

# ارزیابی کارایی فیلتر در سدهای خاکی با استفاده از مدلسازی فیزیکی

## میثم معمار<sup>1</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران (مکانیک خاک و پی) دانشگاه آزاد اسلامی واحد استهبان

Email: maysam.memar@gmail.com

### خلاصه

یکی از اجزای مهم سد خاکی، سیستم فیلتر و زهکش آن می باشد. وظیفه اساسی این بخش مهم در سد خاکی آن است که ضمن اجازه به گذر آب از حد فاصل بین دو لایه مجاور هم، بدون ایجاد هر گونه تغییرات قابل ملاحظه در فشار، از مهاجرت ذرات ریز جلوگیری بعمل آورد. اما فراوانی فاکتورهای مؤثر در نحوه رفتار سیستم خاک-فیلتر و عدم کارایی پارامترهای متعارف ژئوتکنیک در معرفی ارتباط متقابل خاک و فیلتر، پیوسته محققان را در ارائه معیاری جامع برای طراحی فیلتر با چالش مواجه ساخته است. در این پژوهش با استفاده از مدل فیزیکی (آزمایش NEF) عملکرد فیلتر سد خاکی بررسی شده است. منحنی دانه بندی، دانسیته نسبی، نفوذپذیری خاک، شکل دانه ها، گرا دیان هیدرولیکی، مشخصات فیزیکی-شیمیایی، درصد ریزدانه، ضخامت فیلتر، پایداری داخلی فیلتر و .. علاوه بر مشکلاتی نظیر خاکهای واگرا از جمله عوامل مؤثر خواهند بود.

کلمات کلیدی: سد خاکی، فیلتر، آبشستگی، آزمایش NEF

### مقدمه

پدیده فیلتراسیون در حقیقت مهاجرت ذرات در یک محیط متخلخل تحت اثر تراوش است، که عوامل متعدد هندسی، فیزیکی، شیمیایی، هیدرولیکی و حتی بیولوژیکی بر آن مؤثرند. بهره گیری از مدل‌های آزمایشگاهی و فیزیکی کارآمدترین روش بررسی فیلتراسیون می باشد. زیرا در آزمایش اثر کلیه عوامل مؤثر بصورت همزمان در نظر گرفته می شود. با این نگرش، بررسی سیر تحول آزمایشهای فیلتر و معیارهای حاصل از آنها می تواند به درک صحیح عملکرد فیلتر و نیز طراحی بهینه آن کمک نماید.

آمارها نشان میدهند که تا سال ۱۹۸۶، ۴۸ درصد از تخریب سدهای خاکی بزرگ بر اثر پدیده آبشستگی و فرسایش داخلی بوده است. صرفنظر از علل متعدد شروع آبشستگی، برای جلوگیری از ادامه آن، در پایین دست و بالادست هسته از فیلتر استفاده می شود. فیلترها اولاً از شسته شدن و حرکت ذرات خاک مجاور جلوگیری می کنند و ثانیاً با تامین نفوذپذیری کافی، تخلیه جریان را آسان می نمایند. فیلتر دانه ای موفق، می تواند با عملکردی ساده از وقوع هرگونه آبشستگی و افزایش فشار آب حفره ای جلوگیری کرده و در صورت ایجاد ترک در هسته باعث ترمیم و بسته شدن آن گردد.

با توجه به هزینه نسبتاً زیاد فیلتر در بدنه سدهای خاکی و سنگریزه ای، توصیه شده تا برای سدهای مهم آزمایش فیلتر برای تعیین دقیق معیار فیلتر صورت پذیرد. اینکار موجب صرفه جویی اقتصادی و نیز حصول اطمینان از عملکرد صحیح فیلتر می شود.

### مروری بر مطالعات انجام شده قبلی در زمینه طرح فیلتر

منظور از پدیده آبشستگی حمل تدریجی ذرات خاک توسط جریان آب از میان ترکها و خلل و فرج و حفرات می باشد. برای جلوگیری از پدیده آبشستگی و جلوگیری از خرابی در سدهای خاکی عموماً در پایین دست و بالادست هسته مرکزی اقدام به ساخت فیلتر می شود. اگر فیلتر ایجاد شده فیلتری موفق باشد، فقط در لحظات اولیه، مقداری از ذرات ریز خاک مبنا بطور کامل از فیلتر عبور کرده و شسته می شود. به مرور زمان ذرات بزرگتر خاک مبنا در فضاهای مصالح فیلتر گیر کرده و این ذرات نیز، خاک مبنا را نگه می دارند و بدین صورت حالت پایدار در تمام سطح مشترک خاک مبنا بوجود می آید.

اگر فیلتر نتواند در مدت زمان کوتاهی حرکت ذرات ریز خاک را متوقف کند و در نتیجه قسمت قابل توجهی از ذرات ریز خاک مبنا شسته شود چنین فیلتری ناموفق عمل کرده است.

از قدیمیترین روابط فیلتر می توان به روابط ترزاقی اشاره کرد [۱]:

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش مکانیک خاک و پی

$$\frac{D_{15F}}{d_{15B}} \leq 4 - 5 \quad (1)$$

$$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \leq 4 - 5 \quad (2)$$

رابطه (۱) شرط نفوذپذیری و رابطه (۲) شرط نگهداری است

برترام و لاند نخستین افرادی بودند که حدود کاربرد معیار ترزاقی را مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار دادند. نتایج آزمایشات برترام (۱۹۴۰) مرز پایداری سیستم فیلتر و خاک مینا (ماسه ریز) را در محدوده  $9 - 10 = \frac{D_{15F}}{d_{85B}}$  نشان می داد [۲]. لاند در سال ۱۹۴۹ مطالعات آزمایشگاهی خود را به منظور بررسی عملکرد فیلترهای شنی و ماسه ای برای خاکهای مینای ماسه ای یکنواخت انجام داد. مرز پایداری آزمایشهای کاملاً موفق در پایین و با روی خط مرزی  $9 = \frac{D_{15F}}{d_{85B}}$  و آزمایشهای ناموفق در بالای خط فوق قرار گرفتند [۳].

موسسه USBR در فاصله سالهای ۱۹۴۷ تا ۱۹۵۵ تحقیقاتی بر روی طراحی فیلتر سدهای خاکی انجام داد. مقادیر پیشنهادی USBR در جدول (۱) نشان داده شده است [۱].

کنی در سال ۱۹۸۵ با معرفی پارامتر  $D^*$  ( قطر بزرگترین ذره ای از خاک مینا که می تواند از میان فیلتر با ضخامت مشخص عبور کند) به بررسی رفتار فیلترها پرداخت. تحقیقات نشان داد که  $D^*$  می تواند با توجه به دانه بندی بخش ریزدانه فیلتر ( $D_{10}$  یا  $D_5$ ) تعیین شود. کنی برای خاکهای غیر چسبیده روابط زیر را پیشنهاد می کند [۴]:

$$D_{15F} > 5d_{50B} \quad (3)$$

$$D_{5F} > 4d_{50B} \quad (4)$$

جدول ۱- معیار پیشنهادی USBR

معیار		فیلتر
$12 < D_{15F} / d_{15B} < 40$	$5 < D_{50F} / d_{50B} < 10$	فیلترهای یکنواخت
$12 < D_{15F} / d_{15B} < 40$	$12 < D_{50F} / d_{50B} < 50$	فیلترهای خوب دانه بندی شده

شرارد در فاصله سالهای ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۲ آزمایشاتی را برای تعیین معیارهای طرح فیلتر انجام داد آزمایشات شرارد بدو دسته تقسیم می شوند:

- ۱- شرارد بر اساس آزمایشات خود روی ماسه با دانه بندی یکنواخت به عنوان خاک مینا، معیار  $D_{15F} < 9d_{85B}$  را پیشنهاد کرد [۵].
- ۲- شرارد با انجام آزمایشات شیبی و گل آب روی خاکهای رسی و سیلتی به عنوان خاک مینا نتایج زیر را گزارش کرد [۶]:

۲-الف- برای رس ها و لای های ماسه دار که دارای  $d_{85B}$  بین ۰/۱ تا ۰/۵ میلیمتر می باشند از معیار  $\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \leq 5$  محافظه کارانه و

قابل قبول می باشد و پلاستیسیته خاک مینا تاثیری بر طراحی فیلتر ندارد.

۲-ب- برای خاکهای رسی ریزدانه که دارای  $d_{85B}$  بین ۰/۰۳ تا ۰/۱ میلیمتر می باشند استفاده از فیلترهای ماسه ای یا ماسه ای شن دار که در آن  $D_{15F}$  کوچکتر از ۰/۵ میلیمتر، می باشد محافظه کارانه و قابل قبول است. پلاستیسیته و واگرایی رس، تاثیری بر دانه بندی فیلتر طراحی شده ندارد.

۲-ج- برای لای های ریزدانه با چسبندگی و پلاستیسیته کم که  $d_{85B}$  بین ۰/۰۳ تا ۰/۱ میلیمتر بوده و حد روانی کمتر از ۳۰ می باشد، استفاده از فیلترهای ماسه ای یا ماسه های شن دار دارای  $D_{15F}$  کوچکتر از ۰/۳ میلیمتر، محافظه کارانه و قابل قبول می باشد.

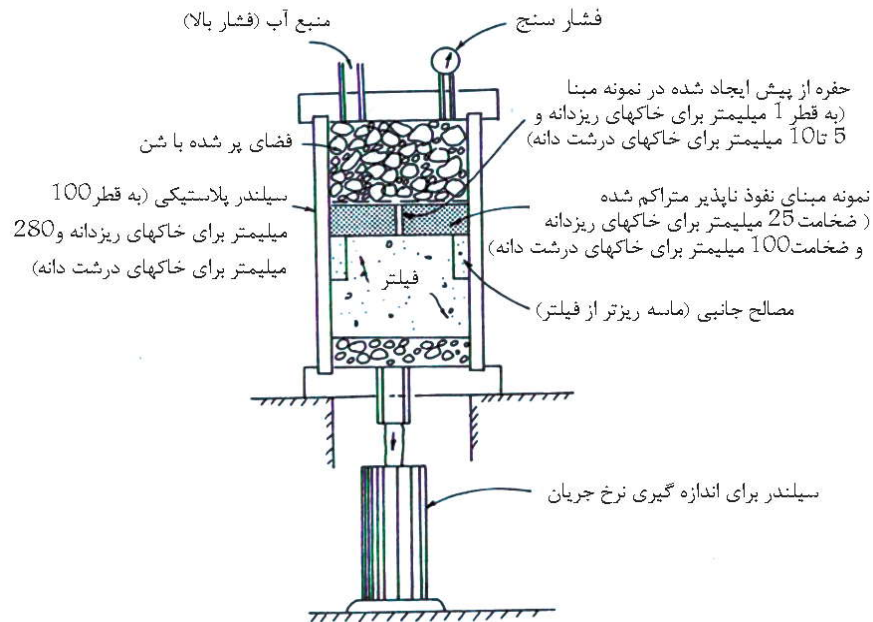
۲-د- برای رس ها و لای های بسیار ریزدانه که دارای  $d_{85B}$  کوچکتر از ۰/۰۲ میلیمتر می باشند، آزمایش طرح فیلتر، در آزمایشگاه باید انجام شود. به نظر می رسد فیلتری با  $D_{15F}$  کوچکتر از ۰/۲ میلیمتر، محافظه کارانه است.

شرارد در سال ۱۹۸۹ با انجام یک سری آزمایشات تکمیلی، آزمایش فیلتر بدون فرسایش را پیشنهاد نمود. با انجام این آزمایش مشخصات فیلتری که از هر گونه فرسایش جلوگیری می نماید مشخص می شود [۷].

## مدلسازی فیزیکی

شرارد در جریان مطالعات آزمایشگاهی که از سال ۱۹۸۲ شروع شده بود، در سال ۱۹۸۹ نوعی آزمایش جدید تکرارپذیر که قابلیت مدلسازی مناسبی داشت را ابداع نمود. او این آزمایش را برای طراحی فیلتر دانه ای بحرانی که تقریباً از بروز هر گونه فرسایش جلوگیری کند توصیه

کرد. فیلترهای بحرانی، فیلترهایی نظیر فیلتر پایین دست هستند که از وضعیت حساسی برخوردارند. دستگاه پیشنهادی او به صورت شماتیک در شکل (۱) نشان داده شده است. در این آزمایش خاک مینا و فیلتر در دو لایه پس از یکدیگر در استوانه ای قرار داده می شوند. خاک مینا در درصد تراکم لازم و فیلتر در دانسیته نسبی مورد نیاز در استوانه متراکم می شوند. درون خاک مینا سوراخی به قطر ۱ میلیمتر برای خاکهای ریزدانه و پنج تا ده میلیمتر برای خاکهای درشت دانه ایجاد می شود. سپس آب با فشاری که نمایانگر گرادیان هیدرولیکی موجود باشد و شرایط فرسایش را نیز تولید نماید وارد می شود. از روی مقدار تغییرات قطر سوراخ اولیه و رنگ و حجم آب خروجی در مورد عملکرد فیلتر تصمیم گیری می شود. جزییات بیشتر در مقاله شرارد و دانینگان (۱۹۸۹) قابل دستیابی است. عملکرد فیلتر هنگامی موفق تلقی می شود که قطر سوراخ اولیه تغییر زیادی نکرده و از کدورت و ذبی آب خروجی تا پایان آزمایش کاسته شود [۷].



شکل ۱ - جزییات آزمایش فیلتر مانع فرسایش

## نتایج آزمایشات

در مطالعات و آزمایشاتی که در طراحی فیلتر برای چند سد انجام گرفت، نوعی ناسازگاری میان معیارهای معروف شرارد و نتایج آزمایشگاهی فیلترها مشاهده شد. آزمایشات دقیقا بر مبنای روش پیشنهادی شرارد و دانینگان در مقاله سال ۱۹۸۹ انجام گردید. معیارهای استفاده شده در جدول (۲) آورده شده اند. عمدتا خاک هسته سدهای خاکی در دو دسته اصلی معیارهای گروه ۱ و ۲ جای دارند. خاکهای استفاده شده در آزمایشات نیز عموما جزو همین دو گروه هستند.

جدول ۲- معیارهای طراحی شرارد ۱۹۸۹

گروه خاک مینا	مشخصات	معیار طرح فیلتر
۱	مقدار رس و سیلت ریزدانه بیشتر از ۸۵ درصد <sup>۱</sup>	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$ <sup>۲</sup>
۲	مقدار ماسه، سیلت، رس و ماسه رسی یا سیلنتی بین ۴۰ تا ۸۵ درصد	$D_{15F} \leq 0.7mm$
۳	مقدار ماسه رسی یا سیلنتی و شنی بین ۱۵ تا ۳۹ درصد	$D_{15F} \leq \frac{40-A}{40-15}(4 \times D_{85B} - 0.7mm) + 0.7mm$
۴	مقدار شن و ماسه کمتر از ۱۵ درصد	$D_{15F} \leq 4D_{85B}$ <sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> مقدار عبوری از الک شماره ۲۰۰  $A=200$   
<sup>۲</sup> اگر  $D_{85B}$  از عدد ۰.۲ mm کمتر شد از ۰.۲ استفاده می شود  
<sup>۳</sup> اگر  $D_{85B}$  از عدد ۰.۷ mm کمتر شد از ۰.۷ استفاده می شود.

منظور از ناسازگاری، عدم ارضای همزمان معیار مورد نظر و موفقیت فیلتر در آزمایش NEF است. آزمایشهای انجام شده در ۱۰ دسته تقسیم شده اند. جدول (۳) به صورت کامل نتیجه را گزارش کرده و در هر مورد به مقایسه نتایج آزمایش و معیار پرداخته است. مشاهده می شود که در میان آزمایشات، سازگاری میان معیار و نتایج نیز وجود دارد. موفقیت فیلتر بدان معناست که فیلتر در مدت کوتاهی با حداقل مقدار فرسایش بتواند از شستگی جلوگیری کند.

جدول ۳- مقایسه نتایج آزمایش NEF و معیارهای شرارد و همکاران، ۱۹۸۹

شماره تست	شماره گروه خاک مینا	معیار مربوط	پارامترهای مورد نیاز معیار		ارضای معیار	عملکرد فیلتر در آزمایش NEF	سازگاری
			D <sub>15F</sub> mm	D <sub>85B</sub> mm			
۱	۱	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$	0.25	0.04	بلی	ناموفق	خیر
۲	۱	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$	0.37	0.04	بلی	ناموفق	خیر
۳	۱	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$	0.35	0.026	خیر	نیمه موفق	-
۴	۱	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$	0.1	0.026	بلی	نیمه موفق	-
۵	۲	$D_{15F} \leq 0.7mm$	0.4	-	بلی	موفق	بلی
۶	۱	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$	0.4	0.075	بلی	موفق	بلی
۷	۱	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$	0.6	0.03	خیر	موفق	خیر
۸	۲	$D_{15F} \leq 0.7mm$	0.35	-	بلی	ناموفق	خیر
9	1	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$	0.3	0.045	بلی	ناموفق	خیر
10	1	$D_{15F} \leq 9D_{85B}$	۰,۴۵	۰,۰۴۵	خیر	ناموفق	بلی

نتایج آزمایشات گویای آنست که معیارهای ارایه شده در بازه شرایط خود معمولاً توانایی پیشنهاد فیلتری مناسب را دارا می باشد اما با توجه به تعدد پارامترهای مؤثر در انتخاب فیلتر و عدم انعکاس تمامی آنها در معیار، تغییرات این پارامترها باعث می شود که معیار از انتخاب مناسب دور بماند.

### بررسی پارامترهای مؤثر در رفتار سیستم خاک - فیلتر

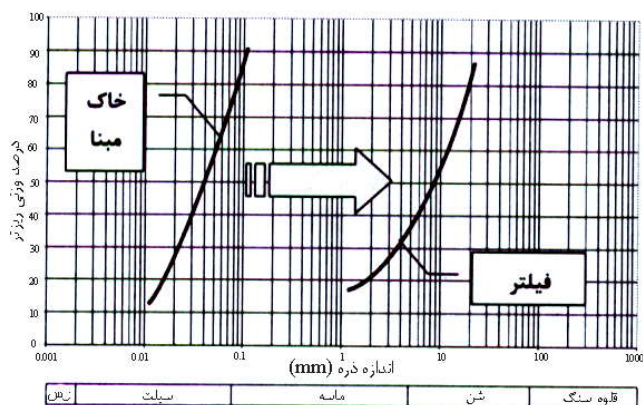
پارامترهای زیادی در عملکرد فیلتر مؤثرند که تأثیر هر کدام متفاوت است. این تأثیرات در کنار یکدیگر می توانند طراحی فیلتر را تحت الشعاع قرار دهند. با این حال هیچگاه پارامترهای مؤثر در کنار یکدیگر بررسی نشده اند و همزمان مورد توجه قرار نگرفته اند. این پارامترها، متغیرهایی هستند که میان معیارهای طراحی و نتایج آزمایشگاهی اختلاف ایجاد می کنند. در اینجا سعی شده است تا به جستجوی این عوامل تأثیر گذار در میان تحقیقات پرداخته شود. به نظر می رسد که معیار طراحی یا هر مدل فیزیکی یا عددی هنگامی می تواند روشی مناسب برای طراحی باشد که نقش هر کدام از این عوامل را در خود به نوعی بگنجانند.

### (۱) منحنی دانه بندی و پارامترهای مربوطه

منحنی دانه بندی اصلی ترین قدم در شناخت خاک است و با توجه به آن خصوصیات فیزیکی و مهندسی خاک تا حدود زیادی شناخته می شود. به روشنی مشخص است که برای ارضای خصوصیت نگهداری ذرات خاک مینا توسط فیلتر، نیاز است که فیلتر دارای دانه های درشت تری نسبت به خاک هسته باشد. این موضوع بدین مفهوم است که در نمودار دانه بندی، منحنی فیلتر پس از منحنی خاک مینا قرار گیرد (شکل ۲). اما شکل، عرض، گسستگی و یا یکنواختی از دیگر پارامترهای هر منحنی است که منجر به تأثیرات متفاوتی در عملکرد سیستم خواهد شد.

انعکاس این موضوع در معیارهای طراحی، پارامترهایی نظیر  $D_x$  (قطر نظیر  $x$  درصد عبوری در منحنی دانه بندی) و نسبت هایی نظیر  $\frac{D_{XF}}{D_{YB}} < \alpha$  است (نماد  $F$  در صورت و نماد  $B$  در مخرج به ترتیب نشان دهنده فیلتر و خاک

مبناست) که به هیچ عنوان نشان دهنده تأثیر تمامی عوامل عنوان شده نیست. تناقض در قبول یا رد موازی بودن منحنی های دانه بندی خاک مینا و فیلتر توسط محققین مختلف مانند هونزو و همکاران (۱۹۸۹) و ارائه معیارهای متفاوت برای خاکهای یکنواخت و گسسته موبد این موضوع است [۸].



شکل ۲: موقعیت مکانی منحنی های خاک مینا و فیلتر در نمودار دانه بندی

## ۲) نفوذپذیری

ارضای خاصیت نفوذپذیری هنگامی قابل دستیابی است که نفوذپذیری فیلتر چندین برابر هسته باشد یعنی  $\beta > \frac{K_{fi}}{K_{bs}}$ ، که  $K_{fi}$  و  $K_{bs}$  بترتیب ضریب هدایت هیدرولیکی فیلتر و خاک مینا و  $\beta$  عدد ثابتی است. اما نفوذپذیری در خاکها مخصوصاً خاکهای ریزدانه تابع پارامترهای زیادی است. پارامترهایی نظیر بافت خاک و پوکی از عوامل اصلی به شمار می روند. با وجود این محققین کوشیده اند که این رابطه را با پارامترهای ساده ای از پارامترهای منحنی دانه بندی جایگزین کنند. ایندراواتنا و وفایی (۱۹۹۷) از پارامترهای  $D_{10}$  و  $D_5$  استفاده نموده اند [۹]. وگان و سوارز (۱۹۸۲) خصوصیت نگهداری یک فیلتر را بیشتر بوسیله نفوذپذیری آن توصیف می کنند تا بوسیله دانه بندی آن [۱۰].

## ۳) شکل دانه ها

ناگفته پیداست که شکل دانه ها در نحوه توزیع فضاهای خالی در خاک و فیلتر مؤثر است. هرچه دانه ها هم شکل تر باشند فضای خالی بیشتری در فیلتر تولید می شود و اگر شکل و اندازه دانه ها مختلف باشد فضاهای محدودتری تولید می شود. شرارد و دانیگان (۱۹۸۹) دریافته اند که استفاده از دانه ها به شکل های مختلف در عملکرد بهتر فیلتر تأثیر مستقیم دارد [۷].

## ۴) دانسیته نسبی $D_r$

از جمله پارامترهای اصلی در رفتار خاکهای دانه ای (در اینجا فیلتر) درصد تراکم نسبی ( $D_r$ ) است. با توجه به همین پارامتر خاکهای دانه ای از دیدگاه تراکم به دو دسته عمده سست و متراکم طبقه بندی می شود. در اکثر تحقیقات انجام شده رسیدن به تراکمی که فیلتر را در گروه متراکم جای دهد، توصیه شده است. برای نمونه شرارد و دانیگان (۱۹۸۹) مقادیری بین ۸۰ تا ۱۰۰ درصد را برای آزمایشات خود گزارش می کند. اما از طرفی مرز میان سست و متراکم کاملاً تعریف شده نیست و از طرف دیگر این مرز تضمین کننده موفقیت عملکرد فیلتر نخواهد بود.

## ۵) گرادیان هیدرولیکی

گرادیان هیدرولیکی نمایانگر مقدار فشار آب در پشت سد است که باعث ایجاد ترکهای هیدرولیکی و شستگی خاک می گردد. این موضوع تقریباً پذیرفته شده است که عملیات فرسایش در گرادیان هیدرولیکی بحرانی شروع می شود و به مشخصات خاک بستگی دارد. هر چه خاک چسبنده تر باشد این مقدار بیشتر خواهد بود. اما برخی تحقیقات نشان داده است که فرسایش در گرادیان های بالا متوقف می شود. یعنی

گردیدان هیدرولیکی بحرانی دارای حد بالایی هم هستند. این موضوع توسط لئونارد و همکاران (۱۹۹۱) در خاک های با چسبندگی بالا گزارش شده است. ممکن است این امر بدان علت باشد که فشار زیاد آب، اجازه تغییر مکان و جدایی ذرات (فرسایش) را به خاک نداده و آنها را به هم می فشرد [۱۱].

## ۶) پایداری داخلی

در حقیقت اولین وظیفه فیلتر، محافظت از دانه های خود در برابر فرسایش است. یعنی ابتدا فیلتر باید بتواند خود را محافظت کند. عدم پایداری ممکن است در هر خاکی اعم از خاک با دانه بندی نامنظم و منظم اتفاق بیفتد.

## ۷) ضخامت فیلتر

محققان بر این اعتقادند که عملکرد فیلتر بستگی به ضخامت بهینه فیلتر دارد و افزایش ضخامت به مقادیر بیشتر تأثیری در عملکرد آن ندارد. اما هیچکدام در عدد مشخصی توافق ندارند. ایندراواتنا و وفایی (۱۹۹۷) عقیده دارند که ضخامت بهینه فیلتر همانگونه که بستگی به شکل و هندسه سازه دارد به گردیدان هیدرولیکی نیز مربوط است. ایندراواتنا روش تکرار آزمایشگاهی را برای یافتن ضخامت بهینه توصیه می کند [۹]. زمریدیان و فتیحی گلاب (۱۳۸۲) جهت تعیین ضخامت فیلتر، استفاده از روش احتمالی مونت کارلو را بر روشهای قطعی ارجح می دانند [۱۳].

## ۸) خاکهای مسئله دار

استفاده از خاکهای مسئله دار در هسته سدهای خاکی توصیه نمی شود. تحقیقات شرارد و همکار (۱۹۸۹) خاکهای واگرا را در طراحی فیلتر بی تأثیر می داند [۷].

## ۹) خواص فیزیکی - شیمیایی

رفتار فیزیکی - شیمیایی خاک و آب در نحوه فیلتراسیون اثر گذار است و ممکن است این خواص در برخی موارد منجر به رسوب عناصر یا ترکیبات آزاد موجود در آب و خاک در بخش فیلتر شده و در طولانی مدت نفوذپذیری فیلتر را کاهش داده و با افزایش فشار آب حفره ای مشکلاتی را تولید کند.

به همین علت بررسی ترکیبات و واکنش های ممکن میان آنها در آب و خاک بایستی به دقت بررسی شود. ردی و همکاران (۲۰۰۰) این رفتار را به صورت مدلی عددی در سازه هایی نظیر مدافن زباله با گردیدان هیدرولیکی پایین بررسی کرده اند. اما تحقیقات بیشتری در این زمینه در سدها وجود ندارد [۱۲].

## ۱۰) چسبندگی ریزدانه ها (درصد ریزدانه $F_c$ ) در فیلتر

درصد ریزدانه (عبوری از الک ۲۰۰) مستقیماً بر خواص فیلتر تأثیر گذار است. از طرفی هرچه چسبندگی فیلتر بیشتر باشد پتانسیل ایجاد ترک در فیلتر بالا رفته و احتمال شستگی در خود فیلتر به وجود می آید. به همین علت چسبندگی بحرانی فیلتر (یا در صد ریزدانه بحرانی) باید تعیین شود. تحقیقات کمی در این زمینه انجام شده است. زمانیکه  $F_c < 5\%$  باشد با بهترین شرایط روبرو هستیم و زمانیکه  $5\% < F_c < 15\%$  باشد شرایط قابل پیش بینی نیست. حائری و حسینی (۱۳۸۱) معیار طراحی فیلتر برای هسته متشکل از دانه بندی مخلوط را برای درصد های مختلف ریزدانه و همچنین ضریب یکنواختی ارائه نموده اند [۱۴].

## ۱۱) توزیع دانه ها در فیلتر

توزیع دانه ها در فیلتر ممکن است تغییرات بسزایی در عملکرد فیلتر بگذارد. در شکل (۳) نشان داده شده که چگونه ممکن است خاک با دانه بندی مشخص و درصد تراکم نسبی معین دارای پراکندگی متفاوت باشد که مستقیماً در خواص نفوذپذیری و نگهداری فیلتر مؤثر بوده و شرایط متضادی را تولید می کند. تقریباً هیچ راهی به جز آزمایش برای شناخت نحوه این نوع توزیع وجود نداشته و با هیچ پارامتر ساده ای قابل معرفی نیست .

## ۱۲) کانی شناسی

وجود برخی کانی ها در خاک مینا قابلیت فرسایش خاک را کاهش می دهد.



شکل ۳- تفاوت چینش دانه ها با تخلخل یکسان. الف: دارای حفره های بزرگ و ب: دارای حفره های کوچک

### نتیجه گیری

با توجه به وظیفه خطیر فیلتر در حفاظت از فرسایش خاک ترمیم ترکهای موجود در هسته و به علت هزینه های تولید فیلتر با دانه بندی مشخص، طراحی بهینه فیلتر از اهمیت به سزایی نزد مهندسين ژئوتکنیک برخوردار است. در این مقاله پارامترهای موثر و تاثیر هر کدام بر عملکرد سیستم فیلتر- خاک مینا بررسی شد. تعدد پارامترهای موثر و نتایج آزمایشات NEF، گویای آنست که معیارهای موجود بدان علت که تمامی این پارامترها را در انتخاب فیلتر دخیل نمی دانند، نمی توانند فیلتری بهینه را در تمامی خاکها پیشنهاد نمایند. از طرفی روش های آزمایشگاهی NEF که تمامی فاکتورهای موثر را در خود مدل کرده اند، می توانند به نحو مناسبی، محدوده فرسایش را از مرز غیر فرسایش تا مرز فرسایش ممتد بدست آورند. شناخت فاکتورهای تاثیر گذار در انتخاب فیلتر که به تفصیل آورده شد و در نظر گرفتن شرایط مناسب و مطابق با نوع طرح این اجازه را می دهد که به فیلتری مناسب و بهینه دست یافت. به همین علت روشهای آزمایشگاهی به عنوان روش مستقیم در برابر روشهای غیر مستقیم مانند طراحی بر اساس معیار، راهکاری مطمئن و اقتصادی در طراحی می باشد. به علاوه وارد کردن پارامترهای شناخته شده موجود در مدل سازی عددی، تحلیلی و آزمایشگاهی برای رسیدن به مدلی واقعی تر و کاملتر ضروری بنظر می رسد.

### مراجع

1. ICOLD (1995). "Embankment dams granular filter and drains"
2. Bertram, G. E., (1940). "Experimental investigation of protective" . soil mechanics series No.7, Graduate school of engineering, Harvard University, Cambridge, Mass.
3. Lund, a., (1949). "An experimental study of graded filter". Thesis presented to the university of London, at London, U.K., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of science.
4. Kenny, T. C., chahal, R., R., Chiv, E., ofoegbu, G. I., Omange, G. N. and Ume, C. A. (1985). "Controlling constriction size of granular filters". Can. Geotech. j.
5. Sherard, J. L., and Dunnigan, L. P., and Talbot, J. R. (1984a). "Basic properties of sand and gravel filters." ASCE Journal of Geotechnical Eng., Vol. 110, No. 6, pp. 684-700.
6. Sherard, J. L., and Dunnigan, L. P., and Talbot, J. R. (1984b). "Filters for silts and clays." ASCE Journal of Geotechnical Eng., Vol. 110, No. 6, pp. 701-718.
7. Sherard, J. L., and Dunnigan, L. P. (1989). "Critical filters for impervious soil." ASCE Journal of Geotechnical Eng., Vol. 115, No. 7, pp. 927-947.
8. Honjo, Y., and Veneziano, D. (1989). "Improved filter criteria for cohesionless soil." ASCE Journal of Geotechnical Eng., Vol. 115, No. 1, pp. 75-94.
9. Indraratna, B., and Vafai, F. (1997). "Analytical model for prediction particle migration within a soil-filter system." ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., Vol. 123, No. 2, pp. 100-109.
10. Vaughan, P. R., and Soares, H. F. (1982). "Design of filters for clay cores of dams." ASCE Journal of Geotechnical Eng., Vol. 108, No. 1, pp. 17-31.
11. Leonards, G. A., Huang, A. B., and Ramos, Jose. (1991). "Piping and erosion test at conner run dam." ASCE Journal of Geotechnical Eng., Vol. 117, No. 1, pp. 108-117.
12. Reddi, L. N., Xiao, M., Hajra, M. G., and Lee, I. M. (2000b). "Permeability reduction of soil filters due to physical clogging." ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., Vol. 126, No. 3, pp. 236-246

۱۳. زمردیان، سید محمد علی، و فتحی گلاب، محمد (۱۳۸۲). "بهینه سازی ضخامت فیلتر سد ایزد خواست با استفاده از روش احتمالی مونت کارلو." ص ۹۵۳، در مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۳۸۲، دانشگاه شیراز.
۱۴. حائری، سید محسن، و حسینی، سید عباس (۱۳۸۱). "تعیین معیار طراحی فیلتر سدهای خاکی و سنگریز برای هسته مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی مخلوط." ص ۱۱۵۴، چهارمین کنفرانس سد سازی، ۱۳۸۱، تهران، دانشگاه تهران.