

## ارزیابی عملکرد پوشش‌های مرکب آلی و معدنی دور زهکش در شرایط مشابه اراضی شالیزاری

محمد حسین زاده<sup>۱</sup>، مریم نوابیان<sup>۲\*</sup>، نادر پیرمردیان<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۲. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

۳. استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۳/۲۵)

### چکیده

پوشش‌ها وظیفه بهبود آب‌گذری اطراف لوله را دارند و به مثابه مانعی تراوش‌پذیر از ورود بیش از حد ذرات خاک به داخل لوله‌های زهکش جلوگیری می‌کنند. در این پژوهش عملکرد پوشش‌های آلی (پوسته برنج)، معدنی، و ترکیب پوشش آلی و معدنی بر روند تغییرات هیدرولیکی و شیمیایی زه‌آب زهکش بررسی شد. در این زمینه مدل فیزیکی زهکش شامل لوله زهکش به قطر ۱۰ سانتی‌متر در عمق ۴۲ سانتی‌متری خاک نصب و پوشش‌های مورد نظر در ترانشه‌ای به ضخامت ۷ سانتی‌متر در اطراف لوله زهکش کارگذاری شدند. به منظور شبیه‌سازی شرایط حاکم بر اراضی شالیزاری مدل فیزیکی توسط خاک جمع‌آوری شده از اراضی شالیزاری دارای بافت لوم‌سیلتی پر و آب آبیاری با حفظ ارتفاع ۵ سانتی‌متر آب روی سطح خاک به طور ساکن ایجاد شد. آزمایش تحت جریان طولانی‌مدت و با شوری آب آبیاری ۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر به مدت پانصد ساعت انجام و پارامترهای دبی، شوری، نسبت جذب سدیم، اسیدیته، و کل جامدات معلق زه‌آب خروجی از زهکش بررسی شدند. تیمارهای پوشش دور زهکش مورد آزمایش شامل پوسته برنج (H)، شن و ماسه (G)، ترکیب ۸۰ درصد پوسته برنج و ۲۰ درصد شن و ماسه ( $H_{80}G_{20}$ )، ترکیب ۶۰ درصد پوسته برنج و ۴۰ درصد شن و ماسه ( $H_{60}G_{40}$ )، ترکیب ۴۰ درصد پوسته برنج و ۶۰ درصد شن و ماسه ( $H_{40}G_{60}$ )، ترکیب ۲۰ درصد پوسته برنج و ۸۰ درصد شن و ماسه ( $H_{20}G_{80}$ )، و بدون پوشش (B) به منزله شاهد بودند. نتایج نشان داد میزان دبی خروجی در تیمار H بیشتر از تیمار G است و هر چه از میزان پوسته برنج در حالت ترکیب پوسته برنج و شن و ماسه کاسته شد دبی خروجی نسبت به تیمار پوسته برنج کاهش یافت. تیمار  $H_{60}G_{40}$  و  $H_{80}G_{20}$ ، با توجه به اینکه نسبت به سایر تیمارها از میانگین شوری زه‌آب کمتری برخوردار بودند، در کنترل شوری زه‌آب عملکرد مناسب‌تری داشتند و تیمارهای H و  $H_{80}G_{20}$ ، با توجه به تخلیه کمتر جامدات معلق به زه‌آب، فیلتر مناسبی برای زهکش بودند.

**کلیدواژگان:** بافت لوم‌سیلتی، پوسته برنج شن و ماسه، کیفیت زه‌آب خروجی، مدل فیزیکی زهکش.

### مقدمه

زهکشی فرایند خارج کردن آب سطحی اضافی و مدیریت سفره آب زیرزمینی کم‌عمق از طریق نگه‌داشت به‌موقع آن و مدیریت کیفیت آب برای رسیدن به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی است، در حالی که محیط زیست نیز حفظ شود (AbdelDaiem *et al.*, 2005). در زهکشی اراضی شالیزاری دو هدف میان سایر اهداف زهکشی بیشتر مد نظر است؛ فیلتراسیون (نقش صافی بودن پوشش) و کاهش مقاومت ورودی آب به داخل لوله زهکش، که این دو هدف باید به طور کامل تأمین شوند. از دیدگاه متخصصان ILRI<sup>۱</sup> فیلتر زهکشی لایه یا ترکیبی از چند لایه نفوذپذیر است که به منظور بهبود عملکرد زهکش و

جلوگیری از حرکت ذرات خاک تحت جریان آب طراحی و نصب

می‌شود (Naseri *et al.*, 2011).

یکی از عوامل مؤثر در طراحی و کارآمدی سیستم‌های زهکشی انتخاب پوشش مناسب زهکشی است (Ebrahimian *et al.*, 2011). پوشش دور زهکش باید به گونه‌ای عمل کند که امکان عبور ذرات معلق و کلوئیدی خاک را به‌خصوص در شروع بهره‌برداری از شبکه زهکشی فراهم آورد و در عین حال از ورود ذرات فرسایش‌یافته خاک به درون لوله زهکش جلوگیری کند. پوشش حجیم معدنی (شن و ماسه‌ای) رایج‌ترین نوع پوشش زهکشی مورد استفاده در کشور است. امروزه دوری منابع قرضه و برداشت بی‌رویه از معادن شن و ماسه وضعیت نامناسبی را از لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی ایجاد کرده است. از طرفی، بعد مسافت و تخلیه و بارگیری متعدد موجب به‌هم‌خوردگی و عدم یکنواختی دانه‌بندی پوشش می‌شود که در اثر جدا شدن ذرات

\* نویسنده مسئول: Navabian@guilan.ac.ir

1. International Institute of Land Reclamation and Improvement

مانع ورود هر گونه رسوب به داخل لوله زهکش شد. به علاوه، اگرچه دبی زهکش با پوشش پوسته برنج کمتر از زهکش با پوشش شن و ماسه بود، به دلیل مشکلات زیست‌محیطی و هزینه بالای تهیه و حمل‌ونقل شن و ماسه، به‌ویژه در مناطقی که منابع قرضه از محل پروژه فاصله زیادی دارند، و فراوانی پوسته برنج در منطقه استفاده از پوشش پوسته برنج را توصیه کرد. Hassanoghli and Rahimi (1996) طی پژوهشی درباره پوشش‌های ژئوتکستایل و شنی به این نتیجه رسیدند که به لحاظ آبدی عملکرد پوشش شنی نسبت به ژئوتکستایل بهتر است؛ ضمن آنکه با سنگین‌تر شدن بافت خاک میزان آبدی در زهکش‌ها با هر دو پوشش کاهش می‌یابد و این امر پوشش ژئوتکستایل را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد.

اثر دو نوع پوشش معدنی و مصنوعی زهکشی بر دبی زهکش‌های زیرزمینی در مزارع شالیزار استان مازندران بررسی شد (Jafari *et al.*, 2013). برای این منظور، یک سیستم زهکشی متشکل از چهار خط زهکش در عمق ۰/۶۵ با فاصله ۱۵ متر نصب شد. برای دو خط زهکش از پوشش معدنی و برای دو خط دیگر از پوشش مصنوعی استفاده شد. در طول یک فصل کشت کلزا دبی زهکش به طور روزانه اندازه‌گیری شد. اختلاف معناداری (در سطح ۱ درصد) بین میانگین دبی زهکش‌ها وجود داشت؛ طوری که میانگین دبی زهکش‌ها با پوشش مصنوعی به میزان ۸۸ درصد بیشتر از مقادیر متناظر در زهکش با پوشش معدنی بود. همچنین با مقایسه هزینه اجرای دو پوشش مشخص شد پوشش مصنوعی حدود ۱۷/۵ درصد ارزان‌تر از پوشش معدنی است. بنابراین، استفاده از پوشش‌های مصنوعی در مقایسه با پوشش‌های معدنی، ضمن صرفه‌جویی در هزینه‌ها، شرایط مناسب‌تری برای تخلیه آب مازاد خاک در زمان کمتر فراهم آورد. Nezhadyani *et al.* (2008) به ارزیابی آزمایشگاهی کاربرد یک نوع پوشش مصنوعی در زهکش‌های زیرزمینی و مقایسه آن با پوشش معدنی پرداختند. این پژوهش در شرایط آزمایشگاهی و با استفاده از مدل فیزیکی (نفودسنج جریان موازی با جریان روبه‌بالا) انجام شد. پوشش معدنی استفاده‌شده در این پژوهش بر اساس معیار دفتر عمران اراضی امریکا طراحی و انتخاب شد. همچنین، بر اساس معیارهای موجود، پوشش مصنوعی (ژئوتکستایل) از نوع PP<sub>450</sub> به مثابه پوشش مصنوعی استفاده شد. طی این آزمایش، تغییرات دبی خروجی از زهکش و هدایت هیدرولیکی مجموع خاک- پوشش نسبت به زمان و نسبت گرادیان در دو نوع پوشش بررسی شد. نتایج آزمایش نشان داد در یک بار آبی ثابت دبی خروجی از زهکش و هدایت هیدرولیکی مجموع خاک- پوشش در طول زمان در زهکش با پوشش مصنوعی نسبت به زهکش با پوشش معدنی کاهش

ریز و درشت پوشش از یکدیگر احتمال ورود رسوبات به داخل لوله زهکش و گرفتگی آن را به شدت افزایش می‌دهد (Hassanoghli, 2009). پوشش‌های آلی دارای مزایایی چون ارزانی، نصب آسان، و عدم نیاز به طراحی خاص‌اند. طول عمر این مواد کاملاً متغیر است و به‌شدت به شرایط محیطی و عواملی چون درجه حرارت، شرایط رطوبتی، اسیدیته محیط، فعالیت بیولوژیک باکتری‌ها، و حضور اکسیژن در محل بستگی دارد. همچنین ممکن است پوشش‌های آلی در خاک تحت تأثیر واکنش‌های شیمیایی و بیولوژیکی قرار گیرند و باعث ایجاد مشکل انسداد شوند (Knops, 1979).

عملکرد هیدرولیکی سیستم زهکشی با و بدون پوشش متأثر از مقدار ESP (یا SAR) و شوری آب آبیاری است که به دلیل اثرگذاری بر وضعیت ساختمان خاک‌های رسی (بسته به مقدار و نوع رس) منجر به حرکت ذرات خاک به سمت زهکش می‌شود (Willardson, 1992; Dierecks and Vlotman, 1995). با افزایش یون‌های منیزیم و کلسیم در نتیجه افزایش شوری، ذرات رس هم‌اوری و ساختمان خاک تثبیت می‌شود؛ در صورتی که SAR بالا باعث پراکنده شدن ذرات رس و مسدود شدن خلل و فرج می‌شود که در نهایت نفوذپذیری خاک را کاهش می‌دهد (Krista *et al.*, 2003). با افزایش مقدار SAR آب ورودی، پراکنش ذرات خاک و مسدود شدن منافذ خاک در محل زهکش افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به بالا رفتن افت بار و افزایش گرادیان خروجی در مسیر حرکت زه‌آب به سمت زهکش می‌شود (Ojaghloo *et al.*, 2011).

در آزمایش‌های Denniss and Traford (1975) اعلام شد در صورت تعبیه یک لایه نیم‌دایره از پوشش در زیر یا بالای لوله‌های زهکشی می‌توان فواصل زهکش‌ها را تا ۱۰۰ درصد نسبت به حالت بدون اجرای پوشش افزایش داد و در صورتی که پوشش به طور کامل اطراف لوله را بپوشاند فاصله زهکش‌ها را تا ۱۲۰ درصد نیز می‌توان افزایش داد.

در ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی با پوشش پوسته برنج در اراضی شرکت ران بهشهر گزارش شد عملکرد سیستم زهکشی در کنترل سطح ایستابی و شدت تخلیه زهکش‌ها، به دلیل گرفتگی پوشش اطراف لوله زهکش ضعیف، است (Ebrahimian *et al.*, 2011). Kaboosi (2005) به‌کارگیری پوسته برنج به منزله پوشش زهکش را در شرایط آزمایشگاهی بررسی کرد. نتایج نشان داد هدایت هیدرولیکی پوسته برنج در مقایسه با سایر پوشش‌های آلی و همچنین شن و گراول بیشتر است. پوشش پوسته برنج در مقایسه با پوشش شن و ماسه کارکرد فیلتری مناسبی داشت؛ طوری که در همه آزمایش‌ها، به‌رغم شیب هیدرولیکی زیاد، پوشش پوسته برنج

مخازن توسط شن درشت و سپس تا محل پوشش در زیر لوله زهکش با خاک جمع‌آوری شده از اراضی شالیزاری دارای بافت لوم‌سیلتی پر شد. خاک پس از هوا خشک شدن و عبور از الک ۲ میلی‌متری در مدل به کار رفت. در تیمارهای پوشش دور زهکش پوشش با ضخامت ۷ سانتی‌متر در زیر لوله زهکش و در نهایت بالای لوله پر شد و در نهایت ۳۰ سانتی‌متر خاک مشابه تراکم خاک در مزرعه (مطابق آزمایش تراکم خاک و جرم مخصوص ظاهری خاک) روی پوشش قرار گرفت. خصوصیات فیزیکی و هیدرولیکی خاک مورد آزمایش در جدول ۱ می‌آید. شکل ۱ شمایی از مدل فیزیکی و نحوه آماده‌سازی آن را نشان می‌دهد. در ادامه مراحل آماده‌سازی مخازن، خاک توسط جریان آب اشباع شد و پس از اطمینان از اشباع بودن خاک، به منظور اعمال شرایط مدیریت آبیاری در اراضی شالیزاری، ارتفاع ۵ سانتی‌متر آب توسط مخزن آب و شناور در سراسر طول مدت آزمایش برقرار شد. به دلیل تأثیرگذاری کیفیت آب آبیاری بر عملکرد زهکش و پوشش دور آن، خصوصیات شیمیایی منبع آب آبیاری در جدول ۲ می‌آید. تیمارهای پوشش دور زهکش مورد نظر در این پژوهش شامل پوسته برنج (H)، شن و ماسه (G)، ترکیب ۸۰ درصد پوسته برنج و ۲۰ درصد شن و ماسه ( $H_{80}G_{20}$ )، ترکیب ۶۰ درصد پوسته برنج و ۴۰ درصد شن و ماسه ( $H_{60}G_{40}$ )، ترکیب ۴۰ درصد پوسته برنج و ۶۰ درصد شن و ماسه ( $H_{40}G_{60}$ )، ترکیب ۲۰ درصد پوسته برنج و ۸۰ درصد شن و ماسه ( $H_{20}G_{80}$ )، و بدون پوشش (شاهد) بودند.

بیشتری دارد. نتایج آزمایش نسبت گرادیان بیانگر پتانسیل گرفتگی پوشش معدنی در مقایسه با پوشش مصنوعی بود. مقایسه عملکرد هر یک از پوشش‌های استفاده شده نشان داد هر دو پوشش عملکرد هیدرولیکی مناسبی دارند و پوشش نیاز زهکشی را تأمین می‌کنند. همچنین، در همه بارهای آبی دبی خروجی از زهکش با پوشش معدنی بیشتر از دبی خروجی از زهکش با پوشش مصنوعی بود.

Inosako *et al.* (2012) از نرم‌افزار HYDRUS (2D,3D)

جهت شبیه‌سازی انتقال آب و املاح و ارزیابی عملکرد پوسته برنج به مثابه زهکش زیرزمینی، بدون استفاده از لوله زهکش، در شرایط مختلف خاک‌ورزی استفاده کردند. آن‌ها دریافتند هر چه شخم عمیق‌تر باشد پوسته برنج جذب و خروج زه‌آب و املاح اضافی خاک را با کارایی بیشتری انجام می‌دهد.

هدف این پژوهش مقایسه عملکرد پوشش‌های دور زهکش و انتخاب مناسب‌ترین پوشش برای خاک با بافت لوم‌سیلتی تحت شرایط حاکم بر اراضی شالیزاری بر اساس پارامترهای دبی خروجی، کل جامدات معلق (TSS)، اسیدیته (pH)، شوری (EC)، و نسبت جذب سدیم (SAR) زه‌آب خروجی از زهکش‌ها بود.

## مواد و روش‌ها

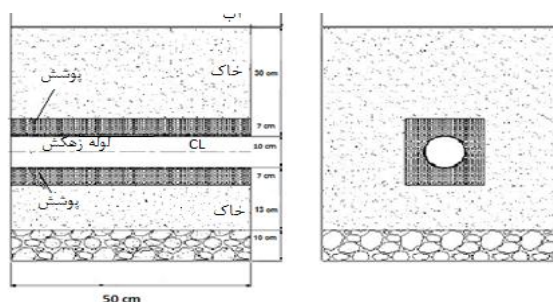
به منظور دستیابی به اهداف پژوهش، مدل فیزیکی زهکش زیرزمینی در مخازنی به قطر ۵۰ و ارتفاع ۹۵ سانتی‌متر ساخته شد. برای آماده‌سازی مدل فیزیکی زهکش، ۱۰ سانتی‌متر کف

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و هیدرولیکی خاک مورد آزمایش

| بافت خاک  | شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | جرم مخصوص ظاهری ( $gr\ cm^{-3}$ ) | هدایت آبی اشباع ( $cm\ day^{-1}$ ) | شاخص خمیریایی (%) | ضریب یکنواختی | ضریب انحنای (-) |
|-----------|--------|----------|--------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| سیلتی لوم | ۴۷٫۱۶  | ۷۲٫۵۳    | ۲۲٫۷۵  | ۱٫۵۵                              | ۶٫۶۹                               | ۱۴٫۵۰             | ۱۰٫۰۰         | ۰٫۶۳            |

جدول ۲. خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در پژوهش

| نمونه | EC (dS/m) | pH (-) | $Mg^{2+}$ (meq/lit) | $Ca^{2+}$ (meq/lit) | $Na^{2+}$ (meq/lit) | $HCO_3^-$ (meq/lit) | SAR (meq/lit) |
|-------|-----------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|
| آب    | ۱٫۹۰      | ۷٫۲۷   | ۴٫۱۰                | ۱٫۵۰                | ۶٫۷۲                | ۰٫۸۷                | ۴٫۱۶          |



شکل ۱. شمایی از مدل فیزیکی به کاررفته و نحوه قرارگیری لوله زهکش همراه پوشش دور آن

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، مطابق با معیار ایلری، شن و ماسه استفاده‌شده در محدوده قابل استفاده برای پوشش دور زهکش بودند. مقادیر ضریب یکنواختی و انحنا با استفاده از داده‌های منحنی دانه‌بندی و روابط ۳ و ۴ محاسبه شدند. مشخصات فیزیکی و منحنی دانه‌بندی پوسته برنج نیز در جدول ۳ و شکل ۲ می‌آید.

$$C_c = \frac{d_p^2}{d_{10} \times d_{60}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

اندازه‌گیری کل مواد جامد معلق زه‌آب بر اساس استاندارد ملی ایران به شماره ۵۹۰۴ انجام شد (Iran National standards, 2002). در این پژوهش میزان حجم (V) بر حسب لیتر) مشخصی از زه‌آب از کاغذ صافی واتمن ۴۲ میکرومتر عبور داده شد و پس از خروج کامل آب کاغذ صافی در آن به مدت بیست و چهار ساعت خشک و توزین شد (b) بر حسب میلی‌گرم). یک نمونه کاغذ صافی به منزله شاهد بدون اضافه کردن آب پس از خشک شدن در آن توزین شد (a) بر حسب میلی‌گرم). مقدار کل جامدات معلق (TSS) بر حسب میلی‌گرم بر لیتر به کمک رابطه ۵ محاسبه شد.

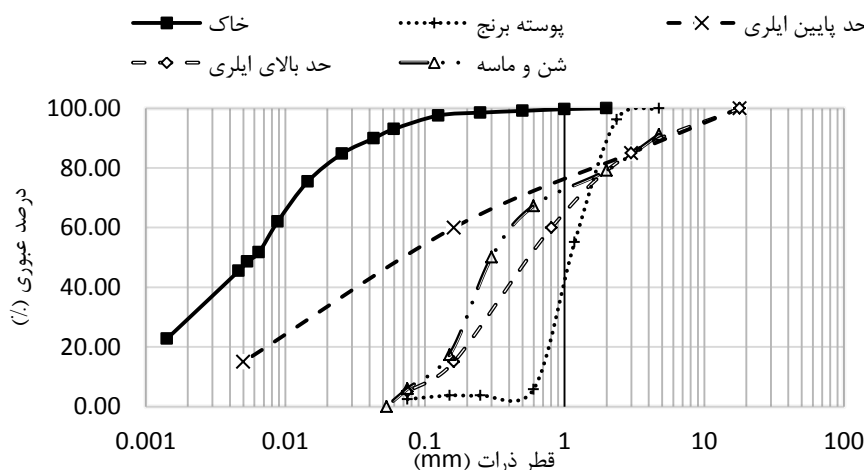
$$TSS = \frac{b-a}{V} \quad (\text{رابطه ۵})$$

به منظور ارزیابی عملکرد زهکش و پوشش‌های دور آن، آزمایش شدت جریان طولانی‌مدت (Koerner, 1994) به مدت پانصد ساعت انجام شد. در طول این مدت پارامترهای دبی خروجی از زهکش، کل جامدات معلق، شوری، اسیدیته، و نسبت جذب سدیم زه‌آب در بازه‌های زمانی دوروزه اندازه‌گیری شدند. در این پژوهش مقادیر دبی خروجی از زهکش به روش حجمی و شوری با دستگاه EC متر، اسیدیته با دستگاه pH متر، سدیم به روش فلیم فتومتری، و کلسیم و منیزیم به روش تیتراسیون تعیین شد (Standard Methods, 2013). مشخصات فیزیکی پوسته برنج شامل منحنی دانه‌بندی به روش الک خشک و شیکر شدن به مدت ۱۰ دقیقه (Kaboosi, 2005)، جرم مخصوص ظاهری، تخلخل، درصد جذب آب، و ضرایب یکنواختی و انحنا تعیین شدند. جرم مخصوص ظاهری خشک ( $\rho_b$ ) از تقسیم وزن پوسته برنج آن خشک بر حجم ظرفی که اشغال می‌کند محاسبه شد. همچنین جرم مخصوص حقیقی ( $\rho_s$ ) از نسبت وزن جامد پوسته برنج به حجمی که در بشر باعث جابه‌جا شدن آب شد به دست آمد. تخلخل (n) نیز مطابق رابطه ۱ به دست آمد. درصد جذب آب مطابق رابطه ۲ از تقسیم وزن مشخصی از پوسته برنج اشباع‌شده به مدت چهار و هشت ساعت بر وزن پوسته آن خشک تعیین شد.

$$n = 1 - \frac{\rho_b}{\rho_s} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$S = \frac{M_w}{M_d} \quad (\text{رابطه ۲})$$

S،  $M_w$  و  $M_d$  به ترتیب درصد جذب آب، وزن پوسته برنج مرطوب (گرم)، و وزن پوسته برنج آن خشک (گرم) است. منحنی دانه‌بندی خاک و وضعیت دانه‌بندی شن و ماسه استفاده‌شده به منزله پوشش دور زهکش در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. منحنی دانه‌بندی خاک، پوشش شن و ماسه، و پوشش پوسته برنج استفاده‌شده در پژوهش

جدول ۳. مشخصات فیزیکی پوشش پوسته برنج استفاده شده در پژوهش

| جرم مخصوص ظاهری<br>(gr.cm <sup>-3</sup> ) | جرم مخصوص حقیقی<br>(gr.cm <sup>-3</sup> ) | تخلخل<br>(%) | درصد جذب آب<br>(%) | ضریب یکنواختی<br>(-) | ضریب انحنای<br>(-) |
|---|---|--------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| ۰/۰۸۰                                     | ۰/۲۵۵                                     | ۶۸/۳۳۳       | ۷۶۰/۳۲۸            | ۱/۷۷۶                | ۰/۹۰۶              |

## یافته‌ها و بحث

به منظور ارزیابی عملکرد زهکش در تیمارهای بررسی شده، روند تغییرات دبی خروجی از زهکش نسبت به زمان رسم شد (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، کاربرد پوشش زهکشی تأثیر بسزایی در افزایش دبی از لوله زهکشی دارد؛ طوری که نسبت میانگین پوشش‌ها به تیمار بدون پوشش ۳/۹۸، ۳/۶۶، ۳/۳۳، ۲/۸۷، ۲/۳۹، ۲/۰۰۲ به ترتیب برای تیمارهای H<sub>20</sub>G<sub>80</sub>، H<sub>40</sub>G<sub>60</sub>، H<sub>60</sub>G<sub>40</sub>، H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> و پوشش G بود. در حضور پوشش انرژی پتانسیل آبی که به طرف زهکش حرکت می‌کند در نزدیکی زهکش مستهلک می‌شود. پوشش دور زهکش با افزایش شعاع مؤثر زهکش باعث کاهش گرادیان آب ورودی از خاک به لوله زهکش می‌شود که این مسئله عامل افزایش دبی زهکش است (Nezhadnyani et al., 2013). با توجه به نتایج دبی خروجی از زهکش، کل مدت آزمایش را می‌توان در سه بازه زمانی بررسی کرد. در بازه زمانی اول میزان جریان خروجی در همه تیمارها به شدت کاهش یافت که دلیل این وضعیت می‌تواند تحکیم خاک<sup>۱</sup> و جابه‌جایی ذرات خاک باشد. همچنین، حرکت آب به سمت زهکش باعث گرفتگی و انسداد اولیه<sup>۲</sup> پوشش دور زهکش شد. این بازه زمانی برای پوشش‌های H<sub>20</sub>G<sub>80</sub>، H<sub>40</sub>G<sub>60</sub>، H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> و G به ترتیب سه، پنج، پنج، هشت، ده، و دوازده روز بعد از شروع آزمایش بود. میزان کاهش دبی نسبت به دبی اولیه در این بازه برای تیمار H ۱۲/۳۳ درصد، ترکیب H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> ۱۵/۸۲ درصد، ترکیب H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> ۲۱/۶۱ درصد، G ۴۴/۲۵ درصد، ترکیب H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> ۳۰/۹۳ درصد، و ترکیب H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> ۲۵/۶۴ درصد به دست آمد. در این بازه زمانی، همان‌طور که مشاهده می‌شود، در پوشش‌های H و ترکیب H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> و ترکیب H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> با توجه به منافذ بزرگتر نسبت به پوشش‌های G و H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> و H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> کاهش دبی سریع‌تر رخ داده است. در پوشش‌هایی که درصد شن و ماسه غالب است نوسان دبی خروجی از زهکش کمتر بود که علت آن می‌تواند پایدارتر بودن ترکیب پوشش- خاک باشد (Kabossi, 2005). در این بازه زمانی، مطابق شکل ۴، SAR روندی صعودی نسبت به زمان

داشت. در این بازه، به‌رغم اینکه بیشترین کاهش دبی مربوط به پوشش G بود، بیشترین افزایش SAR به میزان ۱۲/۲۵ برابر SAR در ابتدای بازه زمانی مشاهده شد. این افزایش برای تیمار H ۱/۲۶ برابر بود و این نسبت در پوشش‌های ترکیبی پوسته برنج و شن و ماسه بین این دو تیمار بود؛ طوری که در تیمارهای H<sub>80</sub>G<sub>20</sub>، H<sub>60</sub>G<sub>40</sub>، H<sub>40</sub>G<sub>60</sub>، H<sub>20</sub>G<sub>80</sub>، به ترتیب ۸/۹۸، ۷/۲۲، ۷/۳۴، ۶/۲۱ برابر به دست آمد.

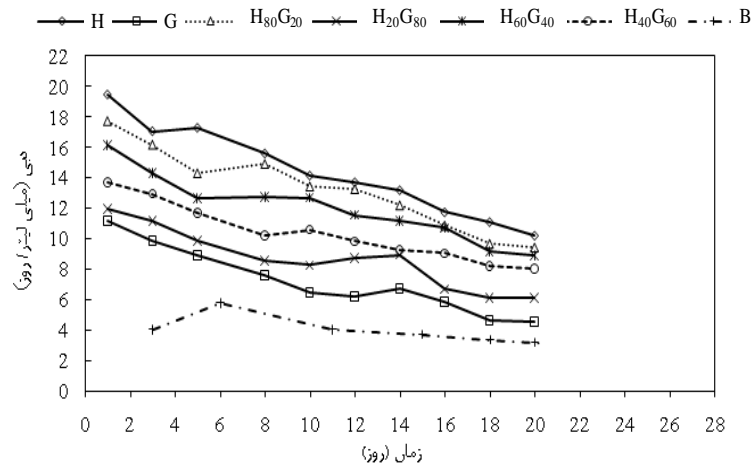
به منظور تعیین روند SAR، غلظت سدیم، کلسیم، و منیزیم جداگانه بررسی شد. در این دوره مطابق شکل ۵، غلظت سدیم زه آب افزایش نشان داد که کم‌ترین میزان افزایش در تیمار H ۲/۱۲ درصد و بیشترین افزایش در تیمار G با ۱۶/۰۵ درصد مشاهده شد. این افزایش غلظت سدیم در تیمار H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> ۱۱/۲۴ درصد، در تیمار H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> ۱۰/۷۳ درصد، در تیمار H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> ۱۰/۳۰ درصد، و در تیمار H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> ۱۰/۷۳ درصد بود. در مقایسه با تغییرات غلظت سدیم در این دوره میزان تغییرات مجموع کلسیم و منیزیم ناچیز بود (شکل ۶) که نشان می‌دهد افزایش پارامتر SAR بیشتر ناشی از افزایش غلظت سدیم است. در بررسی میزان غلظت کلسیم و منیزیم خروجی از زه آب، مطابق شکل‌های ۷ و ۸، غلظت کلسیم به مرور زمان افزایش یافت؛ در حالی که روند تغییرات غلظت منیزیم نوسان داشت. همچنین میزان غلظت منیزیم خروجی از زهکش کمتر از میزان غلظت کلسیم مشاهده شد که این وضعیت می‌تواند به دلیل جذب بیشتر منیزیم توسط مجموعه خاک- پوشش نسبت به کلسیم باشد. در این بازه در تیمارهایی که درصد پوسته برنج آن‌ها بیشتر از شن و ماسه بود میزان غلظت کلسیم خروجی از زهکش کاهش یافت؛ در صورتی که در تیمارهایی که درصد شن و ماسه در آن غالب بود روند افزایشی مشاهده شد.

مطابق شکل ۹، میزان TSS خروجی از زهکش در ابتدای آزمایش زیاد بود که با گذشت زمان میزان TSS خروجی کاهش یافت. کمترین کاهش TSS نسبت به TSS در شروع بازه مورد بررسی در تیمار G با ۲/۶۴ درصد و بیشترین کاهش مربوط به تیمار H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> بود. شیب کاهش در تیمارهای دارای پوسته برنج غالب نسبت به تیمارهای دارای شن و ماسه غالب کمتر بود که نشان می‌دهد پوسته برنج نسبت به شن و ماسه خاصیت فیلتری بهتری دارد و هر چه درصد پوسته برنج در حالت اختلاط بیشتر

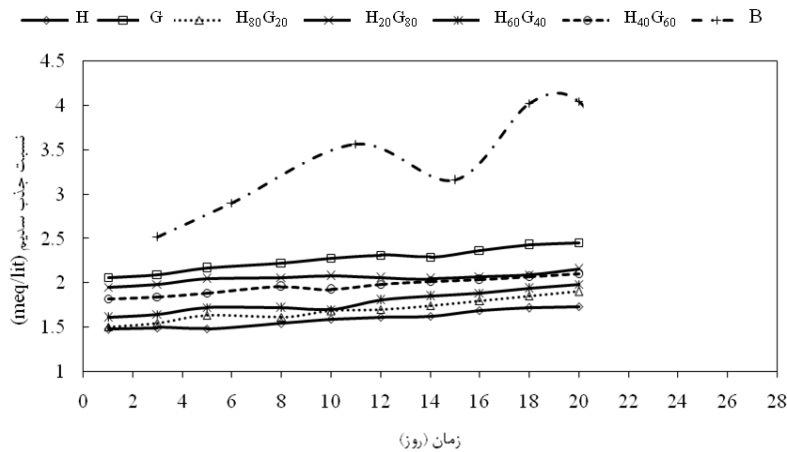
1. Consolidation  
2. Blocking

$H_{80}G_{20}$  برابر ۰/۶، در تیمار  $H_{60}G_{40}$  برابر ۰/۶۷، در تیمار  $H_{40}G_{60}$  برابر ۰/۷۴، در تیمار  $H_{20}G_{80}$  برابر ۰/۸۸، و در تیمار G برابر ۰/۹۷ بود.

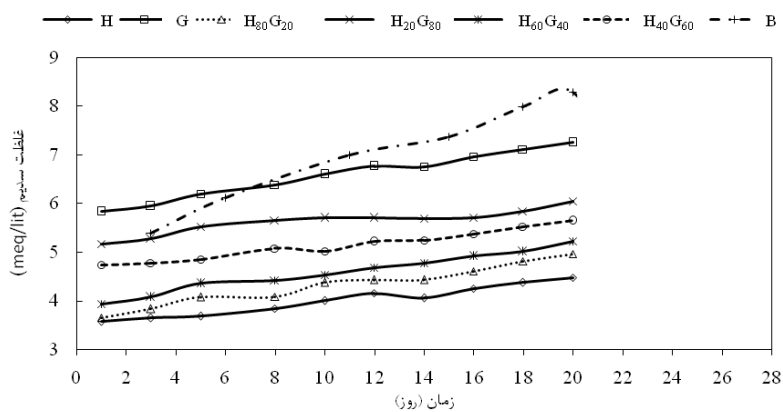
باشد خاصیت فیلتری بهبود می‌یابد. همچنین، مطابق شکل ۹ کاربرد پوشش تأثیر به‌سزایی در کاهش TSS موجود در زه‌آب دارد؛ به گونه‌ای که نسبت میانگین TSS پوشش‌ها نسبت به تیمار شاهد به ترتیب افزایشی در تیمار H برابر ۰/۴۸، در تیمار



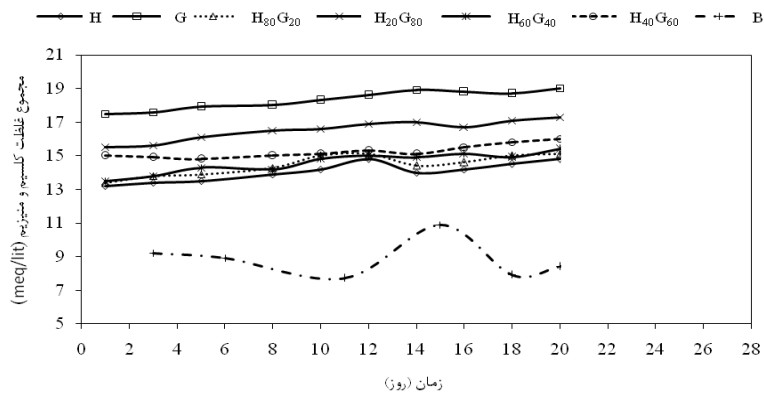
شکل ۳. تغییرات دبی زه‌آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده



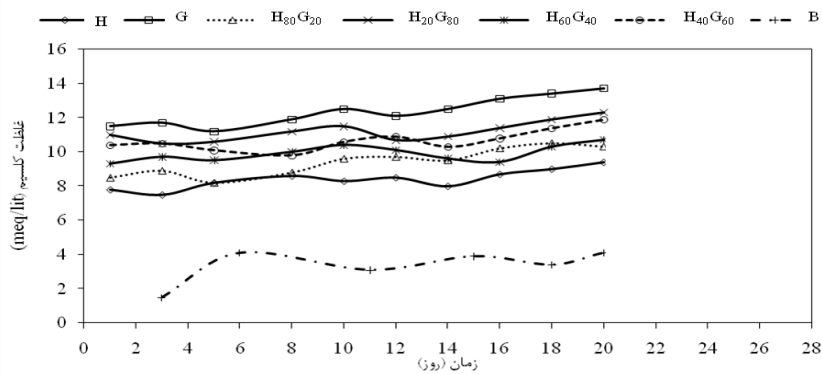
شکل ۴. تغییرات SAR زه‌آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده



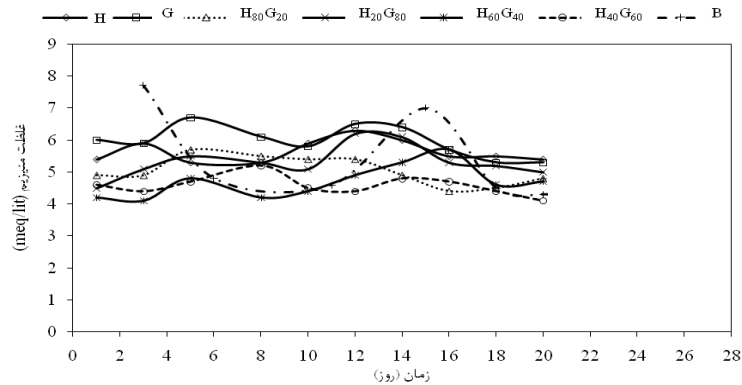
شکل ۵. تغییرات غلظت سدیم زه‌آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده



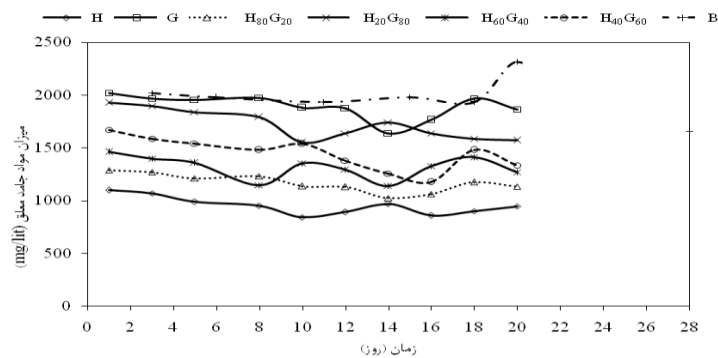
شکل ۶. تغییرات مجموع غلظت کلسیم و منیزیم زه‌آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده



شکل ۷. تغییرات غلظت کلسیم زه‌آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده



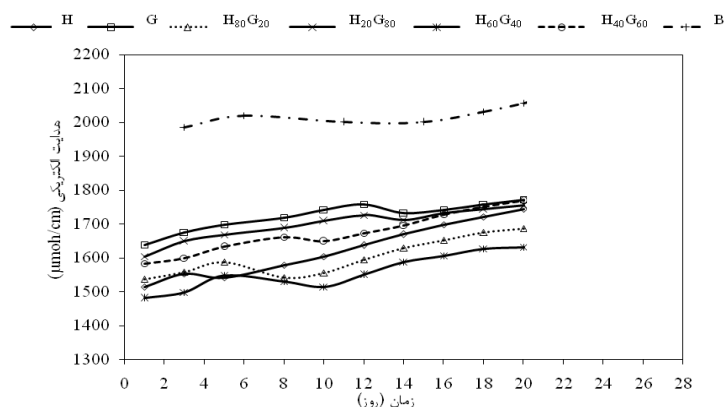
شکل ۸. تغییرات منیزیم زه‌آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده



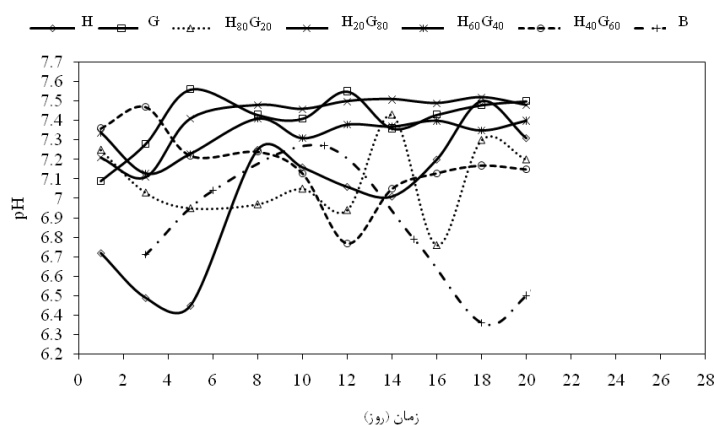
شکل ۹. تغییرات TSS زه‌آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده

قلیابیت زه آب خروجی نیز بیشتر شد. با گذشت زمان در این بازه مقدار pH در پوشش‌های دارای پوسته برنج غالب کاهش یافت و در پوشش‌های دارای شن و ماسه غالب، به جز در تیمار  $H_{40}G_{60}$ ، افزایش پیدا کرد. در انتهای بازه زمانی اول، دبی پس از طی روند کاهشی به دلیل پایدار شدن خاک سیر افزایشی یافت؛ طوری که این افزایش در پوشش H از روز سوم تا پنجم برابر  $0.4$  درصد، و در پوشش  $H_{80}G_{20}$  از روز پنجم تا هشتم برابر  $4.27$  درصد بود. این افزایش در پوشش G  $7.87$  درصد از روز دوازدهم تا چهاردهم، در پوشش  $H_{20}G_{80}$   $6.67$  درصد از روز دوازدهم تا چهاردهم، و در پوشش  $H_{40}G_{60}$   $3.82$  درصد از روز هشتم تا دهم صورت گرفت.

در شکل ۱۰ میزان تغییرات شوری نسبت به زمان می‌آید. در این بازه زمانی در همه تیمارها، با توجه به کاهش دبی، میزان شوری زه آب افزایش یافت. بیشترین افزایش در تیمار G با  $7.32$  درصد و کمترین افزایش در تیمار  $H_{60}G_{40}$  با  $2.57$  درصد مشاهده شد و با افزایش درصد شن و ماسه نسبت به پوسته برنج افزایش بیشتری در شوری زه آب به وجود آمد. این افزایش در تیمار  $H_{20}G_{80}$   $6.55$  درصد، در تیمار  $H_{40}G_{60}$   $4.99$  درصد، در تیمار  $H_{80}G_{20}$   $4.59$  درصد، و در تیمار H  $3.32$  درصد بود. تغییرات اسیدیته پوشش‌ها در شکل ۱۱ می‌آید که دارای روند نوسانی در گذر زمان است. تغییرات اسیدیته در این دوره زمانی روندی افزایشی داشت. در ابتدای آزمایش پوشش پوسته برنج دارای pH اسیدی و پوشش شن و ماسه دارای pH قلیایی بودند و هر چه ترکیب شن و ماسه پوشش غالب تر شد میزان



شکل ۱۰. تغییرات EC زه آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده



شکل ۱۱. تغییرات pH زه آب خروجی از زهکش نسبت به زمان در تیمارهای بررسی شده

کاهش ناچیز SAR در این دوره باشد. علت کاهش SAR در تیمار پوشش G در این بازه کاهش سدیم خروجی از زهکش و افزایش کلسیم و منیزیم خروجی از زهکش بود. همچنین در تیمار H میزان سدیم و نیز مجموع کلسیم و منیزیم افزایش

در دوره زمانی دوم بیشترین درصد کاهش SAR نسبت به دوره قبل مربوط به G با  $1.6$  و کمترین درصد کاهش مربوط به H با  $0.78$  مشاهده شد. در حقیقت، علت اینکه تغییر چندانی در دبی پوسته برنج در این دوره زمانی مشاهده نشد می‌تواند



بازه روند کاهش مقدار مجموع کلسیم و منیزیم نسبت به دوره قبل در تیمارهای G ۹۶۲ درصد، H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> ۸۱۴۵ درصد، H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> ۵۱۵۹ درصد، H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> ۵۱۹۶ درصد، H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> ۱۱۷۶ درصد و G ۰۷۵۲ درصد بود.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد SAR زه‌آب خروجی از زهکش در تیمارهای پوشش بررسی‌شده نسبت به زمان روندی افزایشی داشت. ارتباط بین دبی و SAR به گونه‌ای بود که هر چه میانگین دبی مشاهده‌ای کاهش می‌یافت SAR بیشتری در زه‌آب مشاهده می‌شد. پوسته برنج، به دلیل اینکه قابلیت جذب سدیم بیشتری نسبت به شن و ماسه داشت، دارای SAR کمتری در زه‌آب بود. قابلیت جذب سدیم توسط پوشش پوسته برنج با نتایج آزمایش‌های ناپیوسته جذب سدیم توسط پوسته برنج تطابق داشت (Hosseinzadeh, 2014). با افزایش درصد پوسته برنج در تیمارهای پوشش بررسی‌شده قابلیت جذب سدیم بیشتر شد و در نتیجه SAR کمتری در زه‌آب دیده شد. این عامل باعث بیشتر شدن دبی در آن تیمار شد. شیب افزایش SAR در تیمار پوسته برنج و در پوشش‌هایی که درصد پوسته برنج بیشتری داشتند زیادتر بود. به همین دلیل شیب کاهش دبی در این تیمارها بیشتر بود. پوشش H دارای بیشترین میانگین دبی خروجی از زهکش بود؛ به گونه‌ای که نسبت میانگین دبی پوشش H نسبت به پوشش‌های H<sub>80</sub>G<sub>20</sub>، H<sub>60</sub>G<sub>40</sub>، G، H<sub>20</sub>G<sub>80</sub>، H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> و B برابر ۱۰۸، ۱۰۲، ۱۰۹۸، ۱۰۶۶، ۱۰۳۸، ۳۱۹۸ بود. پوشش H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> به لحاظ کنترل شوری زه‌آب عملکرد مناسب‌تری داشت؛ به گونه‌ای که دارای میانگین شوری ۱۵۵۶۷ میکروموس بر سانتی‌متر بود. نسبت میانگین شوری زه‌آب پوشش H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> به پوشش‌های H، H<sub>80</sub>G<sub>20</sub>، G، H<sub>20</sub>G<sub>80</sub>، G<sub>60</sub>H<sub>40</sub> و B برابر ۰۹۵، ۰۹۷، ۰۹۰، ۰۹۱، ۱۰۷، ۰۷۶ بود که نشان می‌دهد کاربرد پوشش تأثیر به‌سزایی در کاهش شوری زه‌آب دارد و عملکرد پوسته برنج در کاهش شوری نسبت به شن و ماسه مناسب‌تر است. پوشش H در جلوگیری از ورود ذرات جامد به داخل لوله زهکش بهترین عملکرد را داشت؛ طوری که دارای کمترین میانگین TSS نسبت به سایر پوشش‌ها بود. میانگین TSS زه‌آب خروجی از زهکش در پوشش H برابر ۹۵۱۶۴ میلی‌گرم بر لیتر به دست آمد که نسبت میانگین پوشش H به پوشش‌های H<sub>80</sub>G<sub>20</sub>، H<sub>60</sub>G<sub>40</sub>، G، H<sub>20</sub>G<sub>80</sub>، H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> و B برابر ۰۵۰، ۰۸۱، ۰۵۵، ۰۷۲، ۰۶۵، ۰۴۹ بود. بیشتر بودن TSS در زمان شروع زهکشی و کاهش تدریجی آن نشان‌دهنده رفتار فیلتری درست پوشش دور زهکش است که

یافت. ولی چون افزایش غلظت سدیم کمی بیشتر از مجموع کلسیم و منیزیم بود، میزان SAR کاهش ناچیزی نسبت به دوره قبل داشت. در این بازه میزان TSS نسبت به دوره قبل، به جز در تیمارهای H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> و H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> و H<sub>80</sub>G<sub>20</sub>، با شیب بیشتری کاهش یافت. مطابق شکل ۷، در این بازه با توجه به افزایش دبی میزان شوری زه‌آب کاهش یافت؛ به گونه‌ای که بیشترین کاهش در تیمار H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> و کمترین کاهش در تیمار H مشاهده شد. همچنین تیمارهای G، H<sub>60</sub>G<sub>40</sub>، H<sub>40</sub>G<sub>60</sub>، H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> به ترتیب ۱۱۴۷، ۱۱۱۶، ۰۸۶، ۰۷۸، کاهش شوری زه‌آب نسبت به دوره قبل داشتند. مطابق شکل ۸ در این بازه در تیمارهای H و G و H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> کاهش و در تیمارهای H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> و H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> و H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> افزایش pH مشاهده شد.

در بازه زمانی سوم همانند بازه زمانی اول در همه تیمارها کاهش دبی وجود داشت. دلیل این اتفاق می‌تواند گرفتگی حفرات پوشش یا انسداد ثانویه<sup>۱</sup> و انباشته شدن زیست‌توده<sup>۲</sup> ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌های درون پوشش و خاک در تماس با آن باشد (kabossi, 2005). این کاهش در تیمار H ۴۰۹۱ درصد، در H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> ۳۶۷۴ درصد، در ترکیب H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> ۳۰۲۱ درصد، در G ۳۲۴۹ درصد، در ترکیب H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> ۲۹۹۶ درصد، و در H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> ۲۴۵۳ درصد بود.

بیشترین شیب کاهش دبی در تیمار H برابر ۰۴۵ بود و با کاهش درصد پوسته برنج تیمارها با شیب کمتری کاهش یافتند؛ طوری که این شیب در تیمار H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> ۰۴۱، در تیمار H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> ۰۳۳، در تیمار H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> ۰۲۹، در تیمار H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> ۰۲۹ و در تیمار G ۰۳۲ بود.

در این بازه زمانی بیشترین کاهش دبی در تیمارهایی که پوسته برنج در آن غالب بود مشاهده شد. بیشترین افزایش SAR نسبت به دوره قبل در ترکیب H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> با ۱۷۹۳ درصد، در پوسته برنج با ۱۶۹۱ درصد، و در H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> با ۱۶۵۲ درصد مشاهده شد. افزایش SAR در پوشش‌هایی که شن و ماسه در آن غالب بود با شیب کمتری کاهش یافت. این افزایش در G با ۷۱۰۵ درصد، در H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> با ۵۳۲ درصد، و در ترکیب H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> با ۸۱۹۳ درصد صورت گرفت. در این بازه بیشترین افزایش سدیم خروجی از زهکش در تیمارهای H<sub>80</sub>G<sub>20</sub> و H به ترتیب با ۲۱۵۶ و ۲۱۴۴ درصد و کمترین افزایش سدیم در تیمارهای H<sub>20</sub>G<sub>80</sub> و G با ۶۳۳ و ۷۳۵ درصد مشاهده شد. این افزایش در تیمارهای H<sub>40</sub>G<sub>60</sub> و H<sub>60</sub>G<sub>40</sub> به ترتیب ۱۸۰۹ و ۱۲۴۷ درصد بود. در این

عملکرد فیلتری مناسب‌ترین پوشش بود و پوشش  $H_{60}G_{40}$  در کنترل شوری زه‌آب نسبت به سایر پوشش‌ها عملکرد مناسب‌تری داشت.

این رویکرد در همه تیمارها مشاهده شد؛ هرچند تیمارهای H و G اختلاف زیادی در تغییرات TSS در طول مدت آزمایش نشان ندادند. در نهایت، پوشش H از لحاظ عملکرد هیدرولیکی و

## REFERENCES

- AbdelDaiem, S., Hoevenaars, J., Mollinga, P., Scheumann, W., Slootweg, R., and Van Steenberg, F. (2005). Agriculture drainage towards an integrated approach, *Journal of Irrigation and Drainage System*, 19 (2), 71-87.
- Dennis, C. W. and Trafford, B. D. (1975). Effect of permeable Surround on the performance of Clay field drainage pipes. *Journal of Hydrology*. 24: 239-244.
- Dierecks, W. and Vlotman, W. F. (1995). Drain Envelope Laboratory Testing and Analysis recorders. International Water logging and Salinity Institute. Publication No. 109, pp 124.
- Ebrahimian, H., Parsinejad, M., Liaghat, A., and Akram, M. (2011). Field Research on the Performance of a Rice Husk Envelope in a Subsurface Drainage System (Case Study Behshahr, Iran). *Journal of Irrigation and Drainage*, Vol. 60 (2), pp 216-228.
- Hassanoghli, A. R. and Rahimi, h. (1996). Technical investigation on a geotextile drain pipe in soil depth through different laboratory physical models. Final Research Report Research Institute of Agricultural Engineering, Publication No. 73.
- Hassanoghli, A. R. (2009). Assessment of Clogging Potential of Three Different Synthetic Drainage Envelope in Application of Saline Water Soil by Permeability Test. *Journal of Water and Soil*, vol. 26 (6), pp.1395-1409. (In Farsi).
- Hosseinzadeh, M. (2014). Performance evaluation of different envelope of subsurface drains under paddy field conditions. Thesis of M. Sc. degree, Faculty of water engineering, University of Guilan, Iran. (In Farsi).
- Inosako, K., Yasunaga, K., Takeshita, N., Saito, T., and Inoue, M. (2012). Desalinization of a salt affected field using a rice husk under drainage system. *Journal of Arid Land Studies*, 22 (1), 143-146.
- Iran National standards. (2002). Water quality. Determine the amount of suspended solids. Research Institute of Standards and Iran. Tehran. No. 5904. Pp 16. (In Farsi).
- Jafari, M., Shahnazari, A., and Ahmadi, M. Kh. (2013). An Investigation of the Effect of Two Drainage Envelope Type Subsurface Drainage Flow Rates in Paddy Fields of Mazandaran Province. *Journal of Soil and Water*, Vol. 27 (1), pp. 123-130. (In Farsi).
- Kaboosi, K. (2005). Investigation of rice husk as envelope for subsurface drains. Thesis of Master Science degree, Faculty of water and soil engineering, University of Tehran, Iran. (In Farsi).
- Knops, J. A. C. (1979). Research on envelope materials for subsurface drains. Proceedings of the international workshop, 16-20 may, Wageningen, The Nederland.
- Koerner, R. M. (1994). Designing with geosynthetics. 3th Prentice- Hall. Eaglewood Cliffs, New Jersey, U. S. A. pp. 738.
- Krista, E., Pearson. P., and James W. (2003). The Basic of Salinity and Sodcity Effect on Soil Physical Properties, Information Highlight for the General Public Adapted. Transaction of the ASAE, VOL. 24 (3), pp 666-669.
- Naseri, A. and Mehdinejadi, B. (2011). Envelope Design for Subsurface Drains. Publication in Shahid Chamran University. Pp 703.
- Nezhadyani, B., Kashkuli, H., and Naseri, A. (2008). Laboratory evaluation using a synthetic envelope in subsurface drains and comparison with inorganic coatings. *Journal of Soil and Water Sciences*, Vol. 22 (1). Pp 113-126. (In Farsi).
- Ojaghloo, H., Sohrabi, T., Rahimi, H., Ghobadynya, M., Hassanoghli, A., and Mohammadi, M. (2011). laboratory study of the effects of SAR and EC of irrigation water on the performance of the envelope drainage system. *Journal of Water Research*, No. 8, pp. 125-134. (In Farsi).
- Standard Methods for the Examination of Water and Waste. (2013). Publication of the American public Health Association (APHA), the American Water Works Association (AWWA), and the Water Environment Federation (WEF).
- Willardson, L. S. (1992). Drain Envelope Field Testing at S2A8, Trench Backfill Procedures, Salinity and Water Management at SIB9. Consultancy Report. NRAP Report No. 37, Lahore, Pakistan, pp 29.