مطالعه آزمایشگاهی تأثیرات هد آب و خاصیت خمیری خاک مبنا بر عملکرد سیستم خاک - فیلتر

علی‌رضا اردکانی [۱] و سیدشهاب‌الدین یثربی *[۲]
[۱] دانشجوی دکترای مهندسی عمران- ژئوتکنیک، دانشگاه تربیت مدرس
[۲] دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

چکیده

محافظت سدهای خاکی در برابر فرسایش بر عهده فیلتر می‌باشد. آزمایش فیلتر مانع فرسایش NEF، توانایی خوبی در ارزیابی عملکرد سیستم خاک مبنا-فیلتر دارد. این آزمایش و معیارهای بدست آمده از آن، مورد تایید موسسه‌های ICOLD و USBR قرار گرفته است. این آزمایش در مراجعی همچون ASTM و غیره ذکر نشده و روش واحد و استاندارد برای انجام این آزمایش موجود نیست. در این تحقیق با استفاده از سه خاک مبنا با خاصیت خمیری متفاوت، و انجام آزمایش‌های NEF، اثر تغییرات خاصیت خمیری و هد آب، بر نتایج آزمایش‌ها بررسی شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که میزان هد آب مورد استفاده، به عنوان نیروی فرسایش دهنده و خاصیت خمیری خاک مبنا، به عنوان عامل پیوستگی ذرات، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد سیستم خاک مبنا-فیلتر دارد.

واژگان کلیدی: فیلتر، سدهای خاکی، آزمایش NEF، هد آب، خاصیت خمیری.

۱- مقدمه

رگاب و فرسایش داخلی، یکی از مهمترین عوامل خرابی در سدهای خاکی بزرگ می‌باشد. بطوری که که تقریباً دو درصد سدهای خاکی با ارتفاع بیش از ۱۵ متر در عمرشان این پدیده را تجربه کرده‌اند [۱]. از آنجایی که وظیفه فیلتر، محافظت سدهای خاکی در برابر فرسایش می‌باشد، فیلتر اساسی‌ترین بخش سد، بعد از هسته قلمداد می‌شود.

شروع مطالعات فیلتر از دهه ۱۹۲۰ می‌باشد، که ترزاقی معیار معروف اندازه دانه‌ها را برای فیلتر ارائه داد [۲]. مطالعات فیلتر در در دو گروه عمده مطالعات عددی و آزمایشگاهی ادامه پیدا کرده است. از آنجا که روش‌های آزمایشگاهی می‌توانند عوامل متعدد حاکم بر سیستم خاک - فیلتر را تحت پوشش قرار دهند و با توجه به پیچیدگی‌های مربوط به مدل‌سازی عددی خصوصاً در مورد خاک‌های چسبنده، این روش‌ها مناسبترین روش برای بررسی عملکرد فیلتر می‌باشند [۳]. با توجه به لزوم در نظر گرفتن ترک‌خوردگی هسته در عملکرد فیلتر، مطالعات فیلتر در دهه ۱۹۸۰ توسط Sherard و همکاران دچار تحولات اساسی گردید. بطوریکه از آن زمان مفهوم فیلتر بحرانی، که لازم است از فرسایش خاک مبنای ترک خورده، تحت جریان شدید ناشی از جریان متمرکز جلوگیری کند، گسترش یافت [۴]. درنتیجه از آن زمان، ایجاد شیار یا سوراخ برای مدل کردن ترک خوردگی هسته، درنظر گرفته شد و در پی آن آزمایش فیلتر مانع فرسایش توسط آن محققین ارائه گردید. برخلاف سایر آزمایش‌های مطرح در مورد سدهای خاکی، آزمایش فیلتر مانع فرسایش در مراجعی همچون ASTM و غیره ذکر نشده و روش واحد و استانداردی، برای انجام آن در دسترس نیست [۵]. ولی این آزمایش مورد تأیید موسسات بزرگی همچون ICOLD و USBR می‌باشد [۶ و ۷].

۲- آزمایش فیلتر مانع فرسایش NEF

Sherard و همکاران آزمایش فیلتر مانع فرسایش یا NEF که علاوه بر تکرارپذیری، توانایی خوبی در ارزیابی عملکرد مجموعه‌ای از خاک مبنا - فیلتر را داشت، ارائه دادند. این آزمایش به صورت کامل در مقاله سال ۱۹۸۹ Sherard و Dunnigan [۴] منعکس شده است. دستگاه از یک استوانه پلاستیکی به عنوان سلول اصلی تشکیل شده که دارای دو سرپوش بالایی و پایینی است و شیرهای ورود و خروج آب و هوا روی آنها تعبیه شده است. از پایین در سلول به ترتیب زه‌کش شنی، فیلتر مورد آزمایش که تحت سرباری معادل ۱۰ کیلوگرم و ارتعاش همزمان به تراکم نسبی حدود ۸۰-۱۰۰ درصد رسیده باشد، خاک هسته که در شرایط نزدیک به رطوبت بهینه و دانسیته ماکزیمم متراکم شده باشد و در نهایت لایه زه‌کش شنی

* نویسنده مسئول
دریافت ۸۸/۱۰/۱۵ پذیرش ۸۹/۳/۲۳

Archive of SID
www.SID.ir

قرار می‌گیرد. شرایط بحرانی یا ترک در هسته با یک سوراخ به قطر ۱ میلیمتر برای خاک ریزدانه و ۵ تا ۱۰ میلیمتر برای خاک درشت‌دانه مدل می‌شود. پس از اشباع کردن نمونه و خروج هوای موجود، با ورود آب با فشار معینی، آزمایش شروع شده و حدود ۱۰ دقیقه طول می‌کشد و در پی آن میزان تغییرات قطر سوراخ و تغییرات دبی و شفافیت آب خروجی مورد بررسی قرار می‌گیرد. هرچه افزایش قطر سوراخ کمتر باشد، حاکی از این است که فیلتر در کنترل فرسایش عملکرد بهتری داشته است. بنابراین فیلتری موفق است که قطر سوراخ موجود در هسته آن تقریباً بدون تغییر باقی‌بماند [۴].

۳- میزان هد آب مورد استفاده در آزمایش‌های NEF

یکی از مواردی که در آزمایش‌های محققین مختلف متفاوت است، میزان هد یا فشار آب ورودی است. Sherard و Dunnigan [۴] در آزمایش‌های خود از لوله‌کشی آب شهری با هد ۴۱۳ کیلوپاسکال استفاده کرده‌اند و این میزان فشار آب را برای انجام آزمایش‌ها کافی دانسته‌اند. Goldworthy [۸] در آزمایش‌های NEF خود از فشار ۱۰۰ کیلو پاسکال استفاده کرده است. وی بیان نموده که از این فشار با توجه به هندسه و ارتفاع سدهای منطقه استفاده کرده است. به عبارت دیگر این محقق معتقد است که فشار آب مورد استفاده در آزمایش NEF، لازم است با توجه به هندسه و ارتفاع سدی که قرار است با آن مصالح ساخته شود، تنظیم شود. Foster و Fell [۹] در آزمایش‌های NEF و CEF (Continuing Erosion Filter) خود از فشار ۲۴۰ الی ۳۰۰ کیلو پاسکال استفاده کرده‌اند. لازم به توضیح است که تفاوت آزمایش CEF با آزمایش NEF در ابعاد سلول، ضخامت خاک مبنا و بررسی مرزهای فرسایش می‌باشد. Delgado و Locke [۱۰] بیان می‌کنند که فشارهای کمتر از ۲۰۰ کیلو پاسکال برای آزمایش NEF کافی نیست.

۴- تأثیر خاصیت خمیری بر عملکرد سیستم خاک- فیلتر

Sherard و Dunnigan [۴] بیان می‌کنند، که خاصیت خمیری خاک مبناء تأثیر مشخصی بر نتایج آزمایش NEF ندارد [۴]. همچنین ICOLD و USBR که از معیارهای آنها استفاده می‌کنند، هیچگونه تأثیری ناشی از خاصیت خمیری را بر طراحی فیلتر یا عملکرد سیستم خاک- فیلتر در نظر نگرفته‌اند [۶ و ۷]. البته Locke و Indraratna [۱۱] در معیاری که برای طراحی فیلتر برای خاک‌های دارای دانه‌بندی گسترده برمبنای آزمایش‌های NEF ارائه داده‌اند، تأثیر خاصیت خمیری خاک مبنا را بصورت محدود درنظر گرفته‌اند، بطوری که معیار طراحی آنها بر خاک‌های دارای خاصیت خمیری بیشتر و کمتر از ۱۰ درصد، متفاوت می‌باشد. Wan و Fell [۱۲] با انجام آزمایش فرسایش شیار و سوراخ، مفهوم اندیس نرخ فرسایش و تنش‌برشی بحرانی را تعریف کردند. آنها بیان می‌کنند که شاخص خمیری یکی از عوامل موثر بر نرخ فرسایش در خاک‌های ریزدانه می‌باشد.

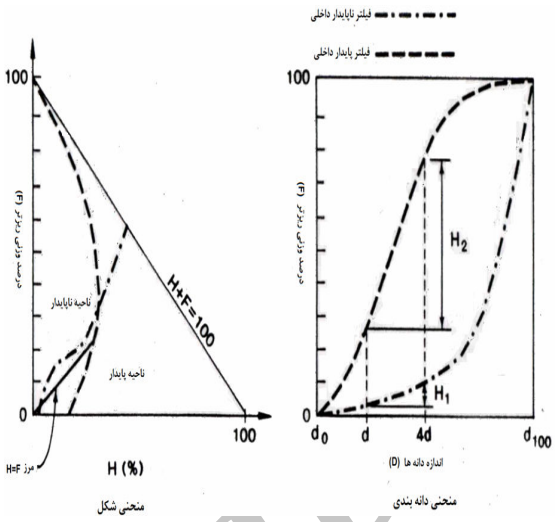
۵- کنترل پایداری داخلی

فیلترها قبل از هرچیز باید در برابر فرسایش دانه‌های خود مقاوم باشند. پتانسیل فیلتر در نگهداری ریزدانه‌های خود و جلوگیری از فرسایش آنها، تحت عنوان پایداری داخلی فیلتر تعریف می‌شود. از آنجایی که در اثر تغییر هد، میزان نیروهای ناشی از تراوش تغییر می‌کند، ممکن است تغییر این نیروها به عنوان عامل محرک، باعث ناپایداری داخلی فیلتر شود. در نتیجه لازم است پایداری داخلی مصالح فیلتر بررسی شود.

روش kenney و Lau [۱۳] جزو جامع‌ترین روش‌ها برای کنترل پایداری خاک است. علت برتری این روش آنست که برای دامنه وسیعی از خاک‌های دانه‌ای ارائه شده است و بر همین اساس توسط کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ به عنوان روشی مطمئن پیشنهاد شده است [۶]. مطابق شکل (۱)، در این روش با توجه به منحنی دانه‌بندی (D-F)، منحنی دیگری که منحنی شکل (H-F) خوانده می‌شود، ترسیم می‌شود. F، درصد عبوری متناظر با هر اندازه D، در منحنی دانه‌بندی می‌باشد و براساس آن، پارامتر H بعنوان درصدی از دانه‌ها که در محدوده اندازه D و 4D قرار دارند، تعیین می‌گردد. اگر منحنی شکل تولید شده در زیر خط معیار H=F واقع شود، در ناحیه پایدار خواهد بود و در غیر اینصورت ناپایدار داخلی است. البته محدوده کنترلی برای خاک‌های مختلف متفاوت است. برای این منظور kenney و Lau [۱۳] دو دسته خاک را معرفی کرده‌اند. گروه اول خاک‌های NG بوده که به خاک‌هایی اتلاق می‌شود که دارای ضریب یکنواختی کمتر از ۳ هستند و گروه دوم دارای ضریب یکنواختی بیشتر از ۳ بوده و WG خوانده می‌شوند. برای تشخیص پایداری و یا ناپایداری داخلی در خاک‌های دانه‌ای، محدوده صفر تا سی درصد H برای خاک‌های NG و صفر تا بیست درصد H برای خاک‌های WG معیارکنترل می‌باشد.

Archive of SID

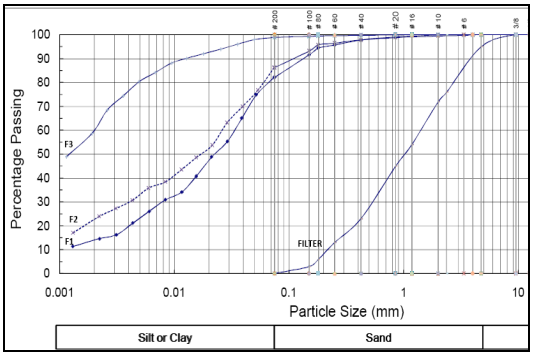
www.SID.ir



شکل ۱- طریقه رسم منحنی شکل و تشخیص پایداری داخلی به روش kenney و Lau [۱۳]

۶- آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق

در این تحقیق از محل سدهای خاکی در حال احداث، سه نوع خاک ریزدانه (مبنا)، انتخاب شده است. نحوه گزینش خاک‌های مبنا براساس تفاوت در خاصیت خمیری و غیرواگرا بودن آنها بوده است. همچنین به منظور حذف اثر تغییرات دانه‌بندی، سعی شده است که منحنی دانه‌بندی خاک‌های F1 و F2 مشابه هم باشند، به طوری که بتوان اثر تغییر خاصیت خمیری، بدون در نظر گرفتن منحنی دانه‌بندی را بررسی کرد. در شکل (۲) منحنی‌های دانه‌بندی خاک‌های مبنا و فیلتر نشان داده شده است. همچنین در جدول‌های (۱)، (۲) و (۳) مشخصات فیلتر و خاک‌های مبنا مورد استفاده نمایش داده شده است.



شکل ۲- نمودارهای دانه‌بندی خاک‌های مبنا و فیلتر مورد استفاده

جدول ۱- مشخصات فیلتر مورد استفاده در آزمایش‌های NEF

D_5 (mm)	D_{10} (mm)	D_{15} (mm)	D_{30} (mm)	D_{60} (mm)	C_u	C_C	F_C (٪)	K (cm/s)
0.17	0.22	0.28	0.53	1.41	6.41	0.91	0	0.031

D_x: قطر نظیر x درصد عبوری

$C_u = D_{60} / D_{10}$

$C_c = D_{30}^2 / (D_{60} \times D_{10})$

F_c : درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰#

K: نفوذپذیری

جدول ۲- مشخصات خاک مبنا در آزمایش‌های NEF

نام	رنگ	F_c (٪)	درصد رس	درصد سیلت	D_{95} (µm)	D_{85} (µm)	پین هول
F1	قهوه‌ای مایل به سرخ	82	15	67	210	92	ND1
F2	قهوه‌ای روشن	86	23	63	171	72	ND1
F3	قهوه‌ای تیره	99	60	39	30	7	ND2

F_c : درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ (۷۵ میکرون) در منحنی دانه‌بندی

D_{85} : قطر نظیر ۸۵ درصد عبوری در منحنی دانه‌بندی

فیلتر مورد استفاده با توجه به نتایج چند آزمایش NEF اولیه برروی خاک F1 تعیین شده است. بطوری که توسط این آزمایش‌ها، اندازه تقریبی D_{15} فیلتر کاملاً موفق و فیلتر مرز حالت ناموفق و نیمه موفق برای خاک F1 تعیین شده است و سپس با میانگین‌گیری از مقادیر D_{15}، منحنی دانه‌بندی فیلتر مورد استفاده تعیین شده است. همچنین پایداری داخلی فیلتر، به روش مذکور بررسی شده است و منحنی شکل برای فیلتر آزمایش شده در شکل (۳) رسم شده است. با توجه به ضریب یکنواختی فیلتر (C_u) که بزرگتر از ۳ می‌باشد و قرارگیری منحنی شکل در زیر خط معیار (H=F) در ناحیه صفر تا بیست درصد H، فیلتر مورد استفاده پایدار داخلی می‌باشد و می‌توان مطمئن بود که این پارامتر در نتایج آزمایش‌ها دخیل نمی‌باشد.

جدول ۳- خواص تراکم و خمیری خاک‌های مبنا

نام	$\gamma_{d,max}$ (gr/cm^3)	ω_{opt} (٪)	LL (٪)	PL (٪)	PI (٪)
F1	1.85	20	23	--	NPI
F2	1.80	13.2	33	21	12
F3	1.63	16	68	29	39

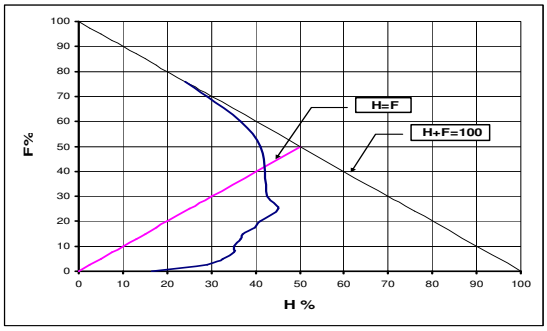
$\gamma_{d,max}$: دانسیته ماکزیمم خشک - ω_{opt}: درصد رطوبت بهینه- LL: حد روانی

PL: حد خمیری- PI: شاخص خمیری

با توجه به تفاوت دانه‌بندی خاک‌های مبنا، فیلتر مورد لزوم برای کنترل فرسایش خاک F3 به مراتب ریزتر از فیلتر مدنظر برای کنترل فرسایش خاک‌های F1 و F2 می‌باشد. ولی از آنجایی که تأثیر تغییر منحنی دانه‌بندی فیلتر بر نتایج آزمایش‌ها مورد نظر نبوده، برای هر سه خاک مبنا از یک فیلتر استفاده شده است. در حقیقت بررسی شده است که آیا تغییرات خاصیت خمیری قادر به تغییر وضعیت عملکرد فیلتر می‌باشد یا نه.

Archive of SID

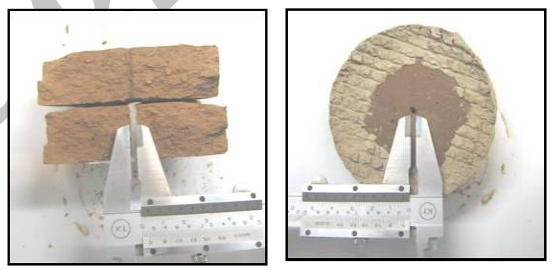
www.SID.ir



شکل ۳- آنالیز پایداری داخلی طبق روش kenney و Lau

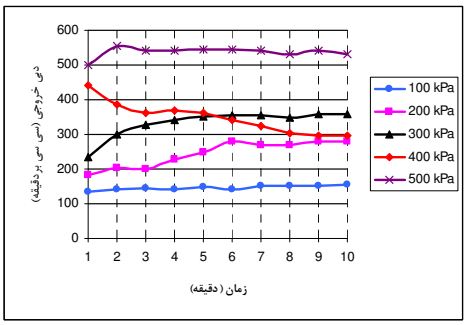
آزمایش‌های فیلتر مانع فرسایش در قالب ۱۵ گروه شامل ۳ نمونه خاک مبنا و ۵ هد مختلف انجام شد. همچنین برای اطمینان از صحت و تکرارپذیری آزمایش‌ها، هر آزمایش ۲ بار تکرار شده است.

برای بررسی دقیقتر تغییرات قطر سوراخ، بعد از انجام آزمایش، به داخل نمونه خاک مبنا موم تزریق شد و بعد از شکستن نمونه مطابق شکل (۴)، تغییرات سوراخ علاوه بر بالا و پایین، در مقطع خاک مبنا نیز بررسی شده است.

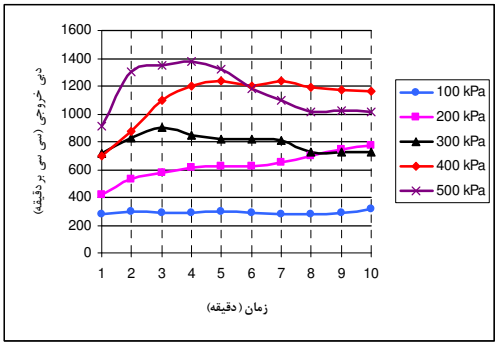


شکل۴- بررسی گشاد شدگی قطر سوراخ در پلان و مقطع

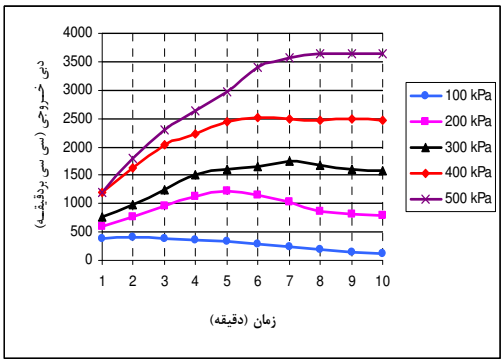
در شکل‌های (۵)، (۶) و (۷) نمودارهای دبی خروجی در طول آزمایش، برای هدهای ۱۰۰ الی ۵۰۰ کیلو پاسکال رسم شده است. همچنین در شکل (۸)، نمودار میانگین قطر سوراخ، در برابر هد آب مورد استفاده، برای هر یک از خاک‌های مبنا ترسیم شده است.



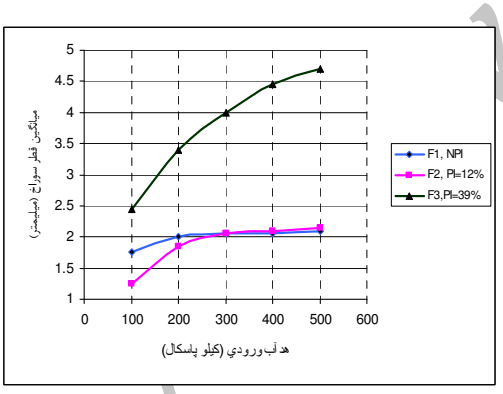
شکل ۵- تغییرات دبی در برابر هد آزمایش در خاک مبنا F1



شکل ۶- تغییرات دبی در برابر هد آزمایش در خاک مبنا F2



شکل ۷- تغییرات دبی در برابر هد آزمایش در خاک مبنا F3



شکل ۸- میانگین قطر سوراخ در برابر هد آب ورودی

۷- تحلیل نتایج

با توجه به مقدمات ذکر شده و نبود استاندارد واحد و نظرات مختلف محققین، هدف اصلی این تحقیق، تعیین تأثیرات میزان هد آب آزمایش و خاصیت خمیری خاک مبنا برنتایج آزمایش NEF و سیستم خاک- فیلتر می‌باشد. برای بررسی میزان اثر این تغییرات با توجه به ترکیبات مختلف هد آب، منحنی دانه‌بندی و خاصیت خمیری خاک‌های مبنای مورد استفاده، تأثیرات این پارامترها به صورت مجزا و همزمان بررسی شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۷-۱- تأثیر منحنی دانه‌بندی خاک مبنا بر میزان فرسایش

با توجه به شکل (۲) مشاهده می‌شود که خاک F3 دارای اندازه ذرات به مراتب ریزتری نسبت به خاک‌های F1 و F2 می‌باشد. همچنین خاک‌های F1 و F2 دارای منحنی دانه‌بندی تقریباً یکسانی می‌باشند. همانطوریکه در شکل (۸) نشان داده شده است، میزان فرسایش در خاک F3 به مراتب بیشتر از خاک‌های F1 و F2 می‌باشد، که در نتیجه ریزتر بودن منحنی دانه‌بندی این قرضه نسبت به دو قرضه دیگر می‌باشد. همچنین با توجه به نزدیکی منحنی دانه‌بندی خاک‌های F1 و F2، میزان فرسایش در این خاک‌ها بسیار نزدیک به هم می‌باشد. بنابراین مهمترین فاکتور یک خاک مبنا در عملکرد آن در یک سیستم خاک- فیلتر، (در صورتی که گرادیان هیدرولیکی یا هد اعمالی بحدی باشد که بتواند ذرات خاک مبنا را از هم جدا نماید) منحنی دانه‌بندی آن است. بنابراین هرچه منحنی دانه‌بندی خاک مبنا ریزتر باشد، ذرات خاک مبنا راحتتر می‌توانند از درون حفرات عبور کنند و در نتیجه میزان فرسایش بیشتر می‌شود. بطوریکه مطابق غالب معیارها و مطالعات گذشته، هرچه دانه‌بندی خاک مبنا ریزتر باشد، فیلتر ریزتری برای کنترل فرسایش لازم است.

۷-۲- تاثیر تغییرات هد آب بر میزان فرسایش

در کلیه خاک‌های مبنا با افزایش هد آب، میزان فرسایش افزایش یافته و یا ثابت مانده است. این افزایش فرسایش، در برابر افزایش هد برای خاک‌های مبنای F1 و F2، به ترتیب تا هد ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلو پاسکال ادامه پیدا کرده است و پس از آن متوقف شده است. در خاک F3 افزایش فرسایش ناشی از افزایش هد تا ۵۰۰ کیلو پاسکال ادامه پیدا کرده است. بنابراین از آنجا که افزایش هد، باعث افزایش نیروی فرسایشی می‌شود، می‌تواند بر میزان فرسایش خاک مبنا تأثیر داشته باشد. در نتیجه اگر میزان هد آب از یک حدی کمتر باشد، نمی‌تواند دانه‌های خاک را بطور کامل از هم جدا کند. این حد می‌تواند وابسته به خاصیت خمیری خاک باشد. همچنین اگر میزان هد آب، از آن حد بیشتر شود، اگر چه نیروی فرسایشی بیشتر می‌شود، ولی در صورت عملکرد مناسب فیلتر، میزان فرسایش ثابت می‌ماند.

۷-۳- تاثیر خاصیت خمیری خاک مبنا بر میزان فرسایش

با توجه به شکل (۸) و مقایسه نتایج بر روی خاک‌های مبنای F1 و F2 در هدهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال، مشاهده می‌شود که هرچه میزان خاصیت خمیری خاک مبنا بیشتر باشد، میزان فرسایش آن کمتر است. بطوریکه اگر چه خاک‌های مبنای F1 و F2 دارای منحنی دانه‌بندی تقریباً یکسان می‌باشند (حتی خاک F2 قدری ریزتر می‌باشد) ولی از آنجا که خاصیت خمیری خاک F2 بیشتر از خاک F1 می‌باشد، میزان فرسایش در آن در هدهای ۱ و ۲ بار، به مراتب کمتر از خاک F1 می‌باشد. بنابراین خاصیت خمیری به عنوان نیروی پیوستگی ذرات می‌تواند بر میزان فرسایش تأثیر داشته باشد.

۷-۴- اندرکنش منحنی دانه‌بندی و خاصیت خمیری خاک مبنا و میزان هد آب بر میزان فرسایش

همانطوریکه مشاهده شد، هر یک از نتایج بخش‌های ۷-۱ الی ۷-۳ در محدوده‌ای از شرایط دیگر صادق است. طبق بخش ۷-۱ هرچه منحنی دانه‌بندی ذرات خاک مبنا ریزتر باشد، میزان فرسایش در آن می‌تواند بیشتر شود، ولی این عامل در همه هدها صادق نیست. بطوریکه خاک F2 کمی ریزدانه‌تر از خاک F1 است، اما فرسایش آن در هدهای ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلو پاسکال کمتر است. همچنین مشاهده می‌شود که اگر چه خاصیت خمیری خاک F3 بسیار بیشتر از خاک‌های F1 و F2 است، اما از آنجایی که دارای منحنی دانه‌بندی به مراتب ریزتری است، میزان فرسایش در آن بیشتر است. بنابراین لازم است تأثیرات منحنی دانه‌بندی و خاصیت خمیری خاک مبنا بصورت هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرند.

با توجه به نتایج آزمایش‌ها روی خاک F3 مشاهده می‌شود که تأثیر منحنی‌دانه‌بندی می‌تواند به مراتب بیشتر از تأثیر خاصیت خمیری باشد. بطوریکه خاک F3 به مراتب ریزتر از خاک‌های دیگر است و خاصیت خمیری بالای آن، باعث نشده میزان فرسایش آن در مقایسه با سایر خاک‌ها کمتر شود. این مطلب برای کلیه هدها صادق است. همچنین مشاهده می‌شود تا میزان هد ۲ بار، میزان فرسایش در خاک F2 کمتر از F1 است، که حاکی از عدم کفایت هدهای کمتر از این میزان برای اطمینان از عملکرد سیستم خاک- فیلتر می‌باشد. در نتیجه هرچه خاصیت خمیری خاک مبنا بیشتر باشد، برای ایجاد بحرانی‌ترین شرایط، لازم است از هد بالاتری در آزمایش NEF استفاده کرد.

۷-۵- تغییرات دبی

با توجه به تکرارهایی که برای نتایج هر آزمایش انجام شد، مشخص شد که آزمایش NEF از نظر تکرارپذیری میزان فرسایش (قطر سوراخ) مناسب می‌باشد ولی از نظر تکرارپذیری دبی خروجی خیلی ایده‌آل نمی‌باشد. لازم به توضیح است که اندازه قطر سوراخ، خروجی اصلی آزمایش NEF می‌باشد و میزان دبی خروجی نقش کنترل کننده دارد.

همانطور که در شکل‌های (۵) ، (۶) و (۷) مشاهده می‌شود، با افزایش هد، میزان دبی خروجی افزایش پیدا می‌کند. همچنین

Archive of SID

www.SID.ir

با مقایسه این شکل‌ها مشاهده می‌شود که هر چه خاصیت خمیری افزایش پیدا کند، میزان دبی خروجی نیز افزایش پیدا کرده است. بخشی از این افزایش ناشی از بزرگتر بودن قطر سوراخ فرسایش است، بطوریکه براساس شکل (۸)، با توجه به اینکه افزایش قطر سوراخ در خاک F3 به مراتب بیشتر می‌باشد، دبی خروجی آن نیز بیشتر می‌باشد. اما با بررسی و مقایسه شکل‌های (۵)، (۶) و (۸) مشاهده می‌شود که اگر چه میزان فرسایش و افزایش قطر سوراخ در خاک F2 کمتر یا مساوی خاک F1 می‌باشد، اما همواره میزان دبی خروجی (در هر هد متناظر) در خاک F2 به مراتب بیشتر از خاک F1 است. دلیل این افزایش هد که بر خلاف روند افزایش فرسایش است، می‌تواند عدم خاصیت خمیری خاک F1 باشد که باعث شده در همان ثانیه‌های اول آزمایش بخشی از ذرات خاک مبنا واقع در جداره سوراخ ریزش کرده و باعث کاهش دبی شود. در نتیجه میزان تغییرات دبی خروجی در خاک F1 در مقایسه با سایر خاک‌ها کم می‌باشد.

درنتیجه میزان دبی خروجی علاوه بر میزان قطر سوراخ تحت تأثیر عواملی همچون خاصیت خمیری و میزان هد آب می‌باشد و امکان قضاوت در مورد عملکرد فیلتر، تنها از طریق میزان دبی خروجی امکان پذیر نمی‌باشد.

۸- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به تحلیل آزمایش‌ها، نتایج کلی این تحقیق عبارتنداز:

میزان هد آب یا گرادیان هیدرولیکی به عنوان ایجاد کننده نیروی فرسایشی و خاصیت خمیری خاک مبنا به عنوان نیرویی که مانع جدا شدن ذرات خاک مبنا می‌شود، می‌تواند در عملکرد سیستم خاک- فیلتر و نتایج آزمایش NEF موثر باشد. برای اطمینان از صحت عملکرد سیستم خاک- فیلتر، میزان هد آب مورد استفاده در آزمایش NEF باید در حدی باشد که بتواند بر خاصیت خمیری و چسبندگی ذرات خاک مبنا غلبه کند. بطوریکه هرچه خاصیت خمیری خاک مبنا بیشتر باشد، لازم است از هد بزرگتری در آزمایش استفاده کرد.

با توجه به این تحقیق و معیارهای موجود، مهمترین فاکتور خاک مبنای غیرواگرا در عملکرد آن در یک سیستم خاک- فیلتر، منحنی دانه‌بندی آن است و تأثیر خاصیت خمیری خاک مبنا هنگامی مطرح می‌شود که گرادیان هیدرولیکی یا هد آب اعمالی بحدی باشد که نتواند ذرات خاک مبنا را از هم جدا نماید.

مهمترین پارامتر خروجی آزمایش NEF، تغییرات قطر سوراخ می‌باشد و قضاوت اصلی براساس آن صورت می‌گیرد. اما توجه به پارامترهای خروجی دیگر مانند تغییرات دبی آب خروجی در کمک به قضاوت، خصوصاً در موارد مبهم ضروری می‌باشد.

۹- تشکر و سپاس

این کار تحقیقاتی با حمایت مالی معاونت امور پژوهشی سازمان مدیریت منابع آب ایران (دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی) انجام شده است، نویسندگان کمال قدردانی و سپاسگزاری را از سازمان فوق دارند.

۱۰- مراجع

[1] Fell, R., Wan, C.F., Cyganiewicz, J., Foster, M., "Time for Development of Internal Erosion and Piping in Embankment Dams", Journal of Geotechnical and Geoenviromental Engineering, ASCE, 2003, 129(4), 307-314.

[2] Sherard, J.L., Dunnigan, L.P., Talbot, J.P., "Basic properties of sand and gravel filters", Journal of Geotechnical Engineering, 1984, 110(6), 684-700.

[3] Yasrobi, S., Azad, A., "Assessment of Granular Filter Functioning in Embankment Dams", Eurosoil 2004 Congress, Freiburg, Germany, 4-12 September, 2004.

[4] Sherard, J.L., Dunnigan, P., "Critical Filters for Impervious Soils", Journal of Geotechnical Engineering, 1989, 115(7), 927-947.

[۵] خبرنامه انجمن ژئوتکنیک، دوره جدید، شماره ۶، مهرماه ۱۳۸۵.

[6] ICOLD. "Embankment Dams Granular Filters and Drains", Bulletin No. 95, 1994.

[7] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, "Design Standards No.13: Embankment Dams", United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, CO, 1994.

[8] Goldworthy, M.H., "Filter Tests – Direct or Indirect?", Geotechnique, 1990, 40(2), 281-284.

[9] Foster, M., Fell, R., "Assessing Embankment Dam Filters That Do Not Satisfy Design Criteria", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001, 127(5), 398-407.

[10] Delgado, R.F., Locke, M., "Design of Granular Filter: Guidelines and Recommendations For Laboratory Testing", Proceedings of the 3rd

Archive of SID

www.SID.ir

International Conference on Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering, Geofilters 2000, AABalkema, Warsaw, Poland, 2000, pp 115-122.

[11] Locke, M., Indraratna, B., "Filtration of Broadly Graded Soils: the Reduced PSD Method", Geotechnique, 2002, 52(4), 285-287.

[12] Wan, C.F., Fell, R., "Investigation of Rate of Erosion of Soils in Embankment Dams", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2004(30), 373-380.

[13] Kenney, T. C., Lau, D., "Internal Stability of Granular Filters", Canadian Geotechnical Journal, 1985, 22, 215-225.

Archive of SID

www.SID.ir