

## مطالعه آزمایشگاهی اثر میزان SAR و EC آب آبیاری بر عملکرد پوشش سیستم زهکشی

حسن اوجاقلو<sup>۱\*</sup>، تیمور سهرابی<sup>۲</sup>، حسن رحیمی<sup>۳</sup>، مهدی قبادی نیا<sup>۴</sup>، علیرضا حسن اقلی<sup>۵</sup>، و مسعود محمدی<sup>۶</sup>

### چکیده

ضرورت استفاده از پوشش یکی از موارد اصلی در طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی است. نسبت جذب سدیمی (SAR) و شوری آب آبیاری ( $EC_i$ ) از پارامترهای مؤثر بر پراکنش ذرات خاک و در نتیجه افزایش احتمال رسوب گذاری در لوله های زهکش زیرزمینی بدون پوشش است. در این تحقیق، آزمایش نفوذسنجی برای تعیین شاخص نسبت گرادیان و گرادیان خروجی برای بررسی پتانسیل گرفتگی و احتمال ورود ذرات خاک به داخل لوله های زهکش با استفاده از سه نمونه آب با مقادیر متفاوت SAR و شوری اجرا شد. آزمون نفوذسنجی روی سه سیستم زهکشی، شامل سیستم زهکشی بدون پوشش، سیستم دارای پوشش معدنی و مصنوعی اجرا شد. در این آزمایش ها، تغییرات دبی، نفوذپذیری سیستم، شاخص نسبت گرادیان و گرادیان خروجی بررسی شد. نتایج نشان داد مقادیر شاخص نسبت گرادیان در سیستم بدون پوشش بین ۱/۳۴ تا ۲/۷۴ می باشد که نشان دهنده وجود پتانسیل گرفتگی در محل ورود جریان به داخل زهکش بود. با این وجود ورود ذرات خاک به داخل زهکش مشاهده نشد. در حالی که در سیستم های با پوشش، مقدار شاخص مذکور در بیشتر مواقع کمتر از یک بود. نتایج مقایسه گرادیان شکست هیدرولیکی با گرادیان خروجی در هر گرادیان، نشان داد اختلاف عملکرد فیلتری بین سیستم بدون پوشش و سیستم های با پوشش ناچیز بود. در مقابل بین عملکرد هیدرولیکی آن ها تفاوت وجود داشت.

**واژه های کلیدی:** آزمایش نفوذسنجی، پوشش زهکشی، گرادیان شکست هیدرولیکی.

**ارجاع:** اوجاقلو ح. قبادی نیا م. سهرابی ت. رحیمی ح. حسن اقلی ع. ر. و محمدی م. ۱۳۹۰. مطالعه آزمایشگاهی اثر میزان SAR و EC آب آبیاری بر عملکرد پوشش سیستم زهکشی. مجله پژوهش آب ایران. ۵(۸): ۱۲۵-۱۳۴.

- ۱- دانشجوی دکتری گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران و عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.
- ۲- استاد گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۳- استاد گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
- ۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.
- ۵- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کرج.
- ۶- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

\* نویسنده مسئول: [Ojaghloo@ut.ac.ir](mailto:Ojaghloo@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۳/۳۱

## مقدمه

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 و همکاران، ۲۰۰۰). از سوی دیگر بخش زیادی از هزینه‌های اجرای یک سیستم زهکشی مربوط به اجرای پوشش است، در ضمن این که استفاده از یک پوشش نامناسب موجب عدم کارایی سیستم می‌شود. بنابراین بررسی ضرورت استفاده از پوشش در مرحله طراحی مطرح می‌شود. مقدار SAR و شوری آب آبیاری از عوامل مؤثر بر وضعیت ساختمان خاک‌های رسی و در نتیجه میزان حرکت ذرات خاک به سمت زهکش، است (ویلاردسون، ۱۹۹۲). همچنین عملکرد هیدرولیکی سیستم‌های با و بدون پوشش متأثر از مقدار این دو کمیت در آب آبیاری خواهد بود (دیریکس و یانکوگلو، ۱۹۸۲). افزایش یون‌های کلسیم و منیزیم و در نتیجه میزان شوری، سبب فولوکوله شدن ذرات رس و تثبیت ساختمان خاک می‌شود در حالی که SAR بالا موجب پراکنش ذرات رس و مسدود شدن خلل و فرج و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک خواهد شد (کریستا و همکاران، ۲۰۰۳). بررسی اثر متقابل این دو کمیت شیمیایی بر پتانسیل رسوبگذاری لوله‌های زهکش زیرزمینی بدون پوشش می‌تواند در تصمیم‌گیری جهت تعیین نیاز به پوشش در خاک‌های رسی مؤثر باشد (ولاتمن و همکاران، ۲۰۰۰). در میان روش‌های مختلف در ارزیابی عملکرد پوشش‌های زهکش، روش تعیین نسبت گرادیان یکی از آزمایش‌های شناخته شده است و پیچیدگی کم و سابقه زیاد، دو ویژگی مهم این روش است (یوشانا و همکاران، ۲۰۰۱ و دیریکس و ولاتمن، ۱۹۹۵). شاخص نسبت گرادیان<sup>۱</sup> نشان‌دهنده پتانسیل گرفتگی خلل و فرج خاک - پوشش در محل خروج جریان از ستون خاک است. نتایج آزمایش‌های نفوذسنجی<sup>۲</sup> (تعیین نسبت گرادیان) توسط ویلاردسون و واکر (۱۹۷۹)، سامانی و ویلاردسون (۱۹۸۱) و فان

زیتس (۱۹۹۲) برای بررسی نیاز به پوشش به اثبات رسیده است. همچنین روش گرادیان شکست هیدرولیکی<sup>۳</sup> در خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک در تعیین نیاز به پوشش قابل کاربرد است (ویلاردسون، ۱۹۹۲). گرادیان شکست هیدرولیکی، گرادینی است که خاک محصور یا نگهداری شده نمی‌تواند در مقابل نیروی رانشی جریان مقاومت کند. با محاسبه گرادیان خروجی<sup>۴</sup> خروجی (گرادیان هیدرولیکی که در اثر آن آب از محیط متخلخل خاک خارج شده و وارد زهکش می‌شود) و مقایسه آن با گرادیان شکست هیدرولیکی می‌توان در مورد نیاز به پوشش تصمیم گرفت. در صورتی که مقدار گرادیان خروجی بیشتر از گرادیان شکست هیدرولیکی باشد، استفاده از پوشش جهت کاهش گرادیان خروجی ضروری خواهد بود (سامانی و ویلاردسون، ۱۹۸۱).

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی اثر شوری و SAR آب آبیاری بر عملکرد فیلتری و هیدرولیکی لوله‌های زهکش زیرزمینی بدون پوشش و در نهایت تعیین ضرورت استفاده از پوشش، آزمایش‌های نفوذسنجی با استفاده از سه کیفیت آب ورودی با مقادیر SAR و شوری مختلف انجام پذیرفت. همچنین برای مقایسه عملکرد سیستم‌های بدون پوشش، آزمایش‌های مذکور روی سیستم‌های با پوشش معدنی و مصنوعی PP-450 نیز اجرا شد.

## مواد و روش‌ها

## آزمایش تعیین نسبت گرادیان (نفوذسنجی)

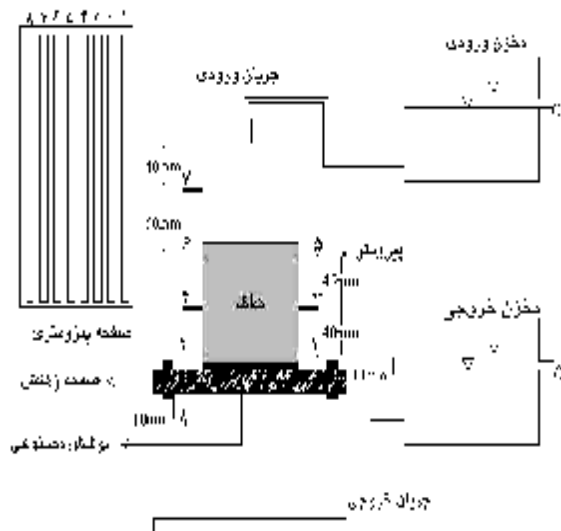
برای انجام این آزمایش از دستگاه نفوذسنج مطابق استاندارد ASTM D5101-90 استفاده شد. بخش اصلی این دستگاه، استوانه‌ای شفاف از جنس پلکسی گلاس به قطر داخلی ۱۰۰ و ضخامت ۵ میلی‌متر است. طرز قرار گرفتن اجزای این استوانه از پایین به بالا به ترتیب شامل صفحه زهکش (معرف بخشی از لوله)، پوشش و خاک است. برای بررسی تغییرات گرادیان هیدرولیکی در طول ستون خاک، پیژومترهایی با فواصل مشخص قرار گرفته

3- Hydraulic gradient failure

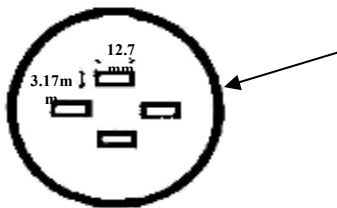
4- Exit radient

1- Gradient ratio

2- Permeameter test



شکل ۱ - دستگاه نفوذسنج مطابق استاندارد ASTM D5101-90



شکل ۲ - صفحه زهکش قرار گرفته در حد فاصل دو قسمت بالا و پایینی دستگاه

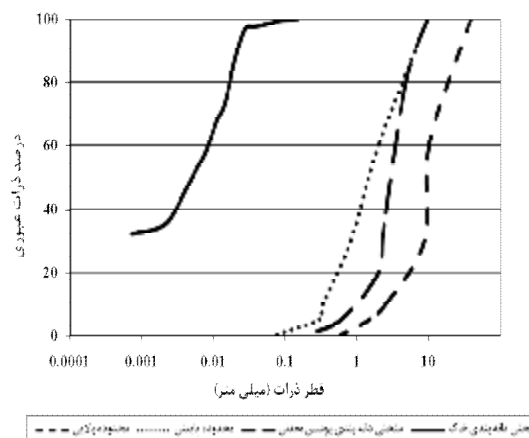
#### مشخصات پوشش‌ها

##### پوشش معدنی

برای مقایسه عملکرد سیستم بدون پوشش با پوشش - های رایج، آزمایش نفوذسنجی بر روی پوشش معدنی (شن و ماسه) اجرا شد. برای طراحی پوشش معدنی از ضوابط طراحی پوشش دفتر احیاء اراضی آمریکا (USBR) استفاده شد. شکل ۳ منحنی دانه‌بندی پوشش شن و ماسه انتخاب شده را نشان می‌دهد.

است (شکل ۱). در این آزمایش، صفحه زهکش مورد استفاده یک صفحه مدور از جنس پلاکسی گلاس با چهار سوراخ در اندازه‌های  $3/5 \times 13$  میلی‌متر بود (ولتمن و همکاران، ۱۹۹۳). شکل ۲ مشخصات صفحه زهکش را نشان می‌دهد. خاک مورد استفاده در سه لایه درون استوانه با توجه به چگالی ظاهری خاک منطقه ریخته می‌شد تا ارتفاع آن در داخل استوانه ۱۰۰ میلی‌متر شود. آزمایش‌ها در حالت اشباع سیستم اجرا می‌شد. برای اشباع کردن سیستم، جریان آب از قسمت پایینی دستگاه وارد - شد. سپس برای برقراری گرادیان هیدرولیکی موردنظر، نسبت به تنظیم ارتفاع مخزن ورودی اقدام می‌شد. در این تحقیق، آزمایش نسبت گرادیان با چهار گرادیان هیدرولیکی  $2/5$ ،  $5/5$  و  $10/5$  انجام شد. با برقراری هر گرادیان هیدرولیکی، پارامترهای دبی خروجی از سیستم، دمای آب ورودی و ارتفاع سطح آب در پیزومترها در زمان‌های شروع آزمایش،  $0/5$ ،  $1$ ،  $2$ ،  $4$ ،  $6$  و  $24$  ساعت از شروع آزمایش برداشت شد. طول مدت هر آزمایش  $168$  ساعت بود (سه روز برای اشباع شدن و هر گرادیان هیدرولیکی به مدت  $24$  ساعت). و در مجموع نه آزمایش در سه تکرار اجرا شد. در این تحقیق ۳ دستگاه نفوذسنجی به‌طور هم‌زمان برای اجرای آزمایش مورد استفاده می‌شد. برای بررسی اثر SAR و شوری آب آبیاری بر عملکرد سیستم‌های با پوشش و بدون پوشش اقدام به تهیه سه نمونه آب با مقادیر مختلف SAR و شوری با استفاده از ترکیب ۳ نوع نمک  $CaCl_2$ ،  $MgCl_2$  و  $NaCl$  شد. در هر آزمایش، خاک از نو و با شرایط ذکر شده در بالا داخل استوانه ریخته می‌شد. آزمایش‌ها شامل ۳ نوع سیستم (بدون پوشش، پوشش معدنی و مصنوعی) بود که بر روی نمونه خاک با بافت لوم رسی اجرا شد. در مجموع نه آزمایش نفوذسنجی هر کدام با ۳ تکرار اجرا شد.

در تحقیق حاضر یک نمونه خاک با بافت لوم رسی آزمایش شد. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مورد استفاده در جدول ۱ آمده است. با توجه به این که نمونه خاک استفاده شده از نظر معیار درصد رس و شاخص پلاستیسیته خاک به پوشش نیازی نخواهد داشت ولی با توجه به مقدار نسبت جذب سدیمی خاک، بررسی معیار ترکیبی درصد رس و نسبت جذب سدیمی ضروری است (ولاتمن و همکاران، ۲۰۰۰).



شکل ۳ - منحنی دانه بندی پوشش معدنی براساس استاندارد (USBR)

#### پوشش مصنوعی

علاوه بر پوشش معدنی، یک پوشش مصنوعی از نوع مواد از قبل پیچانده سست (PP-450) نیز استفاده شد. این پوشش از جنس پلی پروپیلن است که از رشته نخ‌های به هم پیوسته و حجیم ساخته شده است. این رشته‌ها ضایعات تولید فرش‌های بافته شده از الیاف پلی پروپیلن هستند. 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 دانه بندی آن برآورده می‌کند (دیریکس و ولاتمن، ۱۹۹۵).

#### مشخصات نمونه خاک مورد آزمایش

جدول ۱- برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک

| محل نمونه برداری | رس (درصد) | سیلت (درصد) | شن (درصد) | نوع بافت  | وزن مخصوص ظاهری خشک (gr/cm <sup>3</sup> ) | ضریب یکنواختی Cu | شاخص پلاستیسیته PI | SAR | EC (ds/m) | pH   |
|------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|---|------------------|--------------------|-----|-----------|------|
| منطقه کرج        | ۳۶        | ۴۹          | ۱۵        | سیلتی رسی | ۱/۳۱                                      | ۱۶               | ۲۰                 | ۲۶  | ۱۰/۶      | ۷/۸۲ |

جدول ۲- برخی مشخصات شیمیایی نمونه آب‌های مورد استفاده

| نمونه آب | Na+(mg/l) | Ca+++Mg++(mEq/l) | pH   | Ec(ds/m) | SAR  |
|----------|-----------|------------------|------|----------|------|
| ۱        | ۰/۸۸      | ۹/۱              | ۷/۲۱ | ۰/۸      | ۰/۴۲ |
| ۲        | ۲۴/۳      | ۱۹/۷۵            | ۷/۲۶ | ۳/۹۴     | ۷/۶  |
| ۳        | ۹۲/۱      | ۲۵/۷             | ۷/۳۸ | ۱۲/۱     | ۲۵/۷ |

$$i_{es} = \frac{\Delta h_{sf}}{L_{sf}} = \frac{(M_3 - M_8) + (M_4 - M_8)}{2L_{sf}} \quad (5)$$

$$i_s = \frac{\Delta h_s}{L_s} = \frac{(M_5 - M_3) + (M_6 - M_4)}{2L_s} \quad (6)$$

در معادلات بالا،  $GR$  نسبت گرادیان،  $i_{es}$  گرادیان هیدرولیکی سیستم خاک - پوشش،  $i_s$  گرادیان هیدرولیکی خاک،  $M_i$  ارتفاع آب داخل پیزومتر شماره  $i$ .  $L_{sf}$  طول مجموع خاک - پوشش برابر با ۵۵ میلی متر،  $L_s$  طولی از ستون خاک برابر با ۴۵ میلی متر. استفاده از معیار گرادیان شکست هیدرولیکی می تواند مکمل خوبی در تشخیص نیاز به پوشش در لوله های زهکش زیرزمینی باشد. گرادیان شکست به مشخصات ثابت فیزیکی و مکانیکی خاک (هدایت هیدرولیکی اشباع و شاخص پلاستیسیته) بستگی دارد. محاسبه گرادیان خروجی و مقایسه آن با گرادیان شکست، می تواند در پیش بینی پایداری خاک و ضرورت پوشش گذاری لوله های زهکش مفید واقع شد. محاسبه گرادیان خروجی با استفاده از معادله ۷ صورت می گیرد:

$$i_x = \frac{(M_1 + M_2) - 2M_8}{2L_s} \quad (7)$$

در معادله فوق،  $i_x$  گرادیان خروجی است. گرادیان شکست هیدرولیکی نیز از معادله ۸ محاسبه می شود:

$$HFG = e^{0.322 - 0.132K_s + 1.07 \ln(PI)} \quad (8)$$

که در آن:  $HFG$  گرادیان شکست هیدرولیکی،  $K_s$  هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (متر بر روز)،  $PI$  شاخص پلاستیسیته و  $e$  پایه لگاریتم طبیعی است.

### نتایج و بحث

#### هدایت هیدرولیکی سیستم

در هر گرادیان هیدرولیکی با فرض برقراری قانون دارسی، هدایت هیدرولیکی سیستم محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده نشان داد، مقدار هدایت هیدرولیکی سیستم به ازای یک گرادیان هیدرولیکی ثابت، نسبت به

#### محاسبات

گرادیان هیدرولیکی سیستم با استفاده از معادله زیر محاسبه می شود:

$$i = \frac{\Delta h}{l} \quad (1)$$

در معادله فوق  $i$  شیب هیدرولیکی سیستم،  $\Delta h$  اختلاف سطح آب در پیزومترهای شماره ۷ و ۸ (افت انرژی در طول نمونه خاک بر حسب سانتی متر)،  $l$  طول ستون خاک (سانتی متر) است.

هدایت هیدرولیکی سیستم نیز از معادله زیر به دست می آید:

$$K_T = \frac{Q}{iAt \times 100} \quad (2)$$

که در آن،  $K_T$  نفوذپذیری سیستم در دمای اجرای آزمایش (متر بر ثانیه)،  $Q$  حجم آب خروجی (سانتی متر مکعب)،  $A$  سطح مقطع نمونه (سانتی متر مربع)،  $t$  زمان اندازه گیری جریان (ثانیه)، است. با استفاده از معادله زیر تصحیح دمایی بر روی مقدار هدایت هیدرولیکی محاسبه شده از معادله ۲ صورت پذیرفت:

$$K_{20} = \frac{K_T \times \mu_T}{\mu_{20}} \quad (3)$$

در معادله فوق،  $K_{20}$  نفوذپذیری سیستم در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد (متر بر ثانیه)،  $\mu_T$  ویسکوزیته آب در دمای آزمایش و  $\mu_{20}$  ویسکوزیته آب در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد است.

شاخص نسبت گرادیان برای بررسی پتانسیل گرفتگی معدنی سیستم خاک - پوشش استفاده شد. از شاخص مذکور برای سنجش پتانسیل گرفتگی سیستم بدون پوشش نیز استفاده شد، زیرا تغییر شکل خطوط جریان به سمت زهکش و افزایش افت بار در مجاورت صفحه زهکش، پتانسیل گرفتگی در قسمت خروجی و در نتیجه احتمال ورود ذرات خاک به داخل لوله را افزایش می دهد. برای محاسبه شاخص مذکور از معادله ۴ استفاده شد:

$$GR = \frac{i_{es}}{i_s} \quad (4)$$

به دلیل داشتن شوری زیاد، فولوکوله شدن ذرات رس و در نتیجه موجب بهبود شرایط هیدرولیکی جریان را شده است. نتایج حاصل از تحقیق آیرز و تانجی (۱۹۸۱) نیز مؤید این مطلب است.

نمونه آب دوم شرایط حد واسطی را از نظر وضعیت نفوذپذیری خاک به همراه داشت که با توجه به مقادیر SAR و شوری این نمونه آب، قابل پیش بینی بود. نسبت مقدار متوسط نفوذپذیری سیستم با پوشش معدنی به سیستم بدون پوشش در طول زمان آزمایش با استفاده از نمونه آب‌های ورودی شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۳/۶، ۱/۵ و ۱/۳ به دست آمد. همچنین نسبت مقدار نفوذپذیری سیستم با پوشش مصنوعی به بدون پوشش با نمونه آب‌های مذکور، به ترتیب ۲، ۱/۰۵ و ۱ به دست آمد. مطابق نتایج به دست آمده، حداکثر و حداقل اختلاف مقادیر نفوذپذیری بین سیستم‌های با پوشش (معدنی و مصنوعی) و بدون پوشش به ترتیب در اثر استفاده از نمونه آب‌های ورودی ۱ و ۳ مشاهده شد.

#### شاخص نسبت گرادیان

مقادیر شاخص نسبت گرادیان و درصد تغییرات آن در طول آزمایش‌های نفوذسنجی با استفاده از سه نمونه آب ورودی محاسبه گردید و در جدول ۳ ارائه شده است.

زمان روند کاهش دارد. دلیل این امر حرکت ذرات ریز خاک به داخل خلل و فرج خاک و همچنین پوشش‌ها (در سیستم‌های با پوشش) در اثر فشار جریان آب بود. از سوی دیگر با افزایش گرادیان هیدرولیکی، مقدار هدایت هیدرولیکی سیستم نیز کاهش می‌یافت. شکل ۴ تغییرات نفوذپذیری سیستم خاک و خاک - پوشش را نسبت به گرادیان هیدرولیکی با استفاده از سه نمونه آب ورودی نشان می‌دهد. مقدار متوسط هدایت هیدرولیکی سیستم بدون پوشش در طول زمان آزمایش با نمونه آب-های ورودی شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۰/۰۰۷، ۰/۰۲۰۲ و ۰/۰۴۴ متر بر روز اندازه‌گیری شد. مقادیر مذکور برای سیستم با پوشش مصنوعی به ترتیب ۰/۰۱۴، ۰/۰۲۰۸ و ۰/۰۴۴ و برای پوشش معدنی به ترتیب ۰/۰۲۴۸، ۰/۰۲۹۸ و ۰/۰۵۵۷ متر بر روز به دست آمد. تقریباً در تمامی آزمایش‌ها کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر نفوذپذیری برای هر ۳ نوع سیستم (بدون پوشش، مصنوعی و معدنی) به ترتیب مربوط به نمونه آب‌های شماره ۱ و ۳ می‌شد. نمونه آب اول با وجود SAR پایین به دلیل داشتن مقدار شوری کم، سبب پراکنش بیشتر ذرات رس و در نتیجه کاهش نفوذپذیری گردید. علت این امر SAR اولیه نسبتاً بالای خاک (۲۶) در برابر شوری کم نمونه آب شماره ۱ (۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر) بود. نتایج مطالعات ولاتمن و همکاران (۱۹۹۰) نیز نشان داد میزان نفوذپذیری خاک‌های سدیمی به محض تماس با آب شیرین به شدت کاهش می‌یابد. ولی نمونه آب سوم

جدول ۳- مقادیر متوسط نسبت گرادیان و درصد تغییرات آن در هر آزمایش

| نمونه آب | سیستم بدون پوشش |                 |              | سیستم با پوشش معدنی |                 |              | سیستم با پوشش مصنوعی |                 |              |
|----------|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|-----------------|--------------|----------------------|-----------------|--------------|
|          | ابتدای آزمایش*  | انتهای آزمایش** | درصد تغییرات | ابتدای آزمایش*      | انتهای آزمایش** | درصد تغییرات | ابتدای آزمایش*       | انتهای آزمایش** | درصد تغییرات |
| ۱        | ۱/۳۴            | ۲/۷             | +۱۰۱         | ۰/۴۸                | ۰/۷۳            | +۵۲          | ۰/۵۷                 | ۱/۰۵            | +۸۴          |
| ۲        | ۱/۸۱            | ۲/۲۴            | +۲۳          | ۰/۹۵                | ۱/۱             | +۱۵          | ۰/۵۷                 | ۰/۸۳            | +۴۵          |
| ۳        | ۲/۴۶            | ۲/۷۴            | +۱۱          | ۰/۹۱                | ۱/۲۵            | +۳۷          | ۰/۷۱                 | ۰/۷۸            | +۹/۶         |

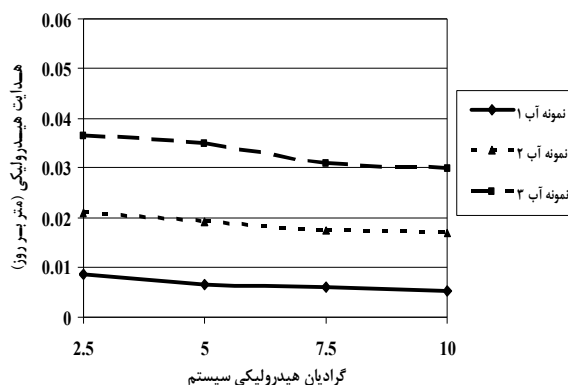
\*\*انتهای گرادیان ۱۰

\*ابتدای گرادیان ۲/۵

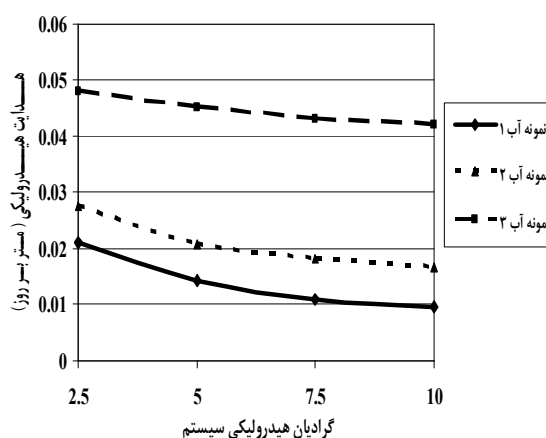
نسبت گرادیان در سیستم بدون پوشش بین  $1/34$  و  $2/74$  به دست آمد. مقدار مذکور برای سیستم با پوشش معدنی بین  $0/48$  و  $1/25$  و برای سیستم با پوشش مصنوعی بین  $0/57$  و  $0/78$  به دست آمد. آزمایش‌های نفوذسنجی با استفاده از سه نمونه آب ورودی بر روی سیستم بدون پوشش نشان داد، در تمامی آزمایش‌ها مقدار شاخص نسبت گرادیان بیشتر از یک و کمتر از سه است و نشان‌دهنده وجود پتانسیل گرفتگی است با این وجود ریزش خاک از این سیستم مشاهده نشد. نتایج تحقیق یوشانا و همکاران (۲۰۰۱) نیز نشان داد خاک در صورتی ریزش می‌کند که مقدار شاخص نسبت گرادیان از سه بیشتر شود. شکل ۵ روند تغییرات شاخص نسبت گرادیان را نسبت به گرادیان هیدرولیکی سیستم بدون پوشش، تغییرات نسبت گرادیان در سیستم با و نمونه آب ۳ کمتر از دو نمونه آب دیگر می‌باشد. این مطلب مؤید این نکته می‌باشد که در اثر ورود آب شور، بیشترین جابه‌جایی ذرات ریز خاک در همان گرادیان-های پایین اتفاق می‌افتد. در حالی که نتایج به دست آمده از دو نمونه آب ۱ و ۲ نشان داد شاخص نسبت گرادیان روند صعودی را نسبت به افزایش گرادیان هیدرولیکی سیستم دارد.

مقادیر شاخص نسبت گرادیان در سیستم‌های با پوشش در گرادیان‌های  $2/5$  و  $5$  همواره کمتر از یک بود که نشان‌دهنده خطر کم در گرفتگی پوشش‌ها بود. در اثر استفاده از نمونه آب سوم، مقادیر نسبت گرادیان در سیستم‌های با پوشش نیز افزایش یافت که نشان‌دهنده حرکت ذرات ریز خاک به سمت پوشش‌ها است. البته مقادیر اندازه‌گیری شده از مقدار یک به ندرت تجاوز کرد. اختلاف بین مقادیر نسبت گرادیان در سیستم با پوشش مصنوعی با استفاده از ۳ نمونه آب آزمایش شده ناچیز بود. بیشترین مقادیر این شاخص در هر ۳ نمونه آب مورد استفاده مربوط به سیستم بدون پوشش می‌شد.

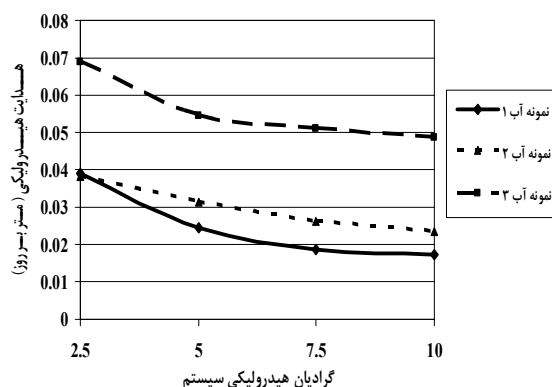
سیستم بدون پوشش



پوشش مصنوعی



پوشش معدنی



شکل ۴- تغییرات پیشروی سیستم نسبت به گرادیان هیدرولیکی سیستم

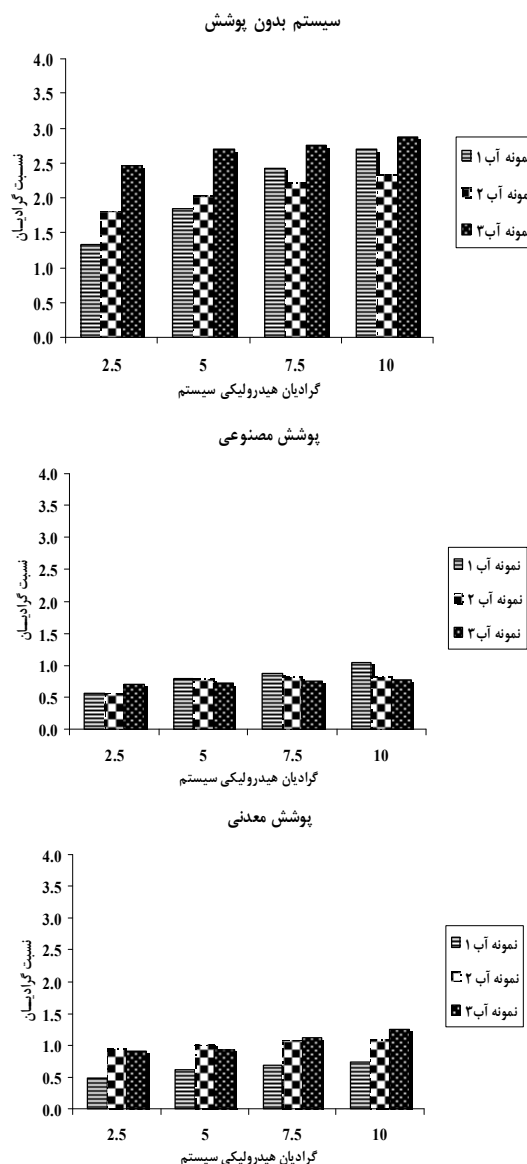
در صورتی که مقدار شاخص مذکور بیشتر از یک باشد پتانسیل گرفتگی در سیستم خاک - پوشش وجود خواهد داشت (ولاتمن و همکاران، ۱۹۹۷). در آزمون‌های نفوذسنجی صورت گرفته، محدوده تغییرات شاخص

فشار جریان به سمت صفحه زهکش و افزایش افت بار خروجی جریان بود. به طور کلی سیستم بدون پوشش حساسیت بیشتری را نسبت به تغییر کیفیت آب ورودی نشان داد. تغییر مقدار نسبت سدیم به کاتیون‌های دو ظرفیتی کلسیم و منیزیم در اثر ورود آب با شوری و SARهای متفاوت سبب می‌شد تا پراکنش ذرات و در نتیجه افت بارهای متفاوتی در قسمت خروجی سیستم بدون پوشش به وجود آید. جدول ۴ مقادیر گرادیان خروجی از سیستم بدون پوشش را با استفاده از سه نمونه آب ورودی، در گرادیان‌های هیدرولیکی مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر گرادیان خروجی در سیستم بدون پوشش

| نمونه آب | در سه نمونه خاک        |                         |      |      |
|----------|------------------------|-------------------------|------|------|
|          | گرادیان شکست هیدرولیکی | گرادیان هیدرولیکی سیستم | ۵    | ۲/۵  |
| ۱        | ۴۸/۵                   | ۳۳/۱                    | ۱۹/۵ | ۱۱/۵ |
| ۲        | ۳۴/۲                   | ۴۳                      | ۳۲/۴ | ۱۸/۹ |
| ۳        | ۳۷/۴                   | ۳۱/۵                    | ۳۴/۳ | ۱۸/۶ |

اختلاف مقادیر گرادیان خروجی اندازه‌گیری شده در اثر استفاده از نمونه آب‌های ۱ و ۲ ناچیز به دست آمد. ولی تفاوت قابل توجهی بین مقادیر به دست آمده با استفاده از این دو نمونه با نمونه آب سوم وجود داشت. در گرادیان‌های پایین، مقدار گرادیان خروجی نمونه آب سوم بیشتر از دو نمونه آب ۱ و ۲ بود. ولی در گرادیان‌های بالا عکس این مطلب مشاهده شد. در واقع بیشترین حرکت ذرات به سمت محل روزه‌های صفحه زهکش، در اثر نمونه آب‌های ۱ و ۲ در گرادیان‌های بالا و با استفاده از نمونه آب ۳ در گرادیان‌های پایین رخ داد. طبق نتایج به دست آمده، بیشترین خطر ریزش با استفاده از هر سه نمونه آب ورودی، در گرادیان ۱۰ وجود داشت. زیرا مقدار گرادیان خروجی از گرادیان ۷/۵ به بعد بیشتر از گرادیان شکست هیدرولیکی می‌شد. با پایین آمدن مقدار شوری آب ورودی هدایت هیدرولیکی خاک کاهش می‌یافت که در گرادیان‌های بالا سبب بالا



شکل ۵- تغییرات شاخص نسبت گرادیان نسبت به گرادیان هیدرولیکی سیستم

#### گرادیان خروجی

مقادیر گرادیان خروجی در سیستم بدون پوشش نسبت به سیستم‌های با پوشش مصنوعی و معدنی مقادیر بیشتری را نشان می‌داد (سیستم‌های با پوشش مقادیر گرادیان خروجی ناچیزی را داشتند). به همین دلیل، تنها مقادیر گرادیان خروجی سیستم بدون پوشش مطالعه و بررسی شد. در هر ۳ نوع سیستم، با افزایش گرادیان هیدرولیکی مقدار گرادیان خروجی نیز بیشتر می‌شد. دلیل این موضوع، حرکت بیشتر ذرات ریز خاک در اثر



زهکشی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، ۱۶۰ ص.

۲- دفتر استانداردها و معیارهای فنی شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران. ۱۳۸۳. ضوابط طراحی و انتخاب مواد و مصالح برای زهکش‌های زیرزمینی. انتشارات وزارت نیرو، شماره ۲۶۶-الف.

۳- رحیمی ح. قبادی‌نیا م و سهرابی ت. ۱۳۸۶. کاربرد مواد ژئوسنتتیک در آبیاری و زهکشی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران- وزارت نیرو، شماره ۱۰۶.

۴- گروه کار زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۷. پوشش‌های زهکشی، چاپ اول سال ۱۳۸۷.

- 5- Ayers R.S. and Tanji K. 1981. An application from Ayers and Westcot's 1985 "Use of treated municipal wastewaters for irrigation." FAO Irrigation and Drainage Paper No. 29 Rev. 1. Originally published as an ASCE 1981 Water Forum Conference Proceedings.
- 6- Asghar M.N and Vlotman W.F. 1995. Evaluation of sieve and permeameter analyses methods for subsurface drain envelope laboratory research in Pakistan. Agricultural Water Management 27, 167-180.
- 7- ASTM D 5101-90. Standard Test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio. In: ASTM 1996c, 752-758.
- 8- Dierickx W and Vlotman W.F. 1995. Drain Envelope Laboratory Testing and Analysis Procedures. IWASRI Publication No. 109, International Water logging and Salinity Institute, Lahore, Pakistan. NRAP Report No. 36 Lahore, Pakistan, 124 pp.
- 9- Krista E. Pearson, and James W. Bauder. 2003. The Basics of Salinity and Sodicy Effects on Soil Physical Properties, Information Highlight for the General Public Adapted by Krista E. Pearson from a paper by Nikos J. Warrence,
- 10- Samani Z.A and Willardson L.S. 1981. Soil Hydraulic Stability in a Subsurface Drainage System. Transactions of the ASAE, Vol. 24, No 3. 666-669.
- 11- USBR Standard. 1955. The Use of Laboratory Tests to Develop Design Criteria for Protective Filters. Earth Laboratory Report No. EM-425. US Bureau of Reclamation.

رفتن شاخص نسبت گرادیان و گرادیان خروجی می‌شد (نمونه آب ۱). عدم مشاهده ریزش خاک در آزمایش‌های نفوذسنجی تا حدودی عملکرد روش معیار گرادیان شکست هیدرولیکی را قابل قبول نشان داد.

### نتیجه‌گیری

با افزایش مقدار SAR آب ورودی، پراکنش ذرات خاک و در نتیجه مسدود شدن منافذ خاک در محل صفحه زهکش بیشتر می‌شد، که نهایتاً، منجر به بالا رفتن افت بار و افزایش گرادیان خروجی می‌شد.

حداقل و حداکثر اختلاف عملکرد هیدرولیکی بین سیستم‌های با پوشش (معدنی و مصنوعی) و بدون پوشش به ترتیب در اثر استفاده از نمونه آب ورودی ۳ (شوری ۱۲/۱ دسی‌زیمنس بر متر و نسبت جذب سدیم ۲۵/۷) و نمونه آب ۱ (شوری ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر و نسبت جذب سدیم ۰/۴۲) مشاهده شد. علت اصلی این موضوع مربوط به مقادیر شوری آب ورودی می‌شد.

سیستم بدون پوشش پتانسیل بیشتری از نظر گرفتگی نسبت به سیستم‌های با پوشش مصنوعی و معدنی در اثر استفاده از هر سه نمونه آب ورودی داشت.

سیستم بدون پوشش با استفاده از هر سه نمونه آب ورودی، عملکرد فیلتری قابل قبولی را داشته است. مقایسه عملکرد هیدرولیکی سیستم بدون پوشش با سیستم‌های با پوشش معدنی و مصنوعی نیز نشان داد، نسبت بین شوری و SAR آب ورودی و همچنین شوری نمونه خاک مورد آزمایش، از اهمیت بالایی در وضعیت هیدرولیکی جریان به سمت زهکش و نیاز فیلتری لوله‌های زهکش دارد.

در خاک‌های با SAR بالا، در صورتی که آب با شوری پایین استفاده شود، هدایت هیدرولیکی را به مقدار زیاد کاهش داده و امکان ریزش را فراهم می‌سازد.

### منابع

- ۱- حسن‌اقلی ع. ۱۳۷۵. بررسی رفتار فنی لوله‌های ژئوتکستایل در عمق خاک در مدل‌های آزمایشگاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و

- ICID International Drainage Workshop. Penang, Malaysia. Proc. 2. P22.1 - 16.
- 15- 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 (IWASRI Pub. No. 110), Lahore, Pakistan, pp.29.
- 16- Yu Shana H. LiangWang Wu and Chou T. 2001. Effect of boundary conditions on the hydraulic behavior of geotextile filtration system. Geotextiles and Geomembranes 19 , 509-527.
- 12- Van Zeijts T.E.J. 1992. Recommendations on the Use of Envelopes Based on Experiences in the Netherlands. In: Vlotman (Ed.) Proceedings of 5th International Drainage Workshop, Lahore, Pakistan, ICID, IWASRI, 111 (5):88-96.
- 13- Vlotman W.F. Willardson L.S and Dierickx W. 2000. Envelope design for subsurface drain. ILRI publication 56.
- 14- Vlotman W.F. Willardson L.S. and Dierickx W. 1997. Drain Envelope Need, Selection, Design, Construction and Maintenance. 7th