تعیین معیار طراحی فیلتر سدهای خاکی و سنگریز برای هسته مرکزی متشکل از مصالح بادانه بندی مخلوط

دکتر سید محسن حائری [1]
مهندس سید عباس حسینی [2]

چکیده :

فیلتر یکی از مهمترین بخش ها در طراحی بدنه سد خاکی می باشد. این ناحیه (فیلتر)بعنوان یک خط دفاعی مطمئن و تجربه شده جهت جلو گیری از حمل احتمالی مصالح هسته که بوسیله نشت متمرکز (ناشی از ایجاد هر گونه ناپیوستگی) اتفاق افتاده ، مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجایی که فیلتر یکی از قسمتهای پر هزینه در ساخت سدها می باشد لذا لازم است معیاری علمی و دقیق برای مشخصات آن ارائه گردد. از جمله خاکهایی که به فراوانی در طبیعت یافت شده و مناسب برای استفاده در هسته مرکزی سدها می باشند، خاکهای یخچالی هستند که دارای دانه بندی گسترده می باشند. این خاکها دارای ذراتی در ابعاد لای ورس تا ابعادی در حد شن یا بزرگتر می باشند. این خاکها ممکن است در محدوده ابعاد ماسه گسسته بوده و یا مخلوط باشند.

از آنجائی که تحقیقات انجام شده توسط محققین قبلی برای این نوع خاکها بسیار محدود بوده و هماهنگی و اتفاق نظر در این زمینه وجود ندارد، پروژه حاضر با هدف ارائه معیاری جهت طراحی فیلتر خاکهای مبنا با دانه بندی مخلوط و دارای ۱۵ تا ۴۰ در صد ریز دانه در دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف انجام شد. سپس با تجزیه و تحلیلهای لازم مقدار D_{15} فیلتر بحرانی برای خاکهای مبنا با دانه بندی مخلوط ارائه شد.

کلمات اصلی و مهم :

فیلتر – سد خاکی – دانه بندی گسترده – دانه بندی مخلوط - مصالح هسته

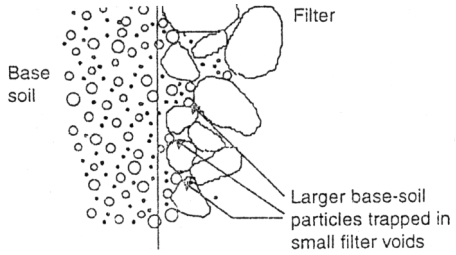
---

[1] دانشیار و مدیر گروه ژئوتکنیک دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف

[2] کار شناس ارشد مهندسی سازه های هیدرولیکی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شریف

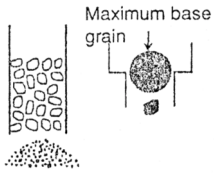
مروری بر مطالعات انجام شده قبلی در زمینه طرح فیلتر

بررسی ها نشان داده است عمده خرابی سدهای خاکی در اثر نشت آب، آبشستگی مصالح و پدیده Piping می باشد. سدTeton در آمریکا ، سد Balderhead در شمال انگلیس ، سد Nanak sagar در هند و سد Tarbela در پاکستان از جمله سدهایی می باشد که بدلیل عدم توانایی فیلتر در جلو گیری از شتشوی مصالح دچار خرابی شده اند [۳]. منظور از آبشستگی حمل تدریجی ذرات ریز خاک توسط جریان آب از میان ترکها و خلل و فرج و حفرات می باشد. برای جلو گیری از پدیده آبشستگی و جلو گیری از خرابی در سدهای خاکی عموماً در پائین دست و بالا دست 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 شوند. 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. شکل (۱) این وضعیت را نشان می دهد.



شکل(۱) – چگونگی حرکت مصالح در سطح مشترک فیلتر وخاک مبنا

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 (شکل (۲)) [۳].



شکل (۲) – چگونگی عملکرد فیلتر ناموفق

از قدیمترین روابط فیلتر می توان به روابط ترزاقی اشاره کرد [۲]:

۱-شرط نفوذ پذیری $\frac{D15F}{d15B} \le 4-5$ ۲-شرط آبشستگی $\frac{D15F}{d85B} \le 4-5$

برترام ولاند نخستین افرادی بودند که حدود کار برد معیار ترزاقی را مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار دادند. نتایج آزمایشات برترام(۱۹۴۰) مرز پایداری سیستم فیلتر و خاک مبنا (ماسه ریز) را در محدوده $\frac{D15F}{d85B} = 9-10$ نشان می داد [۱] . لاند در سال ۱۹۴۹ مطالعات آزمایشگاهی خود را به منظور بررسی عملکرد فیلترهای شنی و ماسه ای برای خاکهای مبنای ماسه ای یکنواخت انجام داد. مرز پایداری آزمایشهای کاملاً موفق در پائین و یا روی خط مرزی $\frac{D15F}{d85B} = 9$ و آزمایشهای ناموفق در بالای خط فوق قرار گرفتند [۷].

مطالعات USACE که در حدود سالهای ۱۹۴۱ تا ۱۹۴۸ در مرکز تحقیقات آزمایشگاهی آغاز گردیده و در طی سالیان گذشته اصلاح شده همانند مطالعات ترزاقی بر اساس دو معیار نفوذ پذیری و پایداری می باشد[۱۱].

۳-شرط پایداری $\frac{D50F}{d50B} \le 25$ و ۴- $\frac{D15F}{d85B} \le 5$

شرط نفوذ پذیری $\frac{D15F}{d15B} \ge 5$

مؤسسه USBR در فاصله سالهای ۱۹۴۷ تا ۱۹۵۵ تحقیقاتی برروی طراحی فیلتر سد های خاکی انجام داد.

مقادیر پیشنهادی USBR در جدول زیر نشان داده شده است [۲].

فیلتر	معیار	
فیلترهای یکنواخت	$5 < D50F/d50B < 10$	$12 < D15F/d15B < 40$
فیلترهای خوب دانه بندی شده	$12 < D50F/d50B < 50$	$12 < D15F/d15B < 40$

کنی در سال ۱۹۸۵ با معرفی پارامتر D_c^* (قطر بزرگترین ذره ای از خاک مبنا که می تواند از میان فیلتر باضخامت مشخص عبور کند) به بررسی رفتار فیلترها پرداخت. تحقیقات نشان داد که D_c^* می تواند با توجه به دانه بندی بخش ریز دانه فیلتر (D_{15} یا D_5) تعیین شود. کنی برای خاکهای غیر چسبنده روابط زیر را پیشنهاد می کند [۴]:

$$D_{15} > 5d_{50} \quad \text{و} \quad D_5 > 4d50$$

مطالعات نظری نشان می دهد که رفتار خاک مبنا را با بعد مشخصه ای مانند (d_I یا d_{XB}) و رفتار فیلتر را با بعد مشخصه ای مانند (O_F یا D_{YF}) می توان بیان کرد. در بسیاری از معیارها ی طرح فیلتر فرض بر این است که رابطه $O_F < d_I$ برقرار باشد. بر این اساس لافلر درسال ۱۹۸۹ رابطه کلی زیر را پیشنهاد کرد [۶] [۵]:

$$D_{15} < 4d_{SF}$$

که d_{SF} بستگی به مشخصات و ویژگیهای خاک مبنا دارد.

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

۱-آزمایشاتی که در آن خاک مبنا از ماسه با دانه بندی یکنواخت تشکیل می شد [۸].

شرارد بر اساس آزمایشات خود برای این دسته از خاکها معیار $D_{15F} < 9d_{85B}$ را پیشنهاد کرد. ضمن آنکه معیارهایی که بر اساس $\frac{D_{15F}}{d_{15B}}, \frac{D_{50F}}{d_{50B}}$ تعریف می شوند، مناسب نبوده و باید کنار گذاشته شوند.

۲-آزمایشاتی که در آن خاک مبنا از خاکهای رسی و سیلتی تشکیل می شد [۹].

شرارد با انجام آزمایشات شیاری و گل آب نتایج زیر را گزارش کرد:

۲-الف – برای رس ها و لای های ماسه دار که دارای d_{85} بین ۰/۱ تا ۰/۵ میلی متر می باشند استفاده از معیار $\frac{D_{15}}{d_{85}} \le 5$ محافظه کارانه و قابل قبول می باشد و پلاسیسیته خاک مبنا تأثیری بر طراحی فیلتر ندارد.

۲-ب – برای خاکهای رسی ریز دانه که دارای d_{85} بین ۰/۰۳ تا ۰/۱ میلی متر می باشند استفاده از فیلتر های ماسه ای یا ماسه ای شن دار که در آن D_{15} کوچکتر از ۰/۵ میلی متر، می باشد محافظه کارانه و قابل قبول است. پلاسیسیته و واگرایی رس، تأثیری بر دانه بندی فیلتر طراحی شده ندارد.

۲-ج – برای لای های ریز دانه با چسبندگی و پلاسیسیته کم که d_{85} بین ۰/۰۳ تا ۰/۱ میلی متر بوده و حد روانی کمتر از ۳۰ می باشد، استفاده از فیلتر های ماسه ای یا ماسه های شن دار دارای D_{15} کوچکتر از ۰/۳ میلی متر ، محافظه کارانه و قابل قبول می باشد.

۲-د - برای رس ها و لای های بسیار ریز دانه که دارای d_{85} کوچکتر از ۰/۰۲ میلی متر می باشند، آزمایش طرح فیلتر ، در آزمایشگاه باید انجام شود. به نظر می رسد فیلتری با D_{15} کوچکتر ا ز۰/۲ میلی متر ، 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 . خلاصه نتایج آزمایشات شرارد بر اساس روش NEF به همراه خلاصه ای از مجموعه فعالیتهای انجام شده در ارتباط با طرح فیلتر در جدول (۱) آورده شده است [۳] [۱۰] .

بررسی و مطالعه نوع خاک مبنا[۱۲]

انتخاب مصالح سد خاکی و سنگریز بستگی به عوامل مختلفی دارد که مهمترین آنها عبارتند از ایمنی با توجه به پایداری و تراوش ، بهینه سازی طرح با توجه به قابلیت دسترسی به مصالح و خصوصیات و فیزیکی آنها و برنامه اجرای ساختمان و مشخصات توپوگرافی و پی سد . با توجه به مطالب ذکر شده ، مطالعه و بررسی برروی انواع خاکهای طبیعی و مصنوعی مورد استفاده در هسته مرکزی انجام شد که نتیجه آن نشان داد که دانه بندی هسته مرکزی بسیاری از سد های خاکی و سنگریزمرتفع دنیا دارای محدوده گسترده ای هستند . از جمله خاکهائیکه به فراوانی در طبیعت یافت می شوند خاکهای یخچالی هستند که دارای دانه بندی گسترده می باشند .این خاکها دارای ذراتی در ابعادلای ورس تا ابعادی در حد شن وبزرگتر می باشد . این خاکها بطور وسیعی در ساخت هسته مرکزی سد های خاکی در جهان اسنفاده می شود . از چنین مصالحی در سد های کرخه و مسجد سلیمان استفاده شده است.

آزمایشاتی که در این تحقیق مد نظر گرفت آزمایش بر روی مصالح با دانه بندی مخلوط متشکل از شن (با حد اکثر ابعاد یک اینچ) ماسه و مصالح ریزدانه با ۱۵ تا ۴۰ درصدعبوری ازالک نمره بعنوان خاک مبنا می باشد.

بررسی و مطالعه نوع فیلتر [۱۲]

باوجود اینکه مصالح قرضه طبیعی مورد نیاز در تهیه زهکشها و فیلترها با سایر کاربردهای مصالح طبیعی از حجم کمی برخوردار است، معهذا باتوجه به نقش این گونه مصالح درچگونگی بهره وری سیستم های زهکشی و ایمنی سدهای خاکی و سنگریز، نیاز است تا مشخصات و خصوصیات فنی اینگونه مصالح بدقت مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.

عدم توجه به تعیین مشخصات فنی و ارزیابی اولیه خواص مصالح قرضه مورد نیاز در ساخت فیلترها، باعث ایجاد مشکلات متعدد در طول دوره بهره برداری پروژه ها شده و بطور کلی ممکن است راندمان و ایمنی سازه را درحد غیرقابل قبولی کاهش دهد.

باتوجه به مشکلات گفته شده مشخصات فیزیکی ومکانیکی مصالح فیلتر شامل مقاومت فشاری، شاخص دوام، زبری، پوشش سطحی، تخلخل، فعل و انفال شیمیایی و شکل ذرات باید مورد بررسی قرارگرفته و جدایی در ذرات فیلتر اتفاق نیفتاده و چسبندگی در بین ذرات وجود نداشته باشد.

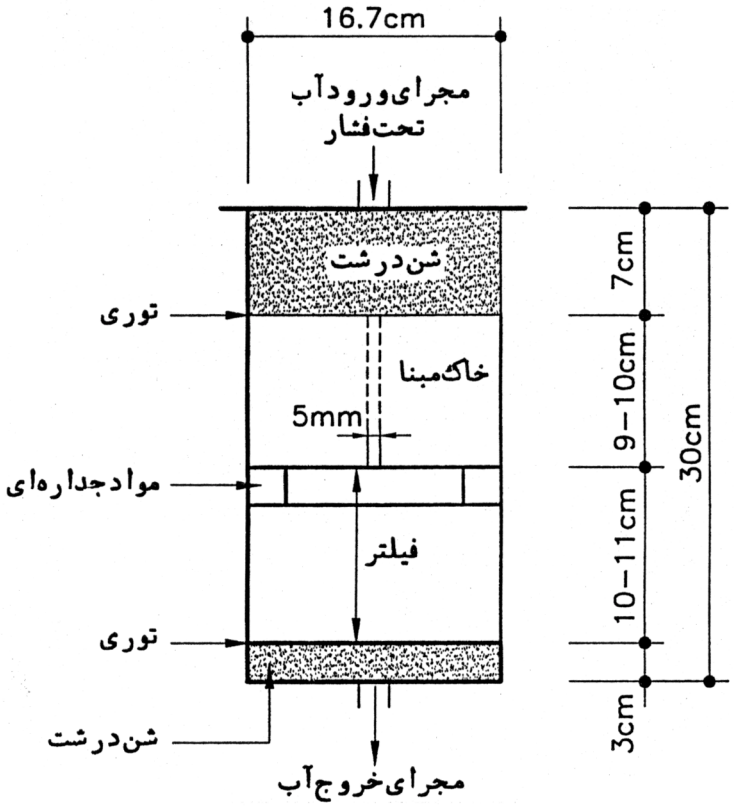
لذا برای آن که فیلترهای مورد آزمایش شرایطی متناسب با فیلترهای متداول در سدهای خاکی داشته باشند و بطورکلی مشخصات فنی و عملکرد مناسبی داشته باشند فیلترهایی با ضریب یکنواختی و دانه بندی مختلف انتخاب شدند. با مطالعه و بررسی فیلترهای سدهای خاکی و سنگریز موجود در ایران و جهان مشاهده شد که ضریب یکنواختی اکثر فیلترها در محدوده ۳ تا ۱۲ قرار گرفته است. بهمین لحاظ فیلترهای بسیار یکنواخت با Cu=3 ، فیلترهای در مرز خوب دانه بندی شده و یکنواخت با Cu=6 و فیلترهای خوب دانه بندی شده با Cu=11 انتخاب شده ومورد آزمایش قرار گرفتند.

آزمایشات فیلتر بدون فرسایش جهت تعیین معیار طراحی در خاکهای با دانه بندی مخلوط

از آنجایی که شرایط آزمایش NEF بسیار محافظه کارانه می باشد، زیرا اولاً در این آزمایش فرض شده که هسته سد ترک خورده باشد، ثانیاً نمونه خاک تحت گرادیان هیدرولیکی بسیار بالا قرارمی گیرد که چنین گرادیان هیدرولیکی ممکن است به ندرت در هسته بوجود آید، همچنین این آزمایش قابل استفاده برای انواع خاکها می باشد، در این تحقیق از روش NEF (NO EROSION

FILTER) برای آزمایشات استفاده شد که در سال ۱۹۸۹ توسط شرارد و همکارانش پیشنهاد گردید. شکل (۳) دستگاه بکار رفته در این تحقیق را نشان می دهد.

روش ساخت نمونه بدین ترتیب است که در قسمت تحتانی دستگاه مقداری شن درشت ریخته و روی آن توری ریزی، قرار می گیرد تا از حرکت دانه های ریز فیلتر به طرف سوراخ جلوگیری کند. سپس دانه های فیلتر در چهار لایه ۱ اینچی ریخته می شود. در بالاترین لایه فیلتر از ماسه ریز به عنوان مواد جداره ای استفاده می شود تا مانع شسته شدن ذرات خاک مبنا از مجاورت جداره دستگاه گردد. سپس خاک مبنا در سه لایه ریخته شده و هر لایه در حد تراکم پراکتور استاندارد کوبیده می شود. برای ایجاد سوراخ درون نمونه خاک مبنا، از میله ای به قطر ۵ تا ۱۰ میلیمتر استفاده شده است که قبل از ریختن خاک مبنا در وسط آن گذاشته شده و بعد خاک مبنا ریخته و کوبیده می شود. بعد از کوبیده شدن هر سه لایه، میله به آرامی بیرون کشیده شد و سوراخ ۵ تا ۱۰ میلیمتری ایجاد می گردد. روی مجموعه را با شن پرکرده و درپوش گذاشته شده ، محکم می گردد. پس از آن دستگاه به آب شهر با فشاری حدود $4\frac{kg}{cm^2}$ وصل می شود. با گذاشتن ظرفی در زیر سوراخ خروجی می توان دبی خروجی و وزن مواد شسته شده و عبوری را اندازه گیری کرد[۱۳].



شکل (۳) – دستگاه آزمایش NEF بکار رفته در این تحقیق

باتوجه به نتایج آزمایشات انجام شده منحنی های خطی فراوان بر حسب نسبتهای D_{15} و توان های مختلف F_C (درصد ریزدانه) و Cu (ضریب یکنواختی) رسم شده و ضرایب همبستگی بدست آمده مقایسه شد و در نهایت معیاری که هماهنگی بیشتری را نشان می داد بعنوان یک معیار کلی برای طرح فیلتر بحرانی خاکهای با دانه بندی مخلوط بصورت زیر ارائه گردید:

۱-برای $15\% \le F_C \le 30\%$

$$(D_{15})_{cr} = 0.027 \times Cu^{0.5} \times Fc^{0.8}$$

۲-برای $30\% \le F_C \le 40\%$

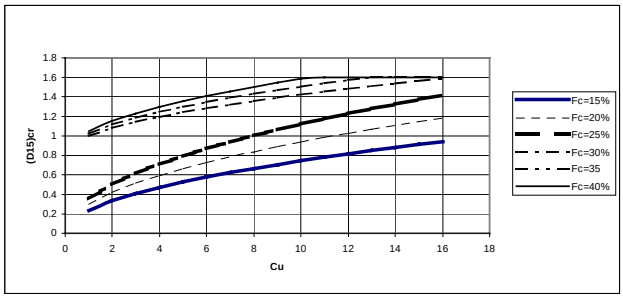
$$(D_{15})_{cr} = 0.013 \times Cu^{0.5} \times Fc^{0.8} + 0.8$$

رابطه نشان می دهد برای درصد ریزدانه بیش از ۳۰ درصد همواره $(D_{15})_{cr} \rangle 0.8(mm)$ می باشد . همچنین آزمایشات نشان داد همواره برای خاکهای مبنا با دانه بندی مخلوط $(D_{15})_{cr} \leq 1.6(mm)$ می باشد.

از آنجائیکه در طراحی لازم است معیاری محافظه کارانه مورد استفاده قرار گیرد، منحنی بدست آمده از برازش بین نقاط مربوط به آزمایشات موفق توصیه می شود. این منحنی رابطه کلی بصورت زیر دارد که برای درصد ریزدانه بین ۱۵ تا ۴۰ درصد مورد استفاده قرار می گیرد.

$$D_{15} = 0.024 \times Cu^{0.5} \times Fc^{0.8}$$

شکل (۴) تغییرات $(D_{15})_{cr}$ بر حسب ضریب ضریب یکنواختی فیلتر و درصد ریز دانه خاک مبنا را نشان می دهد . با این شکل می توان مقدار D_{15} فیلتر بحرانی را برای شروع آبشستگی در خاکهای مبنا با دانه بندی مخلوط دارای ۱۵ تا ۴۰ درصد ریزدانه را تعیین کرد.



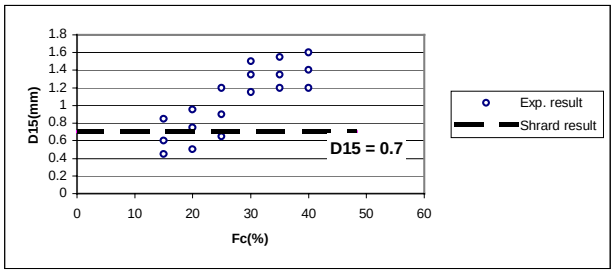
شکل (۴) – نمودار تعیین D_{15} فیلتر بحرانی بر حسب ضریب یکنواختی فیلتر

مقایسه با نتایج سایر محققین وجمع بندی

مروری بر تحقیقات انجام شده بر روی فیلترها نشان می دهد که عمده مطالب انجام شده برروی خاکهای یکنواخت و خاک های رس دار و رس های ماسه دار انجام شده است . از جمله محققینی که مطالعات وپیشنهاداتی برروی خاک های بادانه بندی گسترده را داشته اند می توان به لافلروشرارد اشاره کرد. بر این اساس نتایج بدست آمده از آزمایشات با معیار های لافلروشرارد مقایسه گردید.

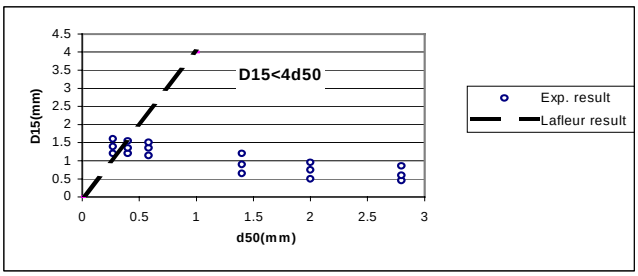
براساس روش لافر برای خاک غیر چسبنده با دانه بندی گسترده بعد مشخصه خاک مبنا برابر d_{50} واندازه باز شدگی منافذ فیلتر برابر $D_{15}/4$ می باشد. بنابر این معیار طراحی بصورت $D_{15} \langle 4d_{50}$ می باشد. درشکل (۵) مقایسه ای براساس معیار فوق ونتایج بدست آمده از آز مایشات نشان داده شده است . در شکل مشاهده می شود برای درصد ریز دانه های ۴۰،۳۵،۳۰،درصد هماهنگی خوبی بین دوروش وجود دارد .اما برای درصد ریز دانه های ۲۵،۲۰،۱۵

درصد معیار لافلر غیرمحافظه کارانه است.



شکل (۵) –مقایسه نتایج آزمایشات این تحقیق با معیار لافلر

نـتایج آزمایشـات شـرارد بـرروی خاکهـای بـا دانه بندی گسترده نشان داد که $D_{15}\langle 0.7(mm)$ برای این خاکها مناسب می باشد شـرارداین معـیار را معـیاری محافظه کارانه معرفی میکند .در شکل (۶) مقایسه ای براساس معیار فوق و نتایج بدست آمده ،آورده شده اسـت. مقایسـه نشـان مـی دهد برای درصد ریز دانه های ۱۵، ۲۰ درصد فیلتر فوق محافظه کارانه نیست اما برای اغلب آزمایشات معیار فوق محافظه کارانه است.



شکل (۶) – مقایسه نتایج آزمایشات این تحقیق با نتایج شرارد

مراجع

[1].Bertram,G.E.,(1940).“Experimental Invenstigation of Protective” , Soil Mechanics Series No.7,Graduate School of Engineering, Harvard University ,Cambridge,Mass.

[2].ICOLD (1995). “Embankment Dams Granular Filter and Drains” .

[3].Indraratna,B.(1999).“Design methods for granular filters critical review “,proc. Instn civ.eng.Geotech., 137

[4].Kenny,T.C .,chahal,R.,chiv,E., ofoegbu,G.I.,Omange, G.N.and ume,C.A.(1985). “controling constriction size of granular filters’’ ,can . Geotech.J.

[5].Lafleur,j. (1984). “Filter testing of broadly graded cohesionless tills”,can. Geotech.J.,21(4)

[6].Lafleur,J., Mlynarek,J.,and Rollin, A.L.(1989).”Filtration of broadly graded cohesionless soil”,J. Geotech.eng.,ASCE,115(12).

[7].Lund, A., (1949).“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.

[8].Sherard , J.L.,and Dunnigan ,L.P., and Talbot, J.R(1984a). “Basic properties of sand and gravel filters” , ASCE,110(6).

[9]. Sherard , J.L.,and Dunnigan ,L.P., and Talbot, J.R(1984b).”Filters for silts and clays “, J. Geotech. Eng. ASCE,110(6)

[10]. Sherard , J.L.,and Dunnigan ,L.P.(1989). “Critical filters for impervioust soil “, J.Geotech. eng. , ASCE, 115(7).

[11]. U.S.A.C.E. (1978). “Design & construction of levees “ , Eng. Manual EM 1110-2-1913

[۱۲] .حسینی ، سید عباس ، (۱۳۷۹).″ تعیین معیار طراحی فیلتر سد های خاکی و سنگریز برای هسته های مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی مخلوط ″ ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف ، تهران

[۱۳].حیدری خـواص ، محمـد ، (۱۳۷۶). ″ تعییـن معـیار طراحی فیلتر سد های خاکی و سنگریز برای هسته های مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی گسسته ″ ، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف ، تهران

محقق	مصالح مبنا	معیار طوح فیلتر	توضیح
Bertram (1940)	سیلت و ماسه کوارتزی ریز	$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \le 6 , \frac{D_{15F}}{d_{15B}} \le 9$	گرادیان هیدروکیلی بین ۶ تا ۱۰ می باشد
	$1.5 < Cu < 4$	$\frac{D_{15F}}{d_{15B}} < 20 , \frac{D_{15F}}{d_{85B}} < 5$ $\frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 25$	معیار گسیختگی بر اساس مشاهده و آنالیز اندازه ذرات می باشد.
	Cu >4	$\frac{D_{15F}}{d_{15B}} < 40 , \frac{D_{15F}}{d_{85B}} < 6$ $\frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 25$	
EarthWood, Eterson(1954)	SP	$\frac{D_{15F}}{d_{85F}} < 4.1 , \frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 5.3$	معیار گسیختگی براساس ماکزیمم افت در سطح مشترک فیلتر و خاک مبنا می باشد
Karpoff (1955)	Cu =3-4	$\frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 10$ (ما سه ریز) $\frac{D_{50F}}{d_{50B}} \le 5$ (ما سه درشت)	لازم است ۱۰۰ درصد مصالح فیلتر کوچک از ۷۵ میلیمتر و کمتر از۵ درصد کوچکتر از ۷۵ میکرون باشند و منحنی دانه بندی بخش ریز دانه فیلتر و خاک مبنا موازی باشند
	Cu > 4	$9 < \frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 30 , 6 < \frac{D_{15F}}{d_{15B}} < 18$ (سنگ شکسته)	
		$12 < \frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 58, 12 < \frac{D_{15F}}{d_{15B}} < 40$ (دانه بندی طبیعی)	
Bavidenkoff ,Zweck(1957)	خاک مبنا ماسه ای درشت تا متوسط	$5 < \frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 10$	جریان بسمت پایین و بالا و افقی می باشد و معیار گسیختگی براساس مشاهده می باشد
Voughan , Soares(1982)		$k_{filter} < 6.7 \times 10^{-6} \times \delta^{1.52}$	δ اندازه مشخصه خاک مبنا (معولاً d_{85B}) برحسب میکرون و k برحسب m/s می باشد
Sherard , Dunnigan(1989)	رس و سیلت ریزدانه با ۸۵ درصد عبوری از الک ۲۰۰	$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \le 9$	درصد عبوری از الک ۲۰۰ براساس ریزتر از ۴/۷۶ mm می باشد.
	ماسه رسی و سیلتی با ۴۰ تا ۸۵ درصد عبوری از الک ۲۰۰	$D_{15F} \le 0.7(mm)$	
	مصالح درشت دانه نفوذ ناپذیر کمتر از ۱۵درصد عبوری از الک ۲۰۰	$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \le 5(mm)$	فیلتر خاک های ریز (بیش از ۴۰ ددصد عبوری از الک ۲۰۰) بایر کمتر از ۶۰در صد درشت تر از ۴/۷۶ باشندوماکزیمم اندازه ذرات ۵۰ میلی متر می باشد.
	حدواسط گروه ۲ر۳ با ۱۵ تا ۴۰ درصد عبوری از الک ۲۰۰	با درون یابی برحسب درصد ریزدانه بین گروه ۲و۳	

Hanjo , Veneziano (1989)	دانه بندی گسترده به شرط $\frac{d_{95B}}{d_{75B}} \le 7$	$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \le 5.5 - 0.5$	براساس آنالیزهای آماری
Indraratna , et. al (1996)		$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \le 5.5 - 5 \; for \; 40 < d_{85} < 60 \mu m$	آزمایش گل آب بر روی خاک چسبنده
		$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \le 4 - 5 \; for \; 60 < d_{85} < 90 \mu m$	