

تعیین معیار طراحی فیلتر سدهای خاکی و سنگریز برای هسته مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی گسسته

محمد حیدری خواص
کارشناس ارشد
مهندسی ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی شریف

سید محسن حائری
دانشیار
دانشگاه عمران، دانشگاه صنعتی شریف

محمد نصر
کارشناس ارشد
مهندسی ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

فیلتر یکی از اجزاء مهم سدهای خاکی و سنگریز را تشکیل می‌دهد که در ایمنی و پایداری اینگونه سدها نقش بسیار اساسی و کلیدی را ایفا می‌نماید. مشخصات فیلتر بایستی متناسب با مشخصات هسته مرکزی باشد که از آن حفاظت می‌نماید. یکی از انواع خاک‌هایی که در طبیعت و در مناطق کوهستانی یافت می‌شود خاک‌های با دانه بندی گسسته متشکل از مصالح درشت دانه نظیر قلوه سنگ و شن و مصالح ریزدانه نظیر لای و رس است که می‌تواند بعنوان مصالح هسته مرکزی سدها مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به آنکه مشخصات مصالح هسته مرکزی تعدادی از سدهای در دست طرح و اجرای ایران چه بصورت طبیعی و چه بصورت مصنوعی دارای دانه بندی گسسته است و هیچگونه معیاری برای طراحی فیلتر چنین خاک‌هایی وجود ندارد لذا بر آن شدیم تا با انجام آزمایشات لازم معیاری را برای طراحی اینگونه فیلترها تدوین نماییم. در این راستا تعداد ۲۰۷ آزمایش فیلتر بدون فرسایش با استفاده از خاک مینا با دانه بندی گسسته بعنوان هسته مرکزی سدهای خاکی و سنگریز و تعداد ۹۹ آزمایش نفوذ پذیری بر روی فیلترهای مختلف در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف انجام شد. خاک مینا به کار رفته در آزمایشات فیلتر بدون فرسایش دارای دانه بندی از ابعاد شن تا ذرات ریز تر از الک شماره ۲۰۰ (لای و رس) بوده و در محدوده ماسه ای گسسته بود. درصد ریزدانه خاک مینا بین ۱۵ تا ۵۰ درصد متغیر بود. در آزمایشات فیلتر بدون فرسایش از سه گروه فیلتر کاملاً بکنواخت ($C_u = 4/5$)، خوب دانه بندی شده ($C_u = 11-14$) و مرز بکنواختی و خوب دانه بندی شده ($C_u = 5-6$) استفاده شد که نتایج این آزمایشات بطور خلاصه در مقاله منعکس شده است. نتایج آزمایشات فیلتر بدون فرسایش برای خاک مینا یا دانه بندی گسسته معیاری جهت طراحی فیلتر بحرانی این خاک‌ها بدست داد. آزمایشات نفوذ پذیری بر روی فیلترهای مختلف رابطه ای را جهت تعیین نفوذ پذیری فیلترهای مختلف ارائه نمود که هر دو می‌تواند جهت مقاصد طراحی مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی

طرح فیلتر، سدهای خاکی و سنگریز، دانه بندی گسسته، فیلتر بدون فرسایش، نفوذ پذیری

Filter Design Criteria for Earth and Rockfill Dams Cores of Gap Graded Material

S. Mohsen Haeri
Associate Professor
Civil Engineering Department,
Sharif University of Technology

M. H. Khavas
M.Sc. Graduate
Geotechnical Engineering,
Sharif University of Technology

M. Nasr
M. Sc. Graduate
Geotechnical Engineering, Sharif University of Technology

Abstract

Filter in earth and rockfill dams are very important elements in controlling the safety against piping of fine materials. Therefore, design and construction of filters are very important. According to the literature, very little research has been done on design of filters for cores of gap graded material. Thus in this research we have concentrated on such material to find a criteria for design of filters for earth and rockfill dams of gap graded core material.

In this investigation 207 No Erosion Filter (NEF) tests were performed on four types of gap graded soils with 15-50% fine content as base soil and clean sands as filter.

Three types of materials have been selected for filteres such as very uniform filters ($C_u=2.5$), well graded filters ($C_u=11-14$) and boundary condition ($C_u=5-6$). Tests were performed under very high hydraulic gradient of 400-600. The NEF tests resulted in a criteria for design of filters for such material.

Also 99 permeability tests were conducted on sandy filters and relationship was suggested for design purposes.

Keywords

gap graded material, filter design criteria, permeability, earth and a rockfill dams, No Erosion Filter

معیارهای ارائه شده توسط محققین در ارتباط با معیار آبخستگی^(۱)

آبخستگی عبارت است از حمل تدریجی ذرات ریز خاک توسط جریان آب از میان ترک‌ها، خلل و فرج حفرات خاک. در این شرایط، ابتدا دبی جریان کم بوده و ذرات ریزتر را با خود حمل می‌کند ولی بتدریج و با گذشت زمان، مجرای عبور آب بزرگتر شده و قابلیت حمل ذرات بزرگتر را خواهد داشت و دبی جریان زیادتر می‌گردد.

برای جلوگیری از پدیده آبخستگی و جلوگیری از خرابی در سدهای خاکی، عموماً در پایین دست و بالا دست هسته مرکزی، اقدام به ساخت فیلتر می‌شود. اگر فیلتر ایجاد شده، فیلتری موفق باشد، فقط در لحظات اولیه آب عبور کرده از فیلتر، حاوی ذرات ریز خواهد بود. به عبارتی در لحظات اولیه، فیلتر قادر به جلوگیری از حرکت ذرات ریز خاک مینا نخواهد بود، اما پس از مدت کوتاهی، ذرات ریز خاک مینا که به طرف فیلتر حرکت می‌کنند، لایه نازکی را در سطح فیلتر تشکیل می‌دهند که با ایجاد این لایه، شسته شدن ذرات خاک مینا متوقف می‌شود. اگر فیلتر نتواند در مدت زمان کوتاهی حرکت ذرات ریز خاک را متوقف کند و در نتیجه قسمت قابل توجهی از ذرات ریز خاک مینا شسته شود، چنین فیلتری ناموفق عمل کرده است. در این حالت ممکن است شسته شدن ذرات به حدی باشد که در نهایت به خرابی سد بیانجامد.

یکی از قدیمی‌ترین معیارهای طراحی فیلتر به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} < 4-5 \quad (1)$$

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

رابطه (۱) برای جلوگیری از پدیده آبخستگی بوده و رابطه (۲) نفوذ پذیری فیلتر را کنترل می‌نماید که از حد خاصی کمتر نشود. در این روابط D_{15F} قطر دانه‌ای از فیلتر است که ۱۵ درصد وزنی دانه‌ها از آن کوچکترند، d_{85B} اندازه دانه‌ای از خاک میناست که ۸۵ درصد وزنی دانه‌ها از آن کوچکترند و d_{15B} اندازه‌ای از خاک میناست که ۱۵ درصد وزنی دانه‌ها از آن کوچکترند.

بیرترام^(۲) در سال ۱۹۴۰ آزمایشاتی را برای تعیین معیارهای طراحی فیلتر انجام داده و نتایج حاصله نشان داد که معیار $4-10 < \frac{D_{15F}}{d_{85B}}$ معیار مناسبی برای طراحی فیلتر می‌باشد [۱].

در سال ۱۹۴۹ لاند^(۳)، آزمایشاتی را برای تعیین معیار

طراحی فیلتر انجام داد [۲]. D_{15} بحرانی فیلترهای ساخته شده در محدوده ۱ تا ۱۵ میلی‌متر بود. نتایج آزمایشات لاند نشان داد که معیار $9 \leq \frac{D_{15}}{d_{85}}$ برای طراحی مناسب است.

USBR^(۴) در سال ۱۹۵۵ آزمایشاتی را انجام داد [۳] و نشان داد که معیارهای ارائه شده براساس D_{15} مناسب نیستند و استفاده از D_{5} (اندازه متوسط دانه‌های خاک یا فیلتر) را بعنوان معیار جهت طراحی فیلتر پیشنهاد نمود.

شرارد^(۵) در فاصله سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۲ آزمایشاتی را برای تعیین معیارهای طرح فیلتر انجام داد. آزمایشات شرارد بدو دسته تقسیم می‌شدند:

۱- آزمایشاتی که در آن خاک مینا از ماسه بسیار ریز یکنواخت تشکیل می‌شد [۴].

۲- آزمایشاتی که در آن خاک مینا از خاک‌های رسی و سیلتی تشکیل می‌شد [۵].

از مجموع آزمایشات فوق، شرارد نتایج زیر را بدست آورد:

۱- حدود اتربرگ خاک مینا، تأثیری بر معیار طرح فیلتر ندارد.

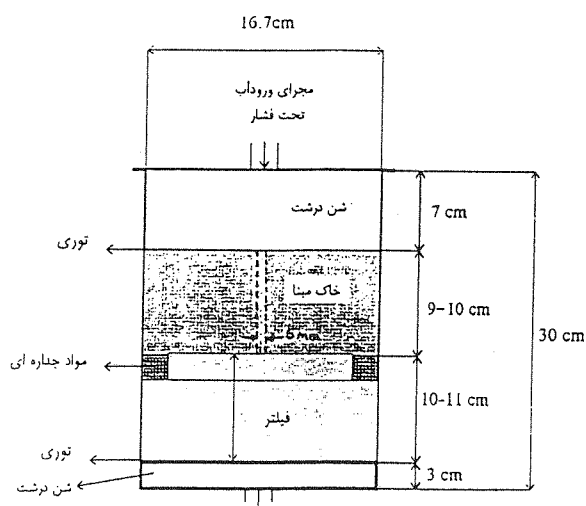
۲- واگرایی خاک اثری بر معیار طرح فیلتر ندارد.

۳- معیارهایی که براساس $\frac{D_{5-10}}{d_{15-10}}$ و $\frac{D_{5-10}}{d_{15-10}}$ تعریف می‌شوند، مناسب نبوده و باید کنار گذاشته شوند. وی نتایج کار انجام شده توسط USBR را تکرار و نتیجه‌گیری کرد که کار آنها بدرستی تفسیر نشده و بنابراین معیارهای ارائه شده توسط USBR درست نیست.

۴- معیار $9 \leq \frac{D_{15}}{d_{85}}$ برای خاک‌های ماسه‌ای مناسب است ولی توصیه می‌شود که بصورت محافظه کارانه از $5 \leq \frac{D_{15}}{d_{85}}$ برای خاک‌های ماسه‌ای و رس‌ها و لای‌های ماسه‌دار استفاده می‌شود. و برای رس‌های ریز فیلتر ماسه‌ای با $5^{mm} / 0 \leq D_{15}$ می‌تواند مناسب باشد.

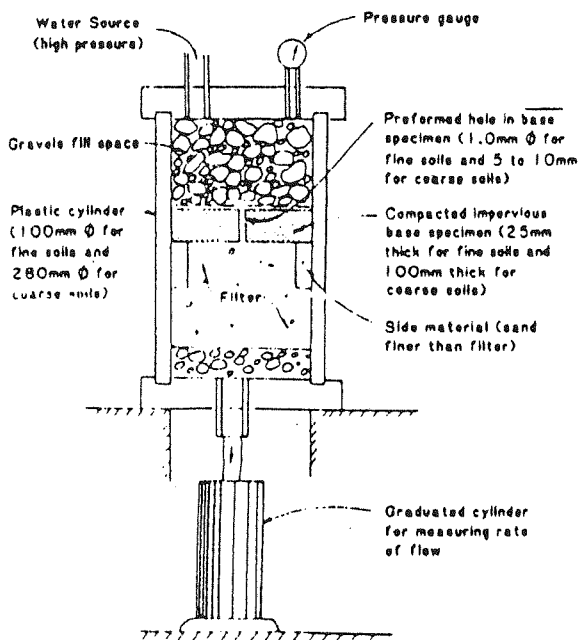
شرارد در سال ۱۹۸۹، با انجام یکسری آزمایشات تکمیلی، آزمایش فیلتر بدون فرسایش^(۶) را پیشنهاد نمود [۶]. با انجام این آزمایش، مشخصات فیلتری که از هرگونه فرسایشی جلوگیری می‌نماید، مشخص می‌شود. مزیت این آزمایش آن است که برای هر خاک مبنایی قابل کاربرد می‌باشد. در این آزمایش ابتدا فیلتر در لایه‌های ۱ اینچی ریخته شده و به حالت اشباع در می‌آید. سپس روی یک میز ویبره گذاشته می‌شود و به مدت ۱ دقیقه تحت ارتعاش قرار می‌گیرد تا متراکم شود. در بالاترین لایه فیلتر از مواد جداری استفاده می‌شود. سپس خاک مینا ریخته شده و هر لایه خاک مینا تا حدود ۹۵ درصد پراکتور استاندارد، متراکم می‌گردد. نتایج آزمایشات شرارد نشان داد که رطوبت تراکم خاک مینا و میزان تراکم، تأثیر زیادی بر میزان فرسایش

ندارد. شکل (۱) دستگاه آزمایش NEF را نشان می‌دهد. شرایط آزمایش NEF بسیار محافظه کارانه است زیرا اولاً در این آزمایش فرض شده که هسته سد ترک خورده باشد و با این فرض سوراخی درون خاک مینا ایجاد می‌شود که ترک را در هسته سد خاکی مدل کند. ثانیاً نمونه خاک تحت گرادیان بسیار بالایی قرار می‌گیرد که چنین گرادیان هیدرولیکی ممکن است به ندرت در هسته سد بوجود آید. در طراحی سد خاکی سعی می‌شود، گرادیان هیدرولیکی از حدود ۴ و در شرایط استثنایی از ۸ بیشتر نشود در صورتی که در آزمایشات شرارد، گرادیان هیدرولیکی متجاوز از ۵۰۰-۴۰۰ بوده به نحوی که مقاوم‌ترین خاک‌ها در برابر فرسایش، تحت اثر چنین گرادیان هیدرولیکی بالایی ممکن است شسته شوند. شرارد در مقاله خود، یادآور می‌شود که برای خاک‌های مبنای با دانه بندی گسسته، تاکنون تحقیقی صورت نگرفته و در صورت نیاز باید معیار طراحی فیلتر این خاک‌ها با انجام آزمایشاتی بدست آید [۶]. بهمین لحاظ و بدلیل آنکه هسته مرکزی بسیاری از سد‌های خاکی در دست طرح و احداث ایران دارای دانه بندی گسسته هستند، ضرورت مطالعه بر روی این موضوع احساس شد و بهمین دلیل این تحقیق انجام شد.



شکل (۲) دستگاه آزمایش NEF به کار رفته در این تحقیق.

روش ساخت نمونه بدین ترتیب است که در قسمت تحتانی دستگاه مقداری شن درشت ریخته و روی آن توری ریزی، قرار می‌گیرد تا از حرکت دانه‌های ریز فیلتر به طرف سوراخ جلوگیری کند. سپس دانه‌های فیلتر در چهار لایه ۱ اینچی ریخته می‌شود. در بالاترین لایه فیلتر از ماسه ریز به عنوان مواد جداره‌ای استفاده می‌شود تا مانع شسته شدن ذرات خاک مینا از مجاورت جداره دستگاه گردد. سپس خاک مینا در سه لایه ریخته شده و هر لایه در حد تراکم پراکتور استاندارد کوبیده می‌شود. برای ایجاد سوراخ درون نمونه خاک مینا، از میله‌ای به قطر ۵ میلی‌متر استفاده شده است که قبل از ریختن خاک مینا در وسط آن گذاشته شده و بعد خاک مینا ریخته و کوبیده می‌شود. بعد از کوبیده شدن هر سه لایه، میله به آرامی بیرون کشیده شده و سوراخ ۵ میلی‌متری ایجاد می‌گردد. روی مجموعه را با شن پر کرده و در پوش دستگاه گذاشته شده محکم می‌گردد. پس از آن دستگاه به آب شهر با فشاری حدود 4 kg/cm^2 وصل می‌شود. با گذاشتن ظرفی در زیر سوراخ خروجی می‌توان دبی خروجی و وزن مواد شسته شده



شکل (۱) دستگاه آزمایش فیلتر بدون فرسایش (NEF) [6].

آزمایشات فیلتر بدون فرسایش بر روی خاک مینا با دانه بندی گسسته [۷۸]

تعداد ۲۰۷ آزمایش فیلتر بدون فرسایش برای تعیین معیار طراحی فیلتر خاک‌های مینا با دانه بندی گسسته در

و عبوری را اندازه گیری کرد. خلاصه ای از نتایج آزمایشات فیلتر بدون فرسایش برای خاک مینا با دانه بندی گسسته را می توان به صورت زیر بیان کرد:

۱- نحوه فرسایش برای فیلتر موفق و ناموفق طبق نظر شرارد، در مورد خاک های با دانه بندی گسسته صادق نبوده و عملکرد موفق یا ناموفق فیلتر برای این خاک ها با معیارهای ارائه شده توسط شرارد متفاوت است. در اینگونه خاک ها قضاوت در مورد عملکرد فیلتر عمدتاً براساس قطر سوراخ بعد از آزمایش، وضعیت جداره خاک مینا، درصد فرسایش، دبی آزمایش و زمان صاف شدن آب خروجی از دستگاه می باشد. گرادیان هیدرولیکی در این آزمایشات در محدوده ۴۰۰ تا ۶۰۰ قرار داشت.

۲- شرارد از آزمایشات خود به این نتیجه رسید که در مواردی که محدودیت قطر دستگاه وجود دارد، دانه های با اندازه بزرگتر از الک شماره ۴ را می توان با دانه های کوچکتر از الک شماره ۴ جایگزین کرد. نتایج حاصله از این آزمایشات نشان داد که تغییرات جزئی (حدود ۱۰ درصد) در قسمت درشت دانه خاک های مینا، تأثیر محسوسی در نتایج آزمایش ندارد ولی حذف کامل مواد درشت دانه، مورد آزمایش قرار نگرفت.

۳- شرارد از آزمایشات خود به این نتیجه رسید که درصد تراکم و رطوبت تراکم خاک مینا، تأثیری بر میزان فرسایش ندارد. در تحقیقات اخیر مشاهده شد، در نمونه های خشک (رطوبت تراکم حدود ۱ درصد کمتر از رطوبت بهینه)، در صورتی که سوراخ بسته نشود، میزان فرسایش این نمونه ها، بیشتر از نمونه هایی است که در رطوبت بهینه متراکم شده اند. بنابراین برخلاف نظر شرارد می توان گفت درصد رطوبت تراکم بر میزان فرسایش مؤثر خواهد بود. با کاهش مقدار رطوبت تراکم میزان فرسایش در خاک مینا افزایش می یابد و با افزایش رطوبت تراکم، میزان فرسایش کاهش می یابد.

۴- نتایج حاصل از آزمایشات نشان داد، برای خاک های مینای دارای کمتر از ۳۵ درصد ریزدانه، وزن مواد عبوری از فیلتر (W) و درصد فرسایش (ERP)، ارتباط خوبی با D_{10} فیلتر دارد. برای خاک های مینا با بیش از ۳۵ درصد ریزدانه، این ارتباط مشاهده نشد.

۵- برای خاک های مینا با کمتر از ۳۵ درصد ریزدانه، وزن مواد عبوری از فیلتر، ارتباط خوبی با ضریب یکنواختی فیلتر دارد. با افزایش ضریب یکنواختی فیلترهای با D_{10} یکسان، وزن مواد عبوری از فیلتر کاهش می یابد. به عبارت دیگر وزن مواد عبوری از فیلتر با ضریب یکنواختی فیلتر، ارتباط معکوس دارد. برای خاک های مینا با بیش از ۳۵

درصد ریزدانه، نتایج آزمایشات نشان داد، برای فیلترهای درشت دانه ($D_{10} > 1\text{mm}$)، رفتار فیلتر مستقل از ضریب یکنواختی فیلتر می باشد. این امر بدین خاطر است که با افزایش ضریب یکنواختی فیلتر، خلل و فرج فیلتر به حدی بزرگ خواهد شد که تفاوتی بین نتایج سه دسته فیلتر مشاهده نمی شود و همانطور که شرارد بیان می کند، برای خاک دارای ۴۰ تا ۸۵ درصد ریزدانه، رفتار فیلتر ارتباط مشخصی با توزیع اندازه ذرات دانه های فیلتر ندارد [۶].

۶- به منظور بررسی تأثیر گرادیان هیدرولیکی بر میزان فرسایش تعدادی آزمایش NEF در گرادیان های هیدرولیکی کمتر (حدود ۷۰) انجام شد. نتایج حاصله نشان داد میزان فرسایش در این آزمایشات حدود ۱۰ درصد کمتر از مقادیر بدست آمده از آزمایشات با گرادیان های هیدرولیکی بالا می باشد. بنابراین آزمایشات با گرادیان های هیدرولیکی نسبتاً پایین، بیانگر بدترین شرایط نمی باشد و شاید بهتر باشد جهت مقاصد طراحی از همان گرادیان های هیدرولیکی بالا استفاده نمود.

۷- به منظور بررسی مکانیزم فرسایش خاک مینای گروه ۱ (دارای بیش از ۸۵ درصد ریزدانه) آزمایشاتی با قطر سوراخ ۱ میلیمتر انجام شد و ملاحظه گردید مکانیزم فرسایش تقریباً مطابق با نظر شرارد می باشد و قطر سوراخ پس از آزمایش بین ۴ تا ۷ میلیمتر مشاهده شد.

۸- به منظور بررسی مکانیزم فرسایش با قطر سوراخ بزرگتر از ۵ میلیمتر، تعدادی آزمایش فیلتر بدون فرسایش با قطر سوراخ ۱۰ میلیمتر انجام شد. نتایج حاصله نشان داد زمان صاف شدن آب در این نمونه ها و نیز وزن مواد عبوری از فیلتر در مقایسه با قطر سوراخ ۵ میلیمتر، کمتر می باشد.

۹- نتایج آزمایشات بر روی خاک مینا با درصد ریزدانه بیشتر از ۴۵ درصد نشان داد که D_{10} بحرانی مستقل از مقدار ذرات ریزدانه می باشد. همچنین با افزایش ضریب یکنواختی فیلتر، $(D_{10})_c$ افزایش می یابد اما در هر حال مقدار آن از $1/5$ میلیمتر تجاوز نمی کند. شاید این مسأله بدین خاطر باشد که با افزایش ضریب یکنواختی، اندازه حفرات به قدری بزرگ می شود که مقدار D_{10} نمی تواند از حد خاصی بالاتر رود و مانع از ایجاد فرسایش گردد. برای خاک های مینا با کمتر از ۳۵ درصد ریزدانه، با افزایش درصد ریزدانه، D_{10} فیلتر بحرانی افزایش می یابد. برای خاک های مینا با بیش از ۳۵ درصد ریزدانه، به نظر می رسد رفتار خاک در مقابل پدیده فرسایش مستقل از درصد ریزدانه باشد.

تعیین معیار طراحی فیلتر برای جلوگیری از آبشستگی در خاک‌های با دانه بندی گسسته

از مجموع آزمایشات انجام شده در این تحقیق روابط زیر، به عنوان یک معیار کلی برای طرح فیلتر بحرانی خاک‌های با دانه بندی گسسته بدست آمد:

۱- برای $F_c \leq 25\%$ و $F_c \leq 15\%$ (شکل ۳):

$$(D_{15})_{cr} = (0.273) (C_u)^{1/5} (F_c)^{1/8} \quad (3)$$

که در این رابطه F_c درصد ریزدانه خاک مینا است. برای $F_c = 25\%$ و $F_c = 15\%$ در حالت وجود دارد:

۱-۲ برای $C_u < 10$ (شکل ۳):

$$(D_{15})_{cr} = (0.273) (C_u)^{1/5} (F_c)^{1/8} \quad (3)$$

۲-۲ برای $C_u \geq 10$ (شکل ۳):

$$(D_{15})_{cr} = (0.593) (C_u)^{1/8} (F_c)^{1/7} \quad (4)$$

۳- برای $25\% < F_c \leq 40\%$ (شکل ۴):

$$(D_{15})_{cr} = (0.593) (C_u)^{1/8} (F_c)^{1/7} \quad (4)$$

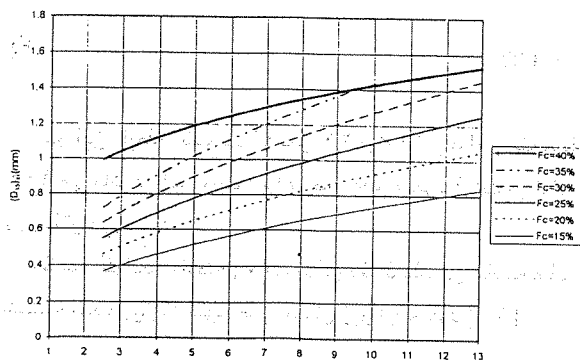
۴- برای $40\% < F_c \leq 50\%$ (شکل ۴):

$$(D_{15})_{cr} = (1.2-1.5) \text{ mm} \quad (5)$$

به طور محافظه کارانه برای خاک‌های مینا با دانه بندی گسسته و دارای بیش از ۴۰ درصد ریزدانه، می‌توان از فیلتری با $D_{15} \leq 1/2 \text{ mm}$ استفاده کرد. شکل (۳) تغییرات $(D_{15})_{cr}$ برحسب ضرایب یکنواختی فیلتر و درصد ریزدانه خاک مینا را نشان می‌دهد. با این شکل می‌توان مقدار D_{15} فیلتر بحرانی برای شروع آبشستگی را برای خاک‌های مینا با دانه بندی گسسته دارای ۱۵ تا ۴۰ درصد ریزدانه، تعیین کرد. برای خاک‌های مینا با بیش از ۴۰ درصد ریزدانه از رابطه گسسته $D_{15} < 1/2 \text{ mm}$ استفاده می‌شود. در صورتیکه درصد ریزدانه مینا بین مقادیر مشخص شده باشد می‌توان با درون یابی $(D_{15})_{cr}$ را بدست آورد.

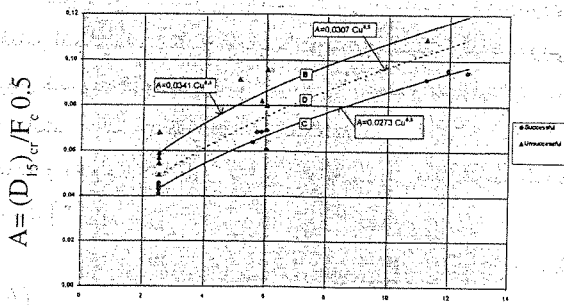
شکل (۴) ارتباط بین D_{15} فیلتر بحرانی (مستقل از درصد ریزدانه) با ضریب یکنواختی فیلتر را برای خاک‌های مینای دارای کمتر از ۲۵ درصد ریزدانه نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود، آزمایشات انجام شده بر روی

خاک‌ها مرز باریکی را بین آزمایشات موفق و ناموفق، نشان می‌دهد. در این شکل منحنی (C) منحنی حاصل از برآزش بین نقاط مربوط به آزمایشات موفق مرزی و منحنی (B) حاصل از برآزش بین نقاط مربوط به آزمایشات ناموفق می‌باشد. منحنی (D)، منحنی مرز آزمایشات موفق و ناموفق است که به منظور تعیین D_{15} فیلتر بحرانی خاک‌های مینا با دانه بندی گسسته، می‌توان به کاربرد. به طور محافظه کارانه، جهت تعیین معیار طراحی فیلتر خاک‌های مینا با دانه بندی گسسته، می‌توان از منحنی (C) نیز استفاده کرد. رابطه (۳) براساس منحنی (C) داده شده است.



شکل (۳) مقدار $(D_{15})_{cr}$ برای خاک‌های مینا با دانه بندی گسسته

برحسب ضرایب یکنواختی فیلتر و درصد ریزدانه خاک مینا.



شکل (۴) نمودار تعیین D_{15} فیلتر بحرانی (مستقل از درصد ریزدانه)

برحسب ضرایب یکنواختی فیلتر.

نفوذ پذیری فیلترها

از جمله اطلاعات مورد نیاز برای طرح فیلتر سدهای خاکی و سنگریز، نفوذ پذیری فیلتر می‌باشد. نفوذ پذیری فیلتر باید به حدی باشد که مانعی برای عبور آب ایجاد نکند و به راحتی آب موجود در هسته مرکزی را به خارج انتقال دهد.

اصولاً در تعیین نفوذ پذیری فیلترها، برای کارهای طراحی، رابطه ای مناسب است که از یک طرف با دقت خوبی نفوذ پذیری را ارائه دهد و از طرف دیگر تا حد امکان ساده باشد. لذا در این تحقیق برای بدست آوردن نفوذ پذیری فیلترها، آزمایشاتی در گرادیان های هیدرولیکی کم انجام شد. روش انجام آزمایشات و روابط بدست آمده جهت تعیین نفوذ پذیری فیلتر، در ادامه بیان می شود.

مروری بر مطالعات انجام شده در تعیین نفوذ پذیری فیلترها

هازن در سال ۱۹۱۱ برای اندازه گیری نفوذ پذیری خاک های ماسه ای بسیار یکنواخت، تمیز و با تراکم بسیار کم (شل)، رابطه (۶) را ارائه نمود [۹]:

$$k = CD_{10}^2 \quad (6)$$

در این رابطه، ضریب C بین ۴۱ و ۱۴۶ و بطور متوسط ۱۰۰ می باشد. این رابطه با فرض عدم وجود ذرات ریزدانه در فیلتر می باشد.

کاسا گراندی رابطه (۷) را برای نفوذ پذیری ماسه های شسته شده ریز تا متوسط به شکل زیر ارائه کرد [۱۰]:

$$k = 1/4 e^{k_{85}} \quad (7)$$

که در رابطه فوق، e نسبت تخلخل فیلتر و k_{85} نفوذ پذیری فیلتر برای دانسیته نسبی حدود ۸۵ درصد می باشد.

شرارد نیز یکسری آزمایشات در ارتباط با نفوذ پذیری فیلتر انجام داد. نتایج آزمایشات نشان داد که ارتباط خوبی بین ضریب نفوذ پذیری و اندازه D_{10} فیلتر وجود دارد. در آزمایشات شرارد نفوذ پذیری فیلتر برابر $D_{10}^{0.6}$ بوده و به طور میانگین برابر رابطه زیر در نظر گرفته شده است [۴]:

$$k = 0.25 D_{10}^{0.6} \quad (8)$$

تعداد دیگری از محققین نیز بر روی ضریب نفوذ پذیری خاک ها پژوهش کرده اند و هر کدام رابطه ای بدست داده اند که بعضاً دارای پارامترهایی است که بدست آوردن آنها ساده نمی باشد و عملاً مورد استفاده قرار نمی گیرد. لذا ما در این مقاله بهمین مقدار بسنده می کنیم.

نحوه اندازه گیری نفوذ پذیری فیلترها در این تحقیق

برای انجام آزمایشات نفوذ پذیری، ابتدا نمونه ساخته می شود. در این تحقیق فیلتر در چهار لایه ریخته شده و هر لایه توسط سقوط وزنه ۸/۹ کیلوگرمی از ارتفاعی حدود ۱۵ سانتی متر به تعداد ۴۰ ضربه، متراکم می گردد. در بالاترین لایه فیلتر در محل تماس خاک فیلتر با جداره استوانه، بدلیل دو جنس بودن مصالح مجاور هم و صلب بودن جداره، تخلخل در این نقاط زیادتراً از قسمت های دیگر خاک بوده و به همین دلیل نفوذ پذیری خاک در این قسمت، بیشتر از سایر قسمت های خاک خواهد بود. برای رفع این اشکال در این قسمت از ماسه ریز به عنوان مصالح جداره ای استفاده شد تا از عبور آسان آب از این محدوده و غیر واقعی جلوه دادن نفوذ پذیری خاک جلوگیری به عمل آید. برای اندازه گیری نفوذ پذیری، آب تحت ارتفاع ثابتی از درون خاک عبور می کند. ارتفاع فیلتر و حجم آب عبوری از فیلتر در زمان معین اندازه گیری می شود. با توجه به کم بودن گرادیان هیدرولیکی به علت کم بودن ارتفاع آب روی فیلتر جریان آرام بوده و برای تعیین نفوذ پذیری از قانون دارسی استفاده می شود.

نتایج آزمایشات نفوذ پذیری

از مجموع ۹۹ آزمایش نفوذ پذیری انجام شده بر روی سه دسته فیلتر کاملاً یکنواخت ($C_u = 2/5$)، مرز یکنواختی و خوب دانه بندی ($C_u = 5-6$) و خوب دانه بندی شده ($C_u = 11-14$) نتایج زیر بدست آمد [۷]:

۱- نفوذ پذیری فیلتر، ارتباط بسیار خوبی با D_{10} فیلتر دارد، اما محدود کردن نفوذ پذیری به این ارتباط صحیح نیست. به عبارت دیگر نفوذ پذیری فیلتر با پارامترهایی چون ضریب یکنواختی هم مرتبط است. در آزمایشات دیده شد با افزایش ضریب یکنواختی، نفوذ پذیری فیلتر کاهش می یابد. بنابراین نفوذ پذیری فیلترهای دارای دانه بندی یکنواخت، بیشتر از نفوذ پذیری فیلترهای خوب دانه بندی شده است. ارتباط بین نفوذ پذیری فیلتر (k) و D_{10} را می توان از روابط زیر بدست آورد. معادله ارائه شده برای نفوذ پذیری، حاصل برآزش خطی بین تمامی نمونه های مربوط به هر گروه از فیلترهای دارای ضرایب یکنواختی متفاوت می باشد.

$$\text{برای } C_u = 2/5$$

$$k = 0.06 D_{10}^{0.6} \quad (9)$$

$$\text{برای } C_u = 5-6$$

$$k = 0.27 D_{10}^{0.6}$$

این رابطه نشان می‌دهد که نفوذپذیری فیلتر با D_{15}^2 ارتباط مستقیم و با $C_u^{1/5}$ ارتباط معکوس دارد. معادلات حاصل از برازش خطی بین $C_u^{1/5}$ و k بدست آمده است.

۴- مقایسه نتایج آزمایشات نفوذپذیری شرارد و نتایج بدست آمده از رابطه (۱۵) نشان داد که استفاده از رابطه (۱۵) برای محاسبه نفوذپذیری خاک‌های دانه‌ای در محدوده $1/7 < C_u < 3/8 \text{ mm} < D_{15} < 1 \text{ mm}$ کاملاً مناسب است و بین اعداد بدست آمده از آزمایش‌های شرارد و رابطه (۱۵) همخوانی بسیار خوبی وجود دارد. آزمایشات نفوذپذیری در این تحقیق برای فیلترهای در محدوده $1/2 \text{ mm} \leq D_{15} \leq 0/3 \text{ mm}$ انجام گردیده است که این محدوده به طور عام کلیه فیلترهای مربوط به سدهای خاکی و سنگریز را پوشش می‌دهد. لذا استفاده از رابطه (۱۵) برای تخمین نفوذپذیری فیلتر برای کاربرد در مراحل مختلف طراحی سدهای خاکی و سنگریز پیشنهاد می‌گردد.

تشکر و قدردانی

این مطالعات با پشتیبانی مالی معاونت پژوهشی دانشگاه در آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف انجام شده است که بدین وسیله قدردانی می‌شود. همچنین لازم است از تکنسین‌های آزمایشگاه مکانیک خاک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف به خاطر کمک‌های فراوان و همکاری‌های بی‌دریغشان در به انجام رساندن این تحقیق تشکر نمائیم.

زیر نویس‌ها

- 1- Piping
- 2- Bertram
- 3- Lund
- 4- US Bureau of Reclamation
- 5- Sherard

6- No Erosion Filter Test (NEF)

- [1] Bertram, G.E., "Experimental Investigation of Protective Filters", Soil Mechanics Series No.7, Graduate School of Engineering, Harvard University, Cambridge, Mass. 1940.
- [2] Lund, A., "An Experimental Study of Graded Filters", thesis presented to the University of London, at London, U.K., in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, 1949.
- [3] U.S. Bureau of Reclamation, "The Use of Laboratory Tests to Develop Design Criteria for

(۱۰)

برای $C_u = 11-14$

$$k = 0/27 D_{15}^2$$

(۱۱)

۲- رابطه ارائه شده توسط شرارد، برای نفوذپذیری فیلترها یعنی رابطه $k = 0/35 D_{15}^2$ رابطه جامعی نبوده و شامل تمام فیلترها نخواهد بود.

۳- برای پیدا کردن ارتباط نفوذپذیری با پارامترهایی نظیر C_u و D_{15} ، توان‌های مختلفی از این پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. بهترین ارتباط بدست آمده در این تحقیق به صورت رابطه زیر می‌باشد:

برای $C_u = 2/5$

$$k = 0/96 \frac{D_{15}^2}{C_u^{1/5}}$$

(۱۲)

برای $C_u = 5-6$

$$k = 0/86 \frac{D_{15}^2}{C_u^{1/5}}$$

(۱۳)

برای $C_u = 11-14$

$$k = 0/98 \frac{D_{15}^2}{C_u^{1/5}}$$

(۱۴)

بنابراین می‌توان بطور متوسط رابطه کلی زیر را برای تعیین نفوذپذیری خاک‌های دانه‌ای پیشنهاد می‌کنیم:

$$k = 0/93 \frac{D_{15}^2}{C_u^{1/5}}$$

(۱۵)

مراجع

- Protective Filters", Earth Laboratory Report No. EM-425, 1955, (also published in proceedings, ASTM, Vol.55, 1955, p.1183).
- [4] Sherard, J.L., and Dunnigan, L.P., "Basic Properties of Sands and Gravel Filters", J. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 110, GT6, 1984 a, pp 684-700.
 - [5] Sherard, J.L., and Dunnigan, L.P., "Filters for Silts and Clays", J. of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 110, GT6, 1984 b, pp 701-719.
 - [6] Sherard, J.L., and Dunnigan, L.P., "Critical Filters for Impervious Soils", J. of Geotechnical Engineering

ASCE, Vol.115, GT7, 1989, pp 927-947.

[۷] حیدری خواص، محمد «تعیین معیار طراحی فیلتر سدهای خاکی و سنگریز برای هسته های مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی گسسته». پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران (۱۳۷۷)

[۸] نصر، محمد «تعیین معیار طراحی فیلتر سدهای خاکی و سنگریز برای هسته های مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی گسسته». پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران (۱۳۷۷)

دانه بندی گسسته». پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران (۱۳۷۷)

[9] Hazen, A. Discussion of "Dams on Sand Foundation", by A.C. Doening, Trans. ASCE Vol 73, 1911, p. 199.

[10] Casagrande, A. "Seepage Through Dams", Boston Society of Civil Engineers, Boston, 1937.

تعیین معیار طراحی فیلتر سدهای خاکی و سنگریز برای هسته های مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی گسسته

محمد حیدری خواص

دانشگاه صنعتی شریف، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

تعیین معیار طراحی فیلتر سدهای خاکی و سنگریز برای هسته های مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی گسسته

محمد حیدری خواص

دانشگاه صنعتی شریف، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران

موسسه تحقیقات و فناوری سدسازی، تهران