت به ۸۰ سانتی‌متری بیشتر بوده است و میزان آبدهی خروجی در تراز ۷۰ سانتی‌متری تقریباً برابر با تراز ۸۰ سانتی‌متری بوده؛ در صورتی که در تراز ۶۰ سانتی‌متری حدود ۴۰ درصد کاهش دبی را داشته است و این اتفاق در پوشش مصنوعی PP450 نیز تقریباً مشهود است. در صورتی که در پوشش آلی پوسته برنج به ازای هر ۱۰ سانتی‌متر کاهش ارتفاع سطح آب حدود ۲۵-۲۰ درصد از دبی خروجی از زهکش کاسته شد.

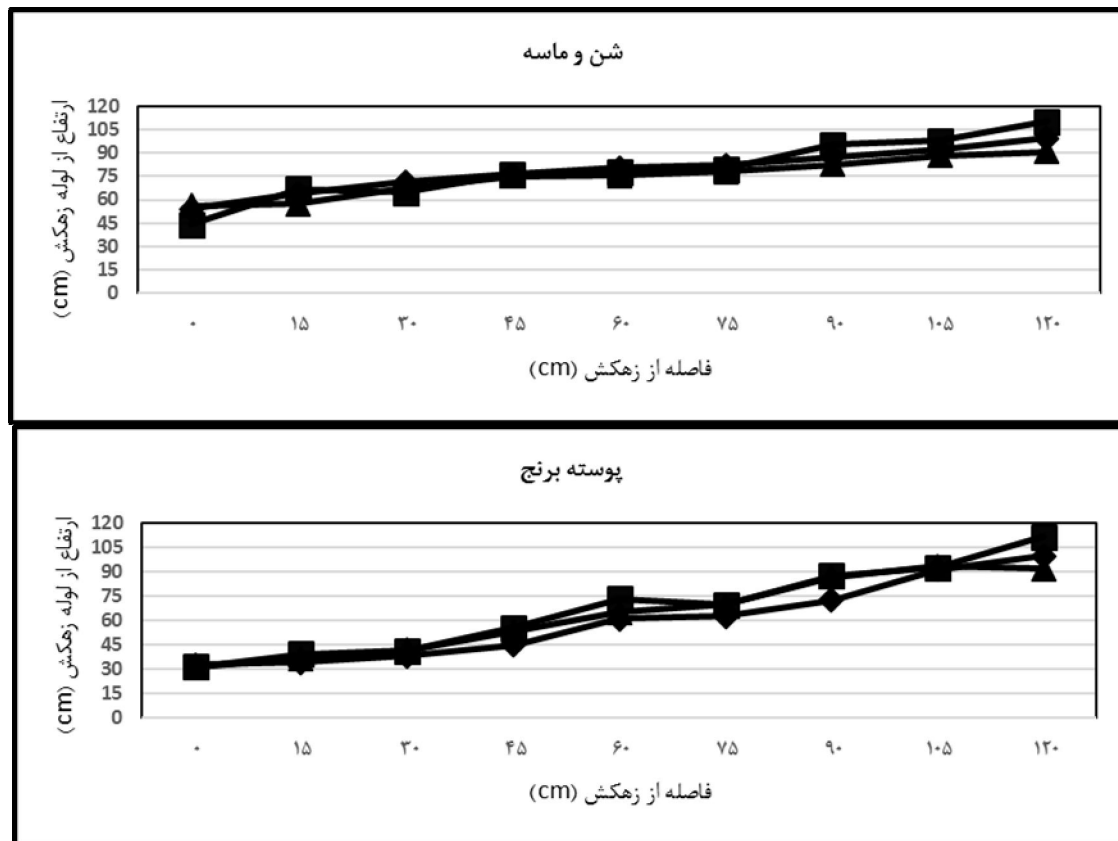


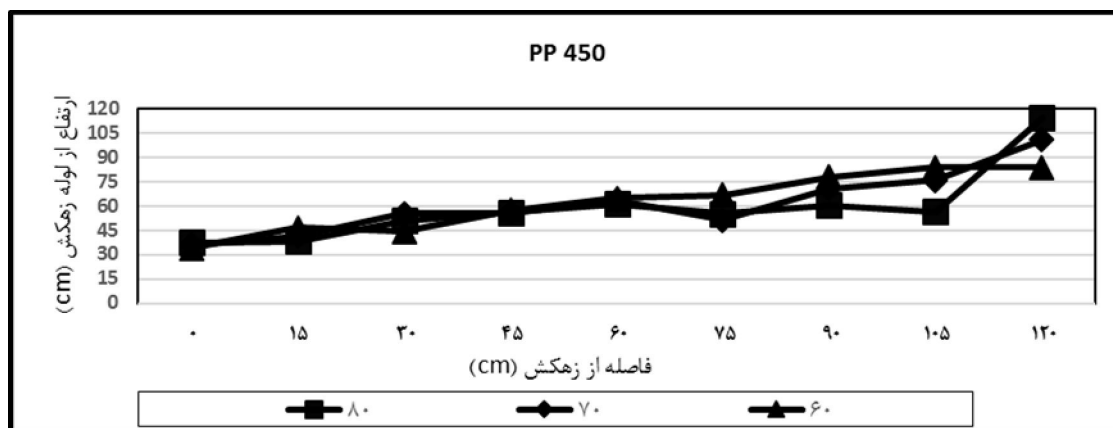
شکل (۳): دبی خروجی از زهکش با سه نوع پوشش در ترازهای مختلف سطح ایستابی

با استفاده از پیژومترهایی که بر روی مدل کارگذاری شده بود سطح مقوس ایجاد شده در اطراف لوله زهکش را ترسیم کرده و مورد بررسی قرار گرفت. سطح مقوس ایجاد شده در سمت شرق لوله زهکش برای هر سه نوع پوشش در (شکل (۴)) ارائه گردیده است.

در بررسی پوشش مصنوعی ملاحظه می‌شود که آب بعد از گذشت ۱۵ سانتی‌متر از خاک افتادگی پیدا کرده و از فاصله‌ی ۱۰۵ سانتی‌متری از لوله زهکش به تدریج ارتفاع آن کاهش پیدا می‌کند و به سمت لوله زهکش هدایت می‌گردد. اما در دو پوشش دیگر، افتادگی سطح مقوس تقریباً در ۷۵ سانتی‌متری از لوله زهکش اتفاق می‌افتد.

با توجه به سه سطح ایستابی به کار گرفته شده می‌توان نتیجه گرفت که روند سطح مقوس در دو نوع پوشش معدنی و آلی در هر سه سطح تطابق بیشتری نسبت به پوشش مصنوعی دارند پس می‌توان گفت تأثیر تراز سطح ایستابی در روند سطح مقوس برای پوشش‌های با خلل و فرج بیشتر کمتر می‌باشد.





شکل (۴): سطح مقوس ایجادشده در سمت شرقی لوله زهکش با پوشش‌های به‌کاربرده شده

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج آزمایشات پوشش‌شن و ماسه بیشترین آبدهی را برای لوله زهکش زیرزمینی ایجاد می‌کند. البته پوسته برنج نسبت به پوشش‌شن و ماسه دبی کمتری را داشته است اما نمی‌توان گفت که استفاده از آن به‌عنوان پوشش زهکش زیرزمینی ممکن نیست. دلیل کاهش دبی در آن را می‌توان به‌خاطر بافت ریز و دوکی شکل بودن پوسته برنج دانست چرا که ذرات خاک در فضای درون پوشش به دام می‌آفتد؛ می‌توان گفت که این امر باعث می‌شود رسوب کمتری وارد لوله زهکش شود اما در بلندمدت موجب کاهش چشم‌گیر دبی می‌شود.

پوشش مصنوعی امروزه با توجه به تولید و نصب و کارگذاری آسان در پروژه‌ها مورد استقبال قرار گرفته که کم بودن دبی آن می‌تواند با مطالعات بیشتر درباره منطقه و نوع خاک و اقلیم آن و همچنین ساخت پوشش مصنوعی متناسب با انواع خاک-ها جبران شود.

می‌توان پیشنهاد کرد با ترکیب این سه نوع پوشش با حالت‌های مختلف، تحقیقاتی را مورد ارزیابی قرار داد.

منابع

۱. ادیمی، م. ۱۳۸۸. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ششمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست. صفحات ۴۳-۵۶.
۲. آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۲. جلد اول: محصولات زراعی، سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹، سایت وزارت جهاد کشاورزی ایران، <http://www.maj.ir>.
۳. بی‌نام. ۱۳۸۴. استاندارد ضوابط طراحی و انتخاب مواد و مصالح برای زهکشی‌های زیرزمینی. انتشارات دفتر استانداردها و معیارهای فنی، وزارت نیرو، نشریه شماره ۲۶۶-الف.
۴. پرتو اعظم، ر. و کشکولی، ح. ۱۳۸۰. فیلترهای به‌کار رفته در زهکش‌های زیرزمینی اراضی میان‌آب، ملاثانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز و واحد کشت و صنعت امیرکبیر در خوزستان.

۵. جعفری تلوکلایی، م.، شاهنظری، ع.، و ضیاءتباراحمدی، م. ۱۳۹۲. بررسی اثر دو نوع پوشش زهکشی بر دبی زهکش‌های زیرزمینی در مزارع شالیزاری استان مازندران. دانشگاه فردوسی مشهد، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، (۱) ۲۷: ۱۳۰-۱۲۳.
۶. حسن‌اقلی، ع. و لیاقت، ع. ۱۳۸۳. کاربرد پوشش‌های زمین بافت در زهکشی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، سومین کارگاه فنی زهکشی، صفحات ۷۳-۵۹.
۷. قانع، ا. ۱۳۸۵. ارزیابی مدل فیزیکی تانک خاک و شن جهت مطالعه عملکرد فیلترهای مصنوعی در سیستم زهکشی زیرزمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۱۰ ص.
۸. کابوسی، ک.، لیاقت، ع.، و رحیم، ح. ۱۳۸۵. قابلیت کاربرد پوسته برنج به‌عنوان پوشش در زهکشی زیرزمینی. مجموعه مقالات چهارمین کارگاه فنی زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، صفحات ۱۴۳-۱۳۱.
۹. کریمی، ب.، پارسی‌نژاد، م.، حسین‌اقلی، ع. و لیاقت، ع. ۱۳۸۷. ارزیابی عملکرد سه نوع پوشش مصنوعی زهکشی در مقایسه با پوشش رایج معدنی در شرایط آزمایشگاهی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۲): صفحات ۹۲-۸۱.
۱۰. ناصری، ع و ارواحی، ع. ۱۳۸۶. ارزیابی فنی و اقتصادی کاربرد فیلترهای مصنوعی در سیستم زهکشی زیرزمینی و مقایسه آن با فیلترهای متداول شن و ماسه در نخیلات آبادان. مجله علوم کشاورزی ایران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، جلد ۳۸، شماره ۳، صفحات ۳۸۴-۳۷۳.

11. Rimidis A. and Dierickx W. 2003. Evaluation of subsurface drainage performance in Lithuania. *Agricultural Water Management* 59:15-31.

12. Vlotman, W. F., Willardson, L.S. and Dierickx, W. (2000). *Envelope design for subsurface drains*. Wageningen: ILIR.