

## تعیین بهترین الگوی پوشش ژئوتکستایل برای کاهش آب‌شستگی اطراف گروه پایه‌های استوانه‌ای

علی نوری امامزاده‌ئی<sup>۱\*</sup>، منوچهر حیدرپور<sup>۲</sup>، محمدرضا نوری امامزاده‌ئی<sup>۳</sup> و بهزاد قربانی<sup>۴</sup>

### چکیده

با توجه به تأثیر زیاد ژئوتکستایل در کاهش آب‌شستگی در اطراف پایه پل‌ها، تعیین بهترین الگوی پوشش ژئوتکستایل برای کاهش هزینه‌های اقتصادی امری ضروری است. در این بررسی محدوده پوشش ژئوتکستایل در کنار تک‌پایه و گروه‌پایه‌های دوتایی و سه‌تایی با استفاده از مدل فیزیکی بررسی و مقایسه شد. پایه‌ها از جنس تفلون و دارای قطر ۵ سانتی‌متر بوده و موازی با خطوط جریان و در فاصله‌های ۱۵ سانتی‌متری (۳ برابر قطر پایه‌ها) جانمایی شد. نتایج نشان داد که در گروه‌پایه‌ها پدیده حفاظت‌کننده و تقویت‌کننده در پایه جلویی و عقبی به ترتیب سبب ۵۰ درصد کاهش و ۴۰ درصد افزایش طول محدوده پوشش می‌شود. پدیده حفاظت‌کننده در گروه‌پایه‌های دوتایی و سه‌تایی به ترتیب سبب کاهش ۵۰ و ۷۱ درصدی ابعاد گودال آب‌شستگی نسبت به تک‌پایه می‌شود. در گروه‌پایه‌های سه‌تایی به دلیل حفاظت پایه‌های اول و دوم، ابعاد گودال آب‌شستگی در پایه عقبی ۲۱ درصد کمتر از گروه‌پایه‌های دوتایی بود. با انجام آزمایش روی الگوهای مختلف پوشش مشخص شد که آرایش بیضی برای تک‌پایه و پوشش به شکل نیم‌بیضی برای گروه‌پایه‌ها، بهترین الگوی پوشش برای کاهش آب‌شستگی است.

**واژه‌های کلیدی:** آب‌شستگی، الگوی پوشش، ژئوتکستایل، گروه‌پایه.

**ارجاع:** نوری امامزاده‌ئی ع. حیدرپور م. نوری امامزاده‌ئی م. ر. و قربانی ب. ۱۳۹۴. تعیین بهترین الگوی پوشش ژئوتکستایل برای کاهش آب‌شستگی اطراف گروه پایه‌های استوانه‌ای. مجله پژوهش آب ایران. ۱۹: ۶۹-۷۷.

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان.

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

\* نویسنده مسئول: [a\\_noori110@yahoo.com](mailto:a_noori110@yahoo.com)

## مقدمه

را تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارتند از: عامل تقویت کننده که سبب افزایش عمق آبشستگی در پایه جلویی می‌شود، و عامل حفاظ بودن که در اثر برخورد جریان به پایه بالادست سرعت مؤثر جریان برای پایه پایین دست کاهش یافته و بنابراین سبب کاهش آبشستگی در آن می‌شود (رودکیوی، ۱۹۹۸).

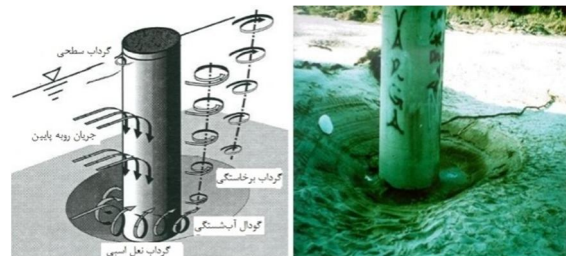
هانا (۱۹۷۸) بررسی‌های خود را در زمینه آبشستگی در گروه پایه‌های دوتایی با استفاده از پایه‌های استوانه‌ای در جریان دائمی و در شرایط آب زلال و با استفاده از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط  $0.78$  میلی‌متر انجام داد. براساس نتایج وی، زمانی که فاصله پایه‌ها به اندازه قطر پایه‌ها باشد،  $S/d=1$  (S فاصله پایه‌ها و d قطر پایه)، عمق آبشستگی در پایه جلویی برابر با آبشستگی در تک پایه خواهد بود. اما با افزایش فاصله، تأثیر عامل تقویت کننده در پایه اول مشاهده می‌شود که این عامل در  $S/d=2/5$  به حداکثر خود می‌رسد و تا  $S/d=11$  وجود دارد. در فاصله‌های بیشتر از  $S/d=11$ ، عمق آبشستگی در پایه جلویی برابر با مقدار آن در تک پایه خواهد بود.

نظریه‌ها (۱۹۹۶) فرایند آبشستگی موضعی را در گروه پایه‌های استوانه‌ای ۲، ۳، ۴ و ۶ تایی بررسی کرد. نتایج مربوط به آبشستگی در گروه پایه‌های دوتایی نشان می‌دهد که تأثیر عامل تقویت کننده در  $S/d=4$  حداکثر بوده و سبب ۱۰ درصد افزایش در عمق آبشستگی پایه‌ی جلویی نسبت به تک پایه شده و با تغییر فاصله این عامل کاهش پیدا کرده است.

آشتیانی و بهشتی (۲۰۰۶) آرایش متفاوت گروه پایه‌ها را در شرایط آب زلال بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد آبشستگی گروه پایه‌ها متفاوت از تک پایه بوده و بستگی به فاصله پایه‌ها دارد. هرچه فاصله پایه‌ها کمتر باشد اثر متقابل پایه‌ها بیشتر شده و زمانی که نسبت فاصله پایه به قطر پایه کوچک‌تر یا مساوی  $0.15$  باشد گروه پایه همانند تک پایه رفتار می‌کند. زمانی که این نسبت بزرگ‌تر از دامنه ۲ تا ۴ باشد بسته به نوع آرایش پایه‌ها اثر متقابل پایه‌ها حذف می‌شود.

برای کاهش آبشستگی در پایه پل‌ها دو روش اساسی، ارائه شده است (چیو، ۲۰۰۴). روش مستقیم که در آن مقاومت بستر در مقابل تنش‌های وارده افزایش می‌یابد و دیگری روش غیرمستقیم که در آن با تغییر الگوی جریان در اطراف پایه از تأثیر نیروهای مخرب کاسته می‌شود. از

آبشستگی یکی از مسائل مهم در تخریب پایه پل‌های احداث شده بر رودخانه‌ها است. تخریب این پل‌ها نه به دلایل سازه‌ای، بلکه به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل‌هاست (بروسرز و همکاران، ۱۹۷۷). با برخورد جریان به پایه پل سامانه‌های گردابی پیچیده‌ای شامل گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی به وجود می‌آید. جریان روبه پایین پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر، به هر طرف پراکنده می‌شود. مقداری از این جریان به سمت بالا برمی‌گردد و با جریان عمومی رودخانه برخورد می‌کند و بلافاصله به پایه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن به داخل حفره ایجاد شده جریان گردابی تشکیل می‌دهد که به آهستگی در دو طرف پایه، امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. علاوه بر ایجاد جریان روبه پایین جریان عبوری در کناره‌های پایه گردابان فشار منفی‌ای ایجاد می‌کند که سبب جدایی لایه مرزی در کناره پایه شده و گرداب‌های برخاستگی را ایجاد می‌کند (بروسرز و همکاران، ۱۹۷۷). شکل ۱ سازوکار آبشستگی موضعی و گرداب‌ها را در اطراف پایه استوانه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۱- مکانیزم آبشستگی و گرداب‌های ایجاد شده در اطراف پایه

عملکرد این گرداب‌ها سبب حفر گودالی در اطراف پایه شده که حفره آبشستگی نامیده می‌شود. توسعه این گودال در اطراف پایه سبب خالی شدن زیر پی‌ها و در نتیجه خرابی آن‌ها و خرابی پل می‌شود. زمانی که فرآیند آبشستگی در حضور گروه پایه اتفاق می‌افتد، سازوکاری به وجود می‌آید که این فرآیند را پیچیده‌تر از فرآیند آبشستگی در تک پایه‌ها می‌کند و سبب تغییر عمق و شکل آبشستگی در اطراف پایه‌ها نسبت به تک پایه‌ها می‌شود (آلبی، ۲۰۰۶). دو سازوکار مهمی که آبشستگی در گروه پایه‌ها

فراهم می‌کند. کف فلوم، فلزی و دیواره‌های آن از جنس فایبرگلاس و شفاف است. کفی‌های سکودار قابل نصب در کف کانال برای ایجاد بستر ماسه‌ای برای انجام آزمایش از جمله لوازم جانبی فلوم محسوب می‌شوند. آب ذخیره شده در مخزن آزمایشگاه با یک پمپ سانتریفوژ وارد کانال شده و دوباره به مخزن برمی‌گردد. نصب یک دستگاه کنتور حجمی و شیر کشویی در مسیر لوله دهش پمپ امکان تنظیم و سنجش دبی را فراهم کرده است. با نصب عمق‌سنج و سرعت‌سنج روی یک شاسی متحرک روی ریل‌های موجود در لبه‌های فوقانی دیواره فلوم، عملیات اندازه‌گیری تسهیل شده است. عمق‌سنج مورد اشاره مجهز به کولیس بوده و قابلیت جابجایی طولی و عرضی روی شاسی را دارد.

قبل از انجام آزمایش سکوه‌های تحتانی (کف کاذب) نصب و مابین کف کاذب، بستر رسوبی به طول ۱/۲ متر از مصالح بستر با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر پر شد. کف کاذب به طول ۳ متر و به اندازه کافی بزرگ انتخاب شد. با ترسیم نیمرخ‌های سرعت در فاصله‌های مختلف، منطقه توسعه یافته برای انجام آزمایش‌های مورد نظر مشخص شد. با این وجود با چسباندن مقداری از مصالح بستر روی سکوها و معادل کردن زبری کف سکوها با زبری مصالح بستر مورد استفاده در منطقه آزمایش، موقعیت نصب این سکوها در طول فلوم چنان انتخاب شد که اطمینان لازم برای توسعه یافتگی جریان در منطقه آزمایش حاصل شود. منطقه آزمایش به طور تقریبی وسط بعد طولی فلوم یعنی به فاصله ۱۰ متری بالا و پایین دست انتخاب شد. به طوری که ابتدای بستر در فاصله ۱۳ متری از ابتدای فلوم مستقر شد. شکل ۲ منطقه مورد آزمایش را به طور شماتیک نمایش می‌دهد.

کلیه آزمایش‌های این طرح با شیب طولی کانال نزدیک صفر درجه و با دبی ۵۵lit/sec انجام شد. براساس نظر رودکیوی و اتما (۱۹۸۳) مبنی بر این که نسبت عرض کانال به قطر پایه نباید از ۶/۲۵ کمتر باشد در این آزمایش‌ها از مدل پایه استوانه‌ای از جنس پلاستیک تفلون با قطر پایه ثابت ۵cm استفاده شد. گروه پایه‌های دوتایی و سه‌تایی نیز در یک امتداد و در جهت جریان اصلی در فاصله‌های ۳d در کانال قرار گرفت (شکل ۳).

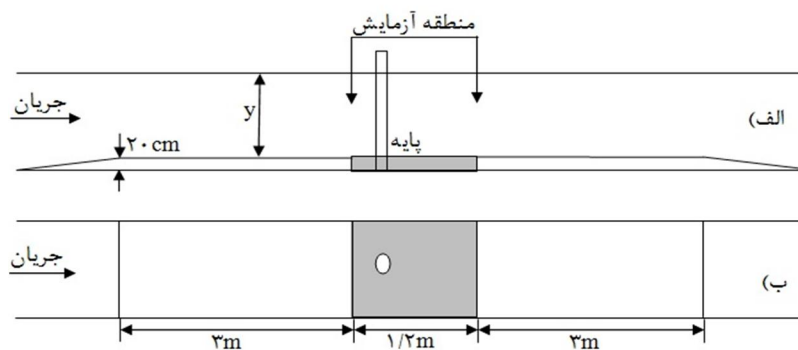
جمله روش‌های مستقیم مستحکم کردن پایه از طریق سنگ‌چین کردن کنار پایه است. از روش‌های غیرمستقیم در کاهش آب‌شستگی نیز می‌توان به قرار دادن طوق در اطراف و یا ایجاد شکاف در پایه و ... اشاره کرد.

ژئوتکستایل‌ها که از الیاف پلی‌پروپیلن و پلی‌استر تولید می‌شوند گروه بزرگی از محصولات ژئوسنتتیک را تشکیل داده و از نظر ساختار تجاری در دو دسته بافته شده و بافته نشده در بازار وجود دارند. انواع ژئوتکستایل‌ها به دلیل داشتن خصوصیتی از قبیل اجرای بسیار سریع و آسان، وزن کم، هزینه کم، پایداری طولانی، تخریب کم، یکنواختی در اجرا و ... به‌طور گسترده در بیشتر کشورهای جهان استفاده می‌شود. اولین پژوهش‌های آزمایشگاهی روی ژئوتکستایل برای حفاظت از سواحل توسط ری (۱۹۷۷)، و ژاکوب (۱۹۸۳) انجام شد که به دلیل کوچک بودن مدل‌ها قابل تعمیم نبود به نقل از (نورزاد و میرمردی، ۲۰۱۰). ژرارد دیگوت (۱۹۸۷) با بررسی روی ژئوتکستایل‌های به کار رفته در سدهای خاکی به عنوان زهکش دریافت که با وجود ژئوتکستایل بدون کمترین مقدار زیرشویی، زهکشی به طور کامل انجام می‌شود. هری و همکاران (۲۰۰۰) ماسه خشک را با لایه‌های مختلف ژئوتکستایل مسلح کردند و دریافتند که با استفاده از ۳ لایه ژئوتکستایل، استحکام نهایی و کشش محوری نمونه افزایش، و میزان آماس و اتساع آن کاهش می‌یابد. نورزاد و میرمردی (۲۰۱۰)، با مسلح‌سازی نمونه رسی با لایه‌های ژئوتکستایل، دریافتند که با افزایش تعداد لایه‌ها، زاویه اصطکاک داخلی نمونه افزایش می‌یابد.

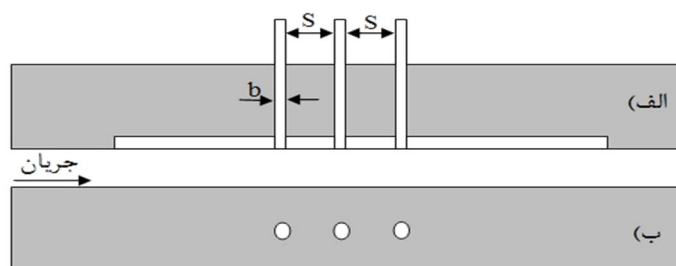
در این پژوهش بهترین الگوی پوشش ژئوتکستایل در کاهش آب‌شستگی گروه پایه‌ها بررسی و با تک پایه مقایسه شده است.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این پژوهش در فلوم آزمایشگاهی مستقر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد انجام شده است. این فلوم دارای مقطع مربع مستطیل به ابعاد ۶۰ در ۶۰ سانتی‌متر و طول ۲۰ متر است. دو دستگاه جک هیدرولیکی آماده شده در دو انتهای فلوم امکان تغییر شیب طولی آن را



شکل ۲- الف) پروفیل طولی (ب) پلان محل نصب سکوها و منطقه مورد آزمایش



شکل ۳- الف) پروفیل طولی (ب) پلان جانمایی و فاصله پایه‌ها

کمک آزمایش دانه‌بندی، قطر متوسط اندازه ذرات ماسه انتخاب شده برابر  $0.81/0.15$  میلی‌متر با انحراف معیار  $1/15$  به دست آمد و با استفاده از دیاگرام اصلاح شده شیلدز نیز سرعت برشی آستانه حرکت ذرات آن  $u_{*c} = 0.19$  تخمین زده شد.

با توجه به اینکه آب‌شستگی در شرایط آب زلال بررسی می‌شود پس باید  $u < u_c$  بوده و طبق نظر رودکیوی (۱۹۹۸) نسبت این دو پارامتر (سرعت متوسط بر سرعت بحرانی) در حدود  $0.95$  باشد تا حداکثر عمق آب‌شستگی اتفاق بیفتد. قبل از نصب پایه، با انجام متعدد آزمایش‌ها (بدون حضور پایه) مشاهده شد که عمق آستانه حرکت ذرات برابر  $27\text{cm}$  است پس با توجه به معیار رودکیوی (۱۹۹۸) برای حادث شدن بیشینه عمق آب‌شستگی  $(u/u_c \approx 0.95)$  عمق جریان برابر  $29\text{cm}$  انتخاب شد. با انتخاب این عمق برای ادامه آزمایش‌ها و با توجه به اندازه قطر پایه  $(d=5\text{cm})$  امکان تشکیل گرداب‌های موج کمانی ناشی از کم‌عمق بودن جریان غیرممکن است. لازم به ذکر است که اتما (۱۹۸۰) عدم شکل یافتن این پدیده را برای  $y/d > 3$  گزارش کرده است. شرایط هیدرولیکی جریان مربوط به آزمایش‌های این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

ماسه دانه‌بندی شده مواد بستر به شکلی انتخاب شد که در بستر منطقه آزمایش ریپل تشکیل نشود. ریپل‌ها در رسوبات غیرچسبنده با اندازه متوسط  $0.05$  تا  $0.7$  میلی‌متر اتفاق می‌افتد، پس قطر متوسط رسوبات باید از  $0.7$  میلی‌متر بزرگ‌تر باشد. همچنین، برای حذف اثر اندازه رسوبات روی عمق آب‌شستگی باید  $25-20 < d_p/d_{50}$  باشد که در آن،  $d_p$  قطر پایه و  $d_{50}$  قطر متوسط ذرات مواد بستر است (زرزاتی و عزیز، ۱۳۸۰). از طرفی با توجه به اینکه غیریکنواختی رسوبات سبب کاهش آب‌شستگی موضعی می‌شود، توصیه می‌شود که رسوبات با دانه‌بندی یکنواخت برای انجام آزمایش‌ها استفاده شود. شرط یکنواخت بودن اندازه ذرات این است که  $\sigma_g < 1/3$  باشد که در آن  $\sigma_g = (d_{84.1}/d_{15.9})^{0.5}$  انحراف استاندارد هندسی ذرات است. با برقراری این شرط اثر غیریکنواختی رسوبات روی آب‌شستگی موضعی از بین می‌رود (ملویل و چیو، ۱۹۹۹).

با توجه به توضیحات بالا، در این پژوهش از یک نوع ماسه ریخته‌گری شسته شده گردگوشه با چگالی نسبی  $2/65$  استفاده شد. برای تأمین شرط یکنواختی ذرات رسوب، این مصالح به کمک دو الک متوالی شماره ۱۸ و ۲۵، و به کمک دستگاه شیکر سرند شدند و ذرات عبور یافته از الک ۱۸ و مانده روی الک ۲۵ برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد. به

جدول ۱- شرایط هیدرولیکی جریان در آزمایش

| Fr    | u/u <sub>c</sub> | u* <sub>c</sub> (m/s) | u <sub>c</sub> (m/s) | y/d | y(m) | d/d <sub>50</sub> | d <sub>50</sub> (mm) | b(mm) |
|-------|------------------|-----------------------|----------------------|-----|------|-------------------|----------------------|-------|
| ۰/۱۸۷ | ۰/۹۵             | ۰/۰۱۹۵                | ۰/۳۴۰                | ۵/۸ | ۰/۲۹ | ۶۱/۷              | ۰/۸۱                 | ۵۰    |

حالت پوشش به کار رفت. برای عدم ایجاد آبشستگی در لبه‌های ژئوتکستایل نازک‌ترین لایه موجود از آن انتخاب شد که مشخصات فیزیکی و مکانیکی آن در جدول ۲ آورده شده است.

ابعاد صفحات ژئوتکستایل مورد استفاده در آزمایش‌های این پژوهش شامل صفحات بیضی شکل، با اندازه‌های متفاوت به صورت نسبتی از قطر پایه بود که در شعاع‌های مختلف دور تا دور پایه استوانه‌ای را پوشش می‌داد و به همراه تیمار شاهد (بدون پوشش)، برای تعیین بهترین

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و مکانیکی صفحات ژئوتکستایل

| کمیت | روش آزمایش       | واحد             | مشخصه                               |
|------|------------------|------------------|-------------------------------------|
| ۴۰۰  | DIN EN ۲۹۰۷۳/۱   | g/m <sup>2</sup> | جرم در واحد سطح                     |
| ۴    | DIN EN ۲۹۰۷۳/۲   | mm               | ضخامت                               |
| ۲۶   | DIN EN ۲۹۰۷۳/۳   | KN               | حداکثر کشش طولی و عرضی              |
| ۴/۱  | DIN EN ISO ۱۲۲۳۶ | KN/m             | مقاومت سوراخ CBR                    |
| ۲/۴  | DIN EN ISO ۱۱۰۵۸ | mm/sec           | نفوذپذیری آب در جهت عمودی           |
| ۱۳۸۰ | ASTM D ۴۶۳۲      | N                | نیروی قابل انبساط و کشش طولی و عرضی |
| ۵۱۰  | ASTM D ۴۵۳۳      | N                | استحکام پارگی ذوزنقه در طول و عرض   |
| ۷۲۰  | ASTM D ۴۸۳۳      | N                | شاخص فشردن و مقاومت                 |

ژئوتکستایل آبشستگی مشاهده می‌شد میزان پوشش در آزمایش بعدی بزرگ‌تر و در غیر این صورت کوچک‌تر انتخاب می‌شد. لازم به توضیح است که انتخاب شکل و ابعاد اولیه برای محدوده پوشش ژئوتکستایل دور پایه با استفاده از درک و تجربه‌ای که از مشاهده الگوی جریان، نحوه آبشستگی و ابعاد گودال آبشستگی دور پایه در آزمایش‌های بدون حضور لایه ژئوتکستایل به دست آمد، انجام شده است.

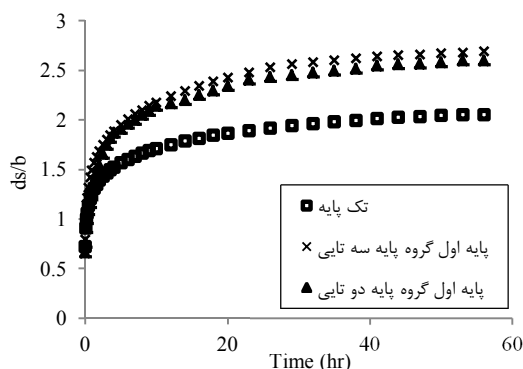
### نتایج و بحث

#### الف) آبشستگی بدون وجود لایه ژئوتکستایل

با مقایسه توسعه زمانی آبشستگی در کنار تک‌پایه و گروه پایه‌های دوتایی با توجه به شکل ۴ (عمق نهایی بی‌بعد آبشستگی نسبت به زمان) مشاهده می‌شود که در تمام مدت زمان آزمایش عمق آبشستگی پایه جلویی بیشتر از عمق آبشستگی تک‌پایه بوده و در پایه عقبی، عمق آبشستگی کمتر از مقادیر مربوط به تک‌پایه است که دلیل آن تاثیر پدیده تقویت‌کننده بر افزایش عمق آبشستگی پایه جلویی نسبت به تک‌پایه و اثر پدیده

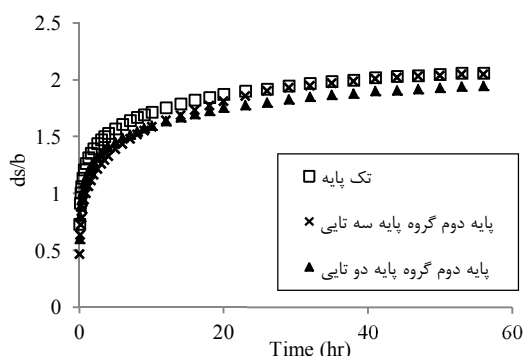
براساس معیار کومار و همکاران (۱۹۹۹) زمان تعادل مدت زمانی است که در سه ساعت متوالی تغییرات عمق آبشستگی کمتر از یک میلی‌متر باشد. با توجه به آزمایش انجام شده بدون پوشش ژئوتکستایل مشخص شد که بیش از ۹۴ درصد آبشستگی پس از ۲۲ ساعت انجام می‌شود و برای رسیدن به معیار کومار تمامی آزمایش‌ها به مدت زمان یکسان و به مدت ۵۶ ساعت ادامه یافت.

در این پژوهش به تعیین حداقل ابعاد لازم برای محدوده پوشش ژئوتکستایل برای کنترل آبشستگی در شرایط آبشستگی آب زلال پرداخته شده است و تاثیر تعداد پایه‌ها بر این ابعاد بررسی شده است. در این آزمایش‌ها بهترین الگوی ممکن قرارگیری لایه ژئوتکستایل دور تک‌پایه و گروه پایه دوتایی و سه‌تایی در شرایط نزدیک به آستانه حرکت، تعیین شده است. بدین منظور پس از برقراری دبی و عمق موردنظر در کانال، با آزمون و خطا حداقل محدوده پوشش ژئوتکستایل برای کنترل آبشستگی در دبی ۵۵lit/sec و نسبت سرعت متوسط به سرعت آستانه حرکت برابر ۰/۹۵، به دست آمد. با برقراری عمق جریان در کانال در صورتی که در اطراف لایه



شکل ۶- مقایسه تغییرات عمق آب‌شستگی در پایه اول گروه‌پایه‌های دوتایی و سه‌تایی با تک‌پایه

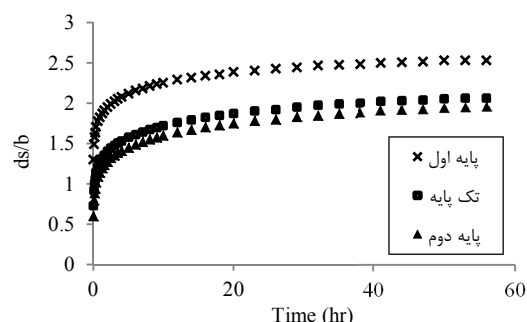
با توجه به شکل ۷ مشاهده می‌شود که عمق آب‌شستگی در پایه دوم گروه‌پایه سه‌تایی بیشتر از عمق آب‌شستگی پایه دوم گروه‌پایه دوتایی است. در گروه‌پایه سه‌تایی تأثیر پدیده تقویت‌کننده پایه اول نسبت به اثر پدیده حفاظت‌کننده پایه دوم سبب نزدیک شدن روند تغییرات عمق آب‌شستگی در پایه دوم به تک‌پایه شده است.



شکل ۷- مقایسه تغییرات عمق آب‌شستگی در پایه دوم گروه‌پایه‌های دوتایی و سه‌تایی با تک‌پایه

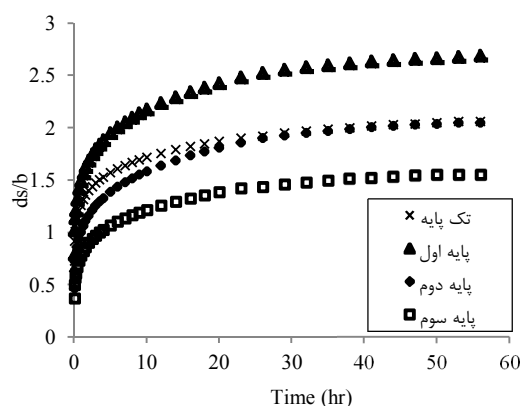
شکل ۸ سطح گودال آب‌شستگی در تک‌پایه و گروه‌پایه‌های دوتایی و سه‌تایی را نشان می‌دهد. در پایه جلویی گروه‌پایه‌های دوتایی و سه‌تایی ابعاد گودال آب‌شستگی به دلیل پدیده تقویت‌کننده به ترتیب ۱۸ و ۳۹ درصد نسبت به تک‌پایه افزایش یافته است. لازم به ذکر است که در گروه‌پایه سه‌تایی پایه اول تحت تأثیر پدیده تقویت‌کننده پایه‌های دوم و سوم است در حالیکه در گروه‌پایه دوتایی پایه اول تنها تحت تأثیر پدیده تقویت‌کننده پایه دوم می‌باشد، لذا ابعاد گودال آب‌شستگی در گروه‌پایه‌های سه‌تایی ۲۱ درصد بیشتر از گروه‌پایه‌های دوتایی است.

حفاظت‌کننده بر کاهش عمق آب‌شستگی پایه عقبی، نسبت به تک‌پایه است.

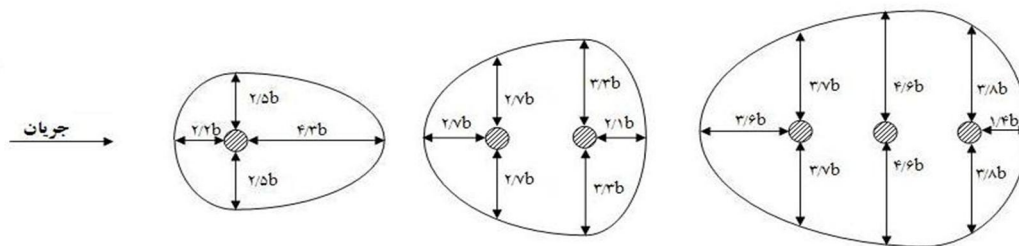


شکل ۴- مقایسه توسعه زمانی عمق آب‌شستگی در تک‌پایه و گروه‌پایه دوتایی به فاصله ۳d

توسعه زمانی عمق آب‌شستگی گروه‌پایه سه‌تایی به فاصله ۳d در مقایسه با تک‌پایه در شکل ۵ مشاهده می‌شود. توجه به این شکل در تمام مدت آزمایش عمق آب‌شستگی در پایه دوم کمتر از عمق آب‌شستگی در پایه اول و عمق آب‌شستگی در پایه سوم به ترتیب در حدود ۱۰ و ۵۰ درصد کمتر از عمق آب‌شستگی در پایه‌های اول و دوم می‌باشد. پایه اول گروه‌پایه سه‌تایی تحت تأثیر پدیده تقویت‌کننده پایه‌های دوم و سوم است، در حالیکه پایه اول گروه‌پایه دوتایی فقط تحت تأثیر پایه دوم است که همین عامل سبب افزایش عمق آب‌شستگی در پایه اول گروه‌پایه سه‌تایی نسبت به تک‌پایه و گروه‌پایه دوتایی می‌شود. در گروه‌پایه دوتایی، پایه دوم فقط تحت تأثیر پدیده حفاظت‌کننده پایه اول است در حالیکه پایه سوم در گروه‌پایه سه‌تایی، تحت تأثیر پدیده حفاظت‌کننده پایه‌های اول و دوم است (شکل ۶).

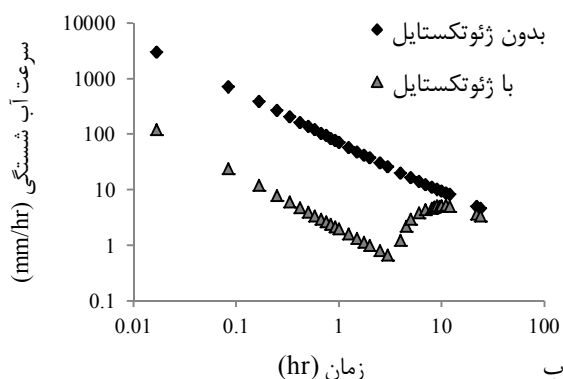


شکل ۵- مقایسه توسعه زمانی عمق آب‌شستگی در تک‌پایه و گروه‌پایه سه‌تایی به فاصله ۳d



شکل ۸- سطح گودال آب‌شستگی در تک‌پایه و گروه‌پایه‌های دوتایی و سه‌تایی

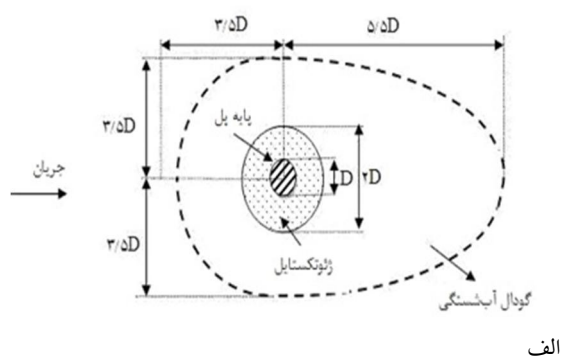
دامنه آب‌شستگی تا پایه ادامه یافته و در حال حفر گودال بود این در حالی است که این فرآیند در جوانب، بعد از  $4/5 \text{ hr}$ ، و در پشت پایه بعد از  $8/5 \text{ hr}$  شروع شد. با توسعه عمقی گودال و خالی شدن زیرلایه ژئوتکستایل، لبه‌های لایه به دلیل انعطاف‌پذیر بودن، به سمت پایین خم شده و از سرعت حفر گودال کاسته می‌شود. شکل ۹ حالت مقایسه‌ای توسعه آب‌شستگی بین این حالت، و آزمایش بدون وجود لایه ژئوتکستایل را نشان می‌دهد.



ب

### ب) شکل و ابعاد لازم برای محدوده پوشش ژئوتکستایل

برای تعیین الگوی پوشش مناسب، با آزمون سعی و خطا، پوشش دایروی و بیضوی در کنار تک‌پایه و گروه‌پایه‌ها قرار گرفت. با قرار دادن پوشش دایروی با ابعاد ۲ برابر قطر پایه در کنار تک‌پایه مشاهده شد که پس از ۱ ساعت در طرفین لایه، آب‌شستگی ادامه داشته و به سمت بالادست در حال گسترش بود به طوری که در بالادست بعد از  $4 \text{ hr}$



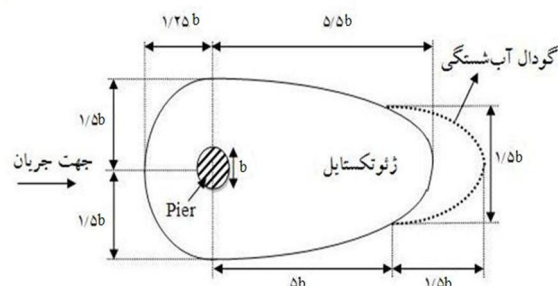
الف

شکل ۹- (الف) ابعاد گودال حفر شده در کاربرد لایه دایروی و (ب) منحنی مقایسه‌ای سرعت آب‌شستگی در دو حالت با و بدون لایه محافظ

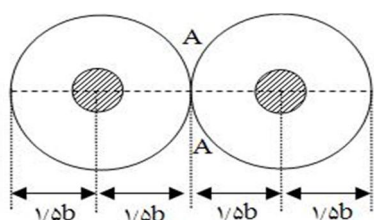
پیشنهادی کیخایی و همکاران (۱۳۸۷) در تعیین مناسب‌ترین الگوی پوشش سنگ‌چین نزدیک است. شکل ۱۱ ابعاد پوشش دایروی منقطع در کنار گروه‌پایه دوتایی را نشان می‌دهد. در این حالت گرداب‌های برخاستگی به دلیل عامل حفاظ پایه اول بر پایه عقبی، اثری بر ایجاد آب‌شستگی در پشت پایه مانند تک‌پایه نداشته و فقط در حدفاصل دو لایه (ناحیه A) دو شیار به وجود آمد که به دلیل تأثیر پدیده تقویت کننده پایه دوم، این ناحیه دچار تنش شده و شیار به وجود آمده به سمت جلو پایه گسترش یافت. با رسیدن شیارها به جلو پایه، آب‌شستگی در زیر لایه شروع شده که به دلیل تشکیل

مقایسه نتایج حاصل نشان می‌دهد پوشش دایروی مذکور در کنترل آب‌شستگی کارایی نداشته و در آزمایش‌های بعدی ابعاد لایه بزرگ‌تر در نظر گرفته شد. کارایی ۸ الگوی متفاوت در محافظت تک‌پایه بررسی شد و در نهایت الگوی مناسب برای پوشش دور تک‌پایه تعیین شد. با قرار دادن لایه با این الگو پس از ۱۹ ساعت اولین نشانه‌های آب‌شستگی در محدوده پایین دست مشاهده شد که پیشروی طولی و عرضی آن تا پایان آزمایش در حدود  $3 \text{ cm}$  بود و عمق آن نیز به  $0.5 \text{ cm}$  می‌رسید. شکل ۱۰ شمایی از این لایه و ابعاد حفره آب‌شستگی در کنار آن را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که این الگو به الگوی

طوقه و سنگ‌چین نشان می‌دهد که ژئوتکستایل به شکل دایروی عملکرد ضعیف‌تری نسبت به طوقه با همان ابعاد دارد ولی با آرایش نیم‌بیضی بهتر از سنگ‌چین عمل می‌کند.



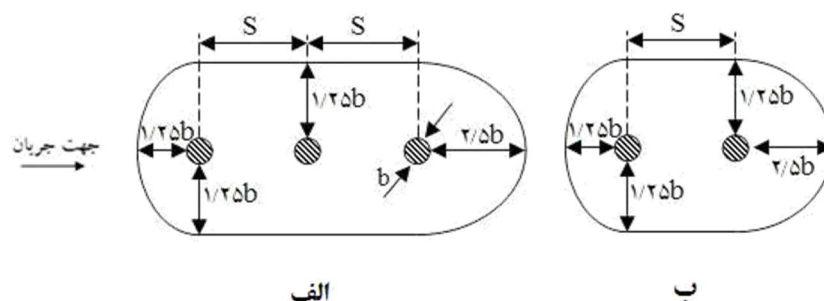
شکل ۱۰- مناسب‌ترین ابعاد لایه ژئوتکستایل



شکل ۱۱- ابعاد پوشش دایروی منقطع در کنار گروه پایه دوتایی

گرداب‌های نعل اسبی نرخ آب‌شستگی افزایش می‌یافت. بنابراین استفاده از الگوی منقطع برای گروه پایه‌ها مناسب تشخیص داده نشد و از الگوی پیوسته استفاده شد. ابعاد پیشنهادی لایه ژئوتکستایل برای گروه پایه‌های دوتایی و سه‌تایی در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود.

با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که مناسب‌ترین شکل برای جلوگیری از آب‌شستگی بستر در اطراف گروه پایه‌ها با توجه به شرایط هیدرولیکی حاکم، آرایش نیم‌بیضی است به طوری که محدوده پوشش در پشت پایه بیشتر از جلو پایه است. مقایسه محدوده پوشش در کنار تک‌پایه و گروه پایه نشان می‌دهد که طول محدوده پوشش در پشت تک‌پایه به مراتب بیشتر از گروه پایه است که دلیل آن تأثیر سیستم گردابی ایجاد کننده آب‌شستگی در پشت پایه است. در گروه پایه‌ها محدوده پوشش نسبت به تک‌پایه در پشت پایه به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته است. این کاهش به دلیل اثر عامل حفاظت‌کننده پایه‌های جلویی در گروه پایه‌ها است. همچنین به دلیل اثر پدیده تقویت‌کننده در گروه پایه‌ها محدوده پوشش در جلو پایه نسبت به تک‌پایه در حدود ۴۰ درصد افزایش یافت. مقایسه الگوی پیشنهادی با بررسی‌های انجام شده روی



شکل ۱۲- ابعاد پیشنهادی لایه ژئوتکستایل برای گروه پایه‌های دوتایی و سه‌تایی

بیضوی است به طوری که محدوده پوشش در پشت پایه بیشتر از جلو پایه باشد.

#### منابع

۱. زراتی ا. و عزیزی م. ۱۳۸۰. کنترل آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل. نشریه دانشکده فنی دانشگاه تهران. ۳۵(۱): ۲۱-۳۳.
۲. کیخایی م. حیدرپور م. و موسوی س. ف. ۱۳۸۷. بررسی الگوی پوشش سنگ‌چین در محل احداث گروه پایه‌های استوانه‌ای در پل‌ها. مجله علوم و فنون

#### نتیجه‌گیری

در این مقاله تأثیر لایه ژئوتکستایل در کاهش عمق آب‌شستگی در تک‌پایه و گروه پایه‌های استوانه‌ای برای تعیین ابعاد بهینه لایه محافظ بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد که پوشش ژئوتکستایل در کنار تک‌پایه به دلیل تأثیر گرداب‌های برخاستگی تا فاصله بیش از  $5d$  از پایه وجود دارد و به همین دلیل نمی‌توان از الگوی منقطع در کنار گروه پایه‌ها استفاده کرد. همچنین مشاهده شد که مناسب‌ترین شکل برای جلوگیری از آب‌شستگی بستر در اطراف گروه پایه‌ها آرایش نیم‌بیضی، و در تک‌پایه آرایش



کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۳(۴۹):۱۳-۲۹.

3. Alabi P. D. 2006. Time Development of Local Scour at Bridge Pier Fitted with a Collar. MS thesis, University of Saskatchewan, Canada. 211 p.
4. Ashtiani B. A. and Beheshti A. A. 2006. Experimental Investigation of Clear-Water Local Scour at Pile Groups. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 132(10):1100-1104.
5. Breusers N. H. C. Nicollet G. and Shen H. W. 1977. Local Scour around Cylindrical Piers. Journal of Hydraulic Research. IAHR. 15(3):211-252.
6. Chiew Y. M. 2004. Local Scour and Riprap Stability at Bridge Piers in a Degrading Channel. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 130(3):218-226.
7. Degoutte G. 1987. Practical examples of geotextile used in small earth dams. Journal of Geotextile and Geomembran. 5(4):239-250.
8. Ettema R. 1980. Scour at Bridge Piers. Rep. No. 112, Department of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand. 118 p.
9. Hannah C. R. 1978. Scour at Pile Groups. Research Rep. No. 78-3, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand. pp. 18-40.
10. Hari S. M. Noorzad R. and Oskoorouchi A. M. 2000. Effect of Geotextile Reinforcement on the Mechanical Behavior of Sand. Journal of Geotextile and Geomembran. 18(6):385-402.
11. Kummar V. RangaRaju K. G. and Vittal N. 1999. Reduction of Local Scour around Bridge Piers Using Slot and Collar. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 125(12):1302-1305.
12. Melville B. W. and Chiew Y. M. 1999. Time Scale for Local Scour at Bridge Piers. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 125(1):59-65.
13. Nazariha M. 1996. Design Relationships for Maximum Local Scour Depth for Bridge Pier Groups. PhD Dissertation, University of Ottawa, Canada. 122 p.
14. Noorzad R. and Mirmoradi S. H. 2010. Laboratory Evaluation of the Behavior of a Geotextile Reinforced Clay. Journal of Geotextile and Geomembran. 28(4):386-392.
15. Raudkivi A. J. 1998. Loose Boundary Hydraulics. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherland. 198 p.
16. Raudkivi A. J. and Ettema R. 1983. Clear Water Scour at Cylindrical Piers. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE. 109(3):338-350.

