



طراحی فیلتر سد مخزنی پلرود

نعیم ابراهیمی

قسمت برنامه‌ریزی و کنترل پروژه کارگاه سد مخزنی پلرود گیلان، موسسه ثارا... کرمان
Naeimebrahimi93@gmail.com

سحر ابراهیمی

دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه شفق تنکابن
Civil.ne95@gmail.com

سعید ابراهیمی فر

دفتر فنی کارگاه سد مخزنی پلرود گیلان، موسسه ثارا... کرمان
s.ebrahimi2010@yahoo.com

چکیده

فیلتر یکی از اجزای اصلی سد خاکی است که با عملکردی ساده اما موثر، سد را در برابر فرسایش و آبشستگی خاک که به صورت ناخواسته در هسته نفوذناپذیر رخ می‌دهد، محافظت نموده و ایمن می‌سازد. در سد پلرود با توجه به اینکه منبع قرضه تأمین فیلتر مورد نیاز بدنه سد، از مصالح رودخانه‌ای است که جنس مصالح این رودخانه‌ها از نوع آذرین با سختی بالا می‌باشد و با توجه به شیب زیاد رودخانه، مصالح درشت‌دانه بوده و فاقد مصالح ریزدانه درحد مصالح فیلتر مورد نیاز بدنه سد می‌باشند. با توجه به اینکه حداکثر سایز پوش فیلتر ابلاغی ۲۰ میلیمتر می‌باشد، جهت تولید فیلتر منطبق با پوش ابلاغی، تولید مصالح با حداکثر سایز ۱۲ میلیمتر انجام می‌گردد. این کاهش حداکثر سایز از ۲۰ به ۱۲ نیز باعث کاهش راندمان تولیدی می‌گردد و علیرغم این کاهش سایز تولید، فیلتر تولیدی در پوش ارائه شده در مشخصات فنی قرار نمی‌گیرد. برای دستیابی به فیلتر پیشنهادی مشخصات فنی، مصالح تولیدی بایستی با نسبت ۵۰ به ۵۰ با ماسه با دانه‌بندی ۵-۰ میکس شده تا دانه‌بندی آن اصلاح گردد که این اختلاط با ماسه نیز باعث افزایش هزینه‌های تولید و همچنین افزایش عبوری الک ۲۰۰ فیلتر خواهد شد. با توجه به مشکلات فوق بررسی مجدد پوش فیلتر بر اساس منابع قرضه ریزدانه، پوش جدید برای مصالح فیلتر به شرح ذیل پیشنهاد می‌گردد و همانطور که مشاهده می‌شود این پوش در محدوده مورد نظر قرار می‌گیرد.

واژگان کلیدی: سد پلرود، فیلتر، آبشستگی، دانه‌بندی

مقدمه

فیلتر یکی از اجزای اصلی سد خاکی است که با عملکردی ساده اما موثر، سد را در برابر فرسایش و آبستگي خاک که به صورت ناخواسته در هسته نفوذناپذیر رخ می‌دهد، محافظت نموده و ایمن می‌سازد. به همین خاطر انتخاب فیلتری بهینه و منطبق بر نیاز، جدای از نحوه تولید، اجرا و ملاحظات اقتصادی حساسیت ویژه‌ای می‌یابد. فیلتر دانه‌ای موفق، می‌تواند با عملکردی ساده از وقوع هرگونه آبستگي و افزایش فشار آب حفره‌ای جلوگیری کرده و در صورت ایجاد ترک در هسته باعث ترمیم و بسته‌شدن آن گردد. به همین علت بکارگیری و طراحی صحیح فیلتر، موضوع تحقیق تعداد زیادی از پژوهشگران تا به حال بوده است. (ICOLD, 1995).

اصولاً پتانسیل حرکت ذرات خاک و وقوع پدیده آبستگي در جایی وجود دارد که اولاً آب دارای انرژی پتانسیل کافی باشد و ثانیاً امکان مهاجرت ذرات از یک ناحیه به ناحیه دیگر وجود داشته باشد. بطور کلی چنانچه انرژی پتانسیل آب برای حرکت در آوردن ذرات خاکی باشد، آبستگي در تمام قسمت‌های بدنه سد و پی که در آن تغییر ناگهانی بافت خاک رخ می‌دهد و نیز کلیه سطوح خروج آب از محیط متخلخل وجود خواهد داشت (Shared, 1936).

یکی از اثرات منفی نشت آب در بدنه و پی سدهای خاکی، احتمال جابجایی ذرات خاک و ایجاد پدیده آبستگي است، که ممکن است در نهایت منجر به تخریب سد شود (رحیمی، ۱۳۸۲).

به صورت اصولی فیلترها بایستی دارای خصوصیات زیر باشند تا بتوانند عملکردی مناسب داشته باشند: خصوصیات نگهداری: دانه‌های فیلتر بایستی آنقدر ریزدانه باشند تا حفرات میان آن‌ها بتوانند از خروج ذرات هسته محافظت نمایند.

خصوصیات نفوذپذیری: دانه‌های فیلتر بایستی آنقدر درشت‌دانه باشند تا آب بتواند آزادانه خارج شده و تولید فشار آب حفره‌ای نکند.

خصوصیات غیرچسبندگی: فیلتر بایستی آنقدر چسبنده باشد که پتانسیل ایجاد ترک در فیلتر علاوه بر هسته به وجود آید. (Bertran, 1949).

برای اینکه یک سیستم عملکرد مطلوبی داشته باشد، علاوه بر معیارهای اساسی فوق، باید دارای شرایط زیر نیز باشد:

- ۱- منحنی دانه‌بندی فیلتر تقریباً موازی منحنی دانه‌بندی خاک حفاظت شده باشد.
 - ۲- مصالح فیلتر نباید حاوی بیشتر از ۵ درصد مصالح زیر الک شماره ۲۰۰ (ذرات کوچکتر از ۷۵ میکرون) باشد، همچنین قسمت ریزدانه فیلتر باید غیرچسبنده باشد. این شرط به منظور حفظ قابلیت نفوذ فیلتر و جلوگیری از ترک‌خوردگی آن در نظر گرفته شده است.
 - ۳- مصالح فیلتر به منظور جلوگیری از ایجاد پدیده جداشدگی نباید حاوی قطعات بزرگتر از ۳ اینچ (۷۵ میلیمتر) باشد (توصیه سازمان عمران آمریکا).
 - ۴- چنانچه خاک مورد حفاظت حاوی بیشتر از ۱۰ درصد شن (مصالح کوچکتر از ۷۵ میکرون) و بیشتر از ۱۰ درصد مصالح ریزدانه (مصالح کوچکتر از ۷۵ میکرون) باشد، طرح فیلتر باید بر اساس دانه‌بندی آن بخش از خاک که کوچکتر از ۴,۷۵ میلیمتر است، صورت گیرد (Cedergan, 1962).
- موارد فوق به صورت همزمان موفقیت فیلتر را تضمین می‌کنند.

مروری بر مطالعات انجام شده قبلی در زمینه طرح فیلتر

بررسی‌ها نشان داده‌است عمده خرابی سدهای خاکی در اثر نشت آب، آبستگي مصالح و پدیده Piping می‌باشد. سد Teton در آمریکا، سد Balderhead در شمال انگلیس، سد Nanak Sagar در هند و سد Tarbela در پاکستان از جمله سدهایی می‌باشد که بدلیل عدم توانایی فیلتر در جلوگیری از شست‌وشوی مصالح دچار خرابی شده‌اند.

از قدیمی ترین روابط فیلتر می توان به رابطه ترزاقی اشاره کرد: (ICOLD, 1995).

$$\frac{D_{15F}}{d_{15B}} \leq 4 - 5$$

۱- شرط نفوذپذیری

$$\frac{D_{15F}}{d_{85B}} \leq 4 - 5$$

۲- شرط آبستگي

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 $9 - 10 \leq \frac{D_{15F}}{d_{85B}}$ نشان می داد (Bertran, 1940).

لاند در سال ۱۹۴۹ مطالعات آزمایشگاهی خود را به منظور بررسی عملکرد فیلترهای شنی و ماسه‌ای برای خاک‌های مینای ماسه‌ای یکنواخت انجام داد. مرز پایداری آزمایش‌های کاملاً موفق در پائین و یا روی خط مرزی $9 = \frac{D_{15F}}{d_{85B}}$ و آزمایش‌های ناموفق در بالای خط فوق قرار گرفتند (Lund, 1949).

بر طبق تحقیقات تجربی برترام (۱۹۴۰) دو محدوده زیر انتخاب و توصیه شده است:

$$D_{15}(\text{filter})/D_{85}(\text{soil}) \leq 4 - 5 \quad (1)$$

: piping

$$D_{15}(\text{filter})/D_{15}(\text{soil}) \geq 4 - 5 \quad (2)$$

: permeability

و نیز اداره مهندسی ارتش آمریکا چنین توصیه می کند:

: piping

$$D_{15}(\text{filter})/D_{85}(\text{soil}) < 5 - 6 \quad (3)$$

$$D_{15}(\text{filter})/D_{15}(\text{soil}) < 20 - 40 \quad (4)$$

$$D_{50}(\text{filter})/D_{50}(\text{soil}) < 25 \quad (5)$$

$$D_{15}(\text{filter})/D_{15}(\text{soil}) > 4 \quad (6)$$

توضیح: منظور از D_i قطری از مصالح دانه‌ایست که $i\%$ مصالح از آن ریزتر است.

و نیز اداره مهندسی ارتش آمریکا در تشریح محدوده‌های پیشنهادی می‌افزاید:

مصالح فیلتر نباید از قطر 76mm بزرگتر باشد (این دستورالعمل به منظور جلوگیری از جداسازی دانه‌ها در فیلتر است).

به منظور جلوگیری از فرسایش داخلی ذرات ریز فیلتر و تامین نفوذپذیری کافی، نباید میزان ریزدانه‌های ریزتر از الک شماره ۲۰۰ در مصالح فیلتر بزرگتر از ۵% باشد (Indraratna, 1949).

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 می‌باشد.

$$\frac{D_{15F}}{d_{15B}} \geq 5 \text{ شرط نفوذ پذیری}$$

$$\frac{D_{50F}}{d_{50B}} \leq 25 \text{ شرط پایداری}$$

مؤسسه USBR در فاصله سال‌های ۱۹۴۷ تا ۱۹۵۵ تحقیقاتی بر روی طراحی فیلتر سدهای خاکی انجام داد.

مقادیر پیشنهادی USBR در جدول زیر نشان داده شده است (ICOLD, 1995).

معیار		فیلتر
$12 < \frac{D_{15F}}{d_{15B}} < 40$	$5 < \frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 10$	فیلترهای یکنواخت
$12 < \frac{D_{15F}}{d_{15B}} < 40$	$12 < \frac{D_{50F}}{d_{50B}} < 50$	فیلترهای خوب دانه‌بندی شده

کنی در سال ۱۹۸۵ با معرفی پارامتر D_c^* (قطر بزرگترین ذره‌ای از خاک مینا که می‌تواند از میان فیلتر با ضخامت مشخص عبور کند) به بررسی رفتار فیلترها پرداخت. تحقیقات نشان داد D_c^* می‌تواند با توجه به دانه‌بندی بخش ریزدانه فیلتر (D_{15} یا D_5) تعیین شود، کنی برای خاک‌های غیرچسبنده روابط زیر را پیشنهاد می‌کند (Kenny, 1985).

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

مطالعات نظری نشان می‌دهد که رفتار خاک مینا را با بعد مشخصه‌ای مانند (d_{XB} یا d_I) و رفتار فیلتر را با بعد مشخصه‌ای مانند (D_{YF} یا O_{F}) می‌توان بیان کرد. در بسیاری از معیارهای طرح فیلتر فرض بر این است که رابطه $O_F < d_I$ برقرار باشد. براین اساس لافلر در سال ۱۹۸۹ رابطه کلی زیر را پیشنهاد کرد.

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

که d_{SF} بستگی به مشخصات و ویژگی‌های خاک مینا دارد (Lafleur, 1984, 1989).

تراکم نسبی مصالح فیلتر حداقل باید ۸۵٪ باشد و هیچ قسمتی یا بخشی از این مواد کمتر از ۸۰٪ تراکم نسبی نداشته باشد؛ و نیز باید دانه‌بندی مصالح فیلتر آن‌گونه باشد که مصالح دچار بهم‌خوردن دانه‌بندی و جدایی دانه‌ها نشوند که در اینصورت خصوصیات مهندسی مصالح و از جمله نفوذپذیری مصالح تغییر قابل توجهی خواهد نمود و برای جلوگیری از بروز ترک‌های کششی در مصالح بایستی درصد مجاز ریزتر از اندازه #NO. 200 بوسیله آزمایش‌های مختلف تعیین گردد (کلهری، ۱۳۷۹).

با توجه به شیب زیاد رودخانه، مصالح درشت‌دانه بوده و درصد مصالح ریزدانه درحد مصالح فیلتر مورد نیاز بدنه سد در منبع قرضه بسیار کم می‌باشند. همچنین علیرغم اینکه حداکثر سایز پوش فیلتر ابلاغی ۲۰ میلی‌متر می‌باشد، جهت تولید فیلتر منطبق با پوش ابلاغی، تولید مصالح با حداکثر سایز ۱۲ میلی‌متر انجام می‌گردد. این کاهش حداکثر سایز از ۲۰ به ۱۲ نیز باعث کاهش راندمان تولیدی می‌گردد و علیرغم این کاهش سایز تولید، فیلتر تولیدی در پوش ارائه شده در مشخصات فنی قرار نمی‌گیرد. برای دستیابی به فیلتر پیشنهادی مشخصات فنی، مصالح تولیدی بایستی با نسبت ۵۰ به ۵۰ با ماسه با دانه‌بندی ۵-۰ میکس شده

تا دانه بندی آن اصلاح گردد که این اختلاط با ماسه نیز باعث افزایش هزینه های تولید و همچنین افزایش عبوری الک ۲۰۰ فیلتر خواهد شد. بنابراین با توجه به مشکلات فوق بررسی مجدد پوش فیلتر بر اساس منابع قرضه ریزدانه، پوش جدید برای مصالح فیلتر به شرح ذیل پیشنهاد می گردد.

روش تحقیق

در سدهای خاکی نیز وضع به همین صورت است؛ اگر بین لایه زهکش (سنگ ریزه ای) و خاک اصلی در پنجه سد، لایه فیلتر موجود نباشد، ذرات رسی از قسمت اصلی به سمت سنگریزه ها شسته شده و مسیر آن را مسدود می کنند و نتیجه آنکه سیستم زهکش سد از کار می افتد و نیز تدریجاً مصالح سازنده بدنه به بیرون شسته شده و باعث خرابی و ضربات جبران ناپذیر می گردد. بنا براین باید برای اطمینان از وجود ایمنی سازه، یک لایه فیلتر بین مصالح ریزدانه و درشت دانه قرار داده شود که البته می تواند بیش از یک لایه باشد و هر لایه نقش فیلتر را برای لایه زیرین برعهده داشته باشد (کلهری، ۱۳۷۹).

بر اساس مطالعات به عمل آمده، روش های جلوگیری از جابجایی ذرات و وقوع پدیده آبشستگی مشتمل بر کاهش انرژی آب و استفاده از فیلترها برای جلوگیری از مهاجرت ذرات است.

بررسی و مطالعه نوع فیلتر

موقعیت و احجام سد

ساختگاه سد مخزنی پلرود بر روی رودخانه پلرود در استان گیلان و در ۱۸ کیلومتری جنوب غربی شهر ساحلی کلاچای واقع شده است. ساختگاه سد مورد مطالعه، در مسیر رودخانه پلرود با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۶ دقیقه و ۵۹ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی آن نیز ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه و ۳ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۱۰ متر از سطح دریا واقع شده است. هدف از اجرای این طرح، آبرسانی به اراضی شالی و باغات چای در مجموع ۳۳۵۲۵ هکتار، تأمین آب شرب شهرستان های شرق و در نهایت راه اندازی دو نیروگاه ۸ مگاواتی و تولید انرژی سالیانه ۱/۷۰ گیگاوات ساعت از محل این سد می باشد.

سد مخزنی پلرود از نوع خاکی با هسته رسی می باشد که حجم مصالح مورد نیاز به شرح زیر می باشد.

الف- مصالح پوسته سد ۶،۹۳۳،۰۰۰ مترمکعب

ب- مصالح ناتراوا برای هسته سد ۱،۱۷۵،۰۰۰ مترمکعب

ج- مصالح فیلتر ۳۸۰،۰۰۰ مترمکعب

د- مصالح زهکش ۲۷۰،۰۰۰ مترمکعب

ه- مصالح بستر سنگ چین و سنگ چین سد (RIPRAP) ۲۹۰،۰۰۰ مترمکعب

و- مصالح لایه محافظ پایین دست ۴۰،۰۰۰ مترمکعب

ز- مصالح فرازبند و نشیببند ۶۱۰،۰۰۰ مترمکعب

در سد پلرود با توجه به اینکه منبع قرضه تأمین فیلتر مورد نیاز بدنه سد، از مصالح رودخانه ای است که جنس مصالح این رودخانه ها از نوع آذرین با سختی بالا می باشد و با توجه به شیب زیاد رودخانه، مصالح درشت دانه بوده و فاقد مصالح ریزدانه در حد مصالح فیلتر مورد نیاز بدنه سد می باشند، بنابراین برای تولید مصالح مطابق پوش طراحی شده نیاز به تولید مصالح بصورت شکسته بود که با توجه به سختی بالای مصالح باعث استهلاک زیاد و هزینه بر شدن سیستم های تولید مصالح و راندمان بسیار پایین تولید و افزایش زمان تولید می گردید، که این موضوع باعث ایجاد بحران در مسیر اجرای پروژه می گردید، با توجه به مشکلات فوق بررسی مجدد پوش فیلتر بر اساس منابع قرضه ریزدانه، پوش جدید برای مصالح فیلتر به شرح ذیل پیشنهاد می گردد و همانطور که مشاهده می شود این پوش در محدوده مورد نظر قرار می گیرد. (شرکت مشاور مهاب قدس، ۱۳۹۱).

لذا برای آنکه 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 دانه‌بندی مختلف انتخاب شدند. با مطالعه و بررسی فیلترهای سدهای خاکی و سنگریزه‌ای موجود در ایران و جهان مشاهده شد که ضریب یکنواختی اکثر فیلترها در محدوده 3 تا ۱۲ قرار گرفته‌است. بهمین لحاظ فیلترهای بسیار یکنواخت با $Cu=3$ ، فیلترهای در مرز خوب دانه‌بندی شده و یکنواخت با $Cu=6$ و فیلترهای خوب دانه‌بندی شده با $Cu=11$ انتخاب شده و مورد آزمایش قرار گرفتند (حسینی، ۱۳۷۶).

فیلترها طوری طراحی می‌شوند که جلوی از دست رفتن مصالح در اثر فرسایش را بگیرند. بنابراین منافذ مصالح فیلتر باید به اندازه‌ای ریز باشند که از حرکت ذرات خاک محافظت شده جلوگیری نماید (Cedergren, 1989).

شرارد در سال ۱۹۸۹ با انجام یک سری آزمایشات، آزمایش فیلتر بدون فرسایش (NEF) را پیشنهاد نمود. با انجام این آزمایش مشخصات فیلتری که از هر گونه فرسایش جلوگیری می‌نماید مشخص می‌شود.

در تحقیقی که در سال ۱۹۸۴ توسط شرارد انجام شد بطور قطعی نشان داده شد که اندازه D_{15} فیلتر (قطری از دانه‌ها که ۱۵ درصد دانه‌ها از آن ریزتر می‌باشند)، معیار کمی خوبی از اندازه منافذ که از جابجایی ذرات خاک جلوگیری می‌کند، می‌باشد. یک نتیجه اصلی این تحقیق اینست که یک فیلتر منحصر به فرد با اندازه D_{15b} ((فیلتر با D_{15} بهینه)) برای هر خاک مینا وجود داشته و می‌تواند بطور قابل اطمینانی با دقت حدود ۰/۱ میلیمتر از این آزمون بدست آید و D_{15b} برای هر خاک غیرقابل نفوذ مانند حدود اتربرگ و پارامترهای تنش موثر خاک مقداری ثابت است (ICOLD, 1995).

یافته‌ها

مراحل طراحی پوش دانه‌بندی فیلتر (ICOLD, 1995).

(a) تعیین منحنی دانه‌بندی (توزیع دانه‌بندی) بر پایه مصالح خاک

(استفاده از نمونه‌های کافی جهت تعریف بازه دانه‌بندی خاک بیس مهم می‌باشد)

در اینجا نمونه انتخاب شده به صورت میانگینی از پوش دانه‌بندی هسته مخلوط در نظر گرفته شده است.

(b) در صورتی که خاک بیس شن نداشته باشد به مرحله d می‌رویم.

(c) در صورتیکه خاک بیس شن داشته باشد :

۱- یک ضریب تصحیح از تقسیم ۱۰۰ بر درصد عبوری از الک شماره ۴ (۴/۷۵ میلیمتر) به دست می‌آوریم.

برای پوش حداقل دانه‌بندی (حداکثر عبوری) :

A: درصد عبوری از الک شماره ۴ = ۸۰٪

$$\text{ضریب تصحیح} = \frac{100}{A} = 1.25$$

۲- ضریب تصحیح محاسباتی بند قبل را درصدهای عبوری هر سایز الک مصالح بیس کوچکتر از الک شماره ۴ ضرب می‌کنیم.

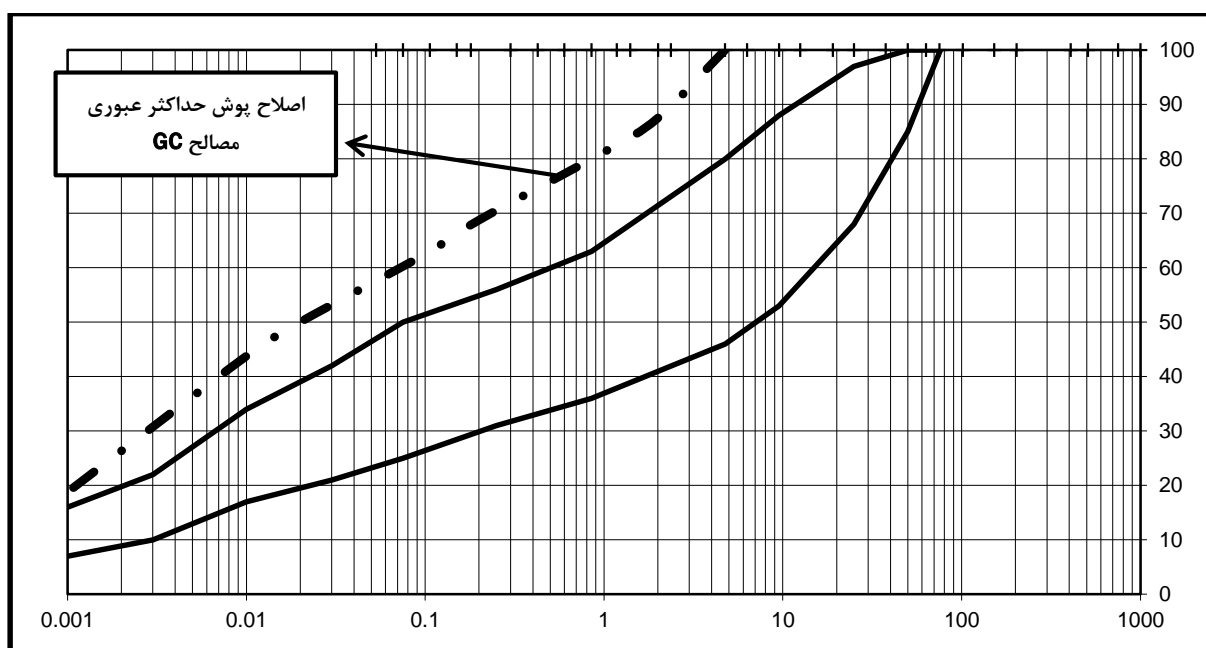
۳- با ترسیم درصدهای به‌دست آمده، منحنی دانه‌بندی جدیدی به دست می‌آوریم.

از آنجایی که خاک مورد نظر دارای درصدی شن می‌باشد مطابق با مراحل مذکور، اطلاعات مربوطه در جدول ۱ آورده شده است.

جدول شماره ۱- اصلاح پوش حداقل GC

اندازه دانه (mm)	پوش حداکثر عبوری GC	پوش حداقل عبوری GC	اصلاح پوش حداقل GC	اصلاح پوش حداقل GC
4.75	80.0	46.0	100.0	100.0
2	70.0	40.0	87.5	87.0
1	65.0	37.0	81.3	80.4
0.2	55.0	30.0	68.8	65.2
0.075	50.0	25.0	62.5	54.3
0.02	40.0	19.0	50.0	41.3
0.01	35.0	17.0	43.8	37.0
0.001	15.0	7.0	18.8	15.2

۴- نمودار جدول فوق که پس از حذف بخش درشت دانه هسته مخلوط بدست آمده، گویای پوش دانه بندی حداقل و حداکثر هسته مخلوط می باشد. با استفاده از منحنی به دست آمده درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ را تعیین می کنیم و در مرحله d مورد استفاده قرار می دهیم.



شکل ۱- اصلاح پوش حداکثر عبوری مصالح GC

مصالح بیس را در گروهی که براساس درصد عبوری الک ۲۰۰ مطابق جدول شماره ۲ می باشد قرار می دهیم.

جدول شماره ۲- درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰

شماره گروه	درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ (0.075mm)
۱	بیشتر از ۸۵ درصد
۲	بین ۸۵ تا ۴۰ درصد
۳	بین ۳۹ تا ۱۵ درصد
۴	کمتر از ۱۵ درصد

با توجه به جدول شماره یک حداقل درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰ = ۶۲٪

در نتیجه بر مبنای جدول شماره ۲ مصالح مورد نظر در گروه ۲ قرار می گیرند.

(e) براساس جدول شماره ۳ ماکزیمم سایز ۱۵ □ را برای فیلتر تعیین می کنیم. (توجه کنید که ماکزیمم ۱۵ □ نیاز نیست کوچکتر از ۰/۲ میلیمتر باشد).

جدول شماره ۳- معیار طراحی فیلتر بر اساس D15

شماره گروه	نوع خاک بیس و درصد عبوری الک ۲۰۰	معیار طراحی فیلتر بر اساس D15	نکته
۱	رس ها و سیلت های ریزدانه با بیشتر از ۸۵ درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰	$D15 \leq 9 * d85$	۱
۲	ماسه های رسی و سیلتی و رس ها و سیلت های ماسه ای با ۴۰ تا ۸۵ درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰	$D15 \leq 0.7mm$	۲
۳	ماسه های رسی و سیلتی و ماسه های شن دار با ۱۵ تا ۳۹ درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰	$D15 \leq \frac{40-A}{15} * ((4*d85) - 0.7mm) + 0.7mm$	۳ و ۲
۴	ماسه و گراول با کمتر از ۱۵ درصد عبوری از الک شماره ۲۰۰	$D15 \leq 4to5*d85$	۴

بر اساس جدول شماره ۲، ماکزیمم سایز D_{15} برابر است با:

$$D_{15(max)} \leq 0.7 \text{ mm}$$

(f) به منظور اطمینان از کافی بودن نفوذپذیری، قرار می‌دهیم مینیمم $15 \square$ را بزرگتر یا مساوی ۳ تا ۵ برابر ماکزیمم d_{15} مصالح بیس قبل از گروه‌بندی، اما نباید کمتر از 0.1 میلیمتر باشد.

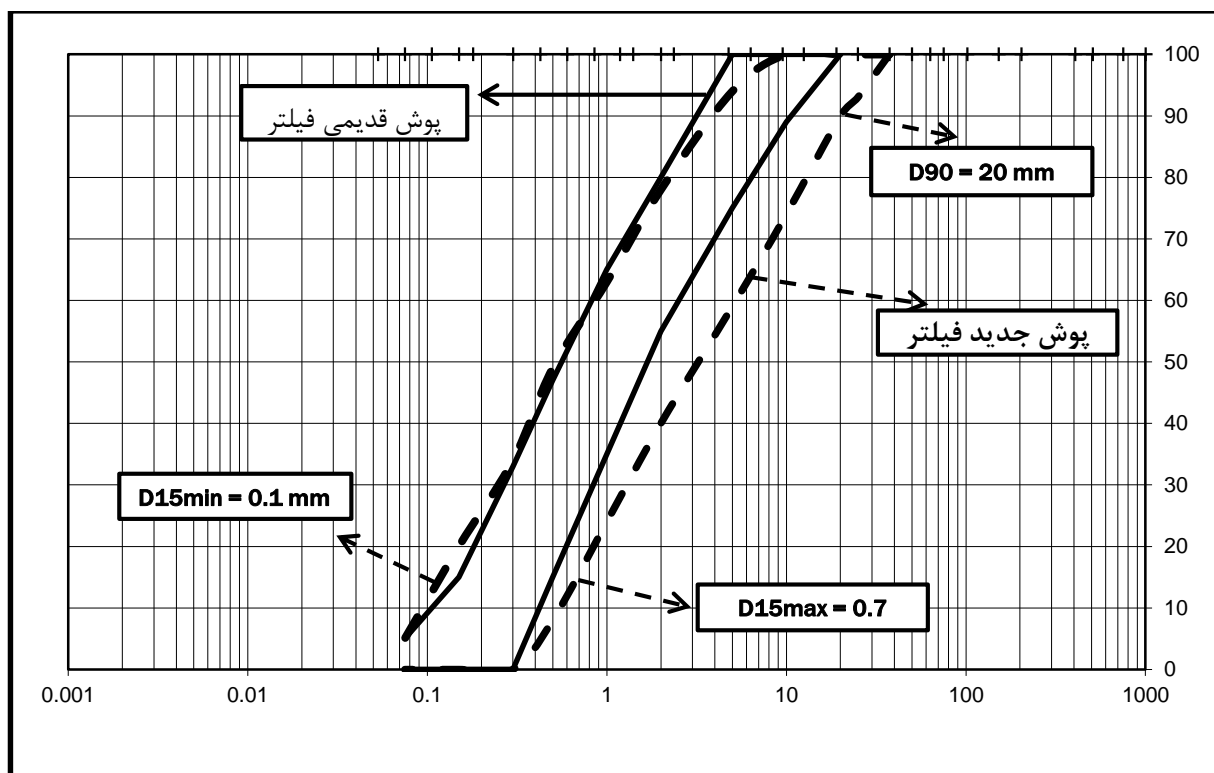
$$X : d_{15} \text{ مصالح بیس قبل از گروه بندی} = 0.002 \text{ میلیمتر}$$

$$D_{15(min)} = X * 5 = 0.002 * 5 = 0.01 > 0.1$$

از آنجایی که مقدار مینیمم D_{15} کمتر از 0.1 میلیمتر بدست آمده است، طبق بند f مقدار آن را 0.1 میلیمتر در نظر می‌گیریم. در نتیجه داریم:

$$0.1 \text{ mm} \leq D_{15} \leq 0.7 \text{ mm}$$

(g) قرار می‌دهیم ماکزیمم سایز را ۳ (۷۵ میلیمتر) و ماکزیمم عبوری الک 200 ، 5% . این بخش از مصالح فیلتر (عبوری الک شماره ۴۰) باید زمانی که طبق استاندارد $EM1110 - 2 - 1906$ آزمایش می‌شوند فاقد خاصیت خمیری باشد ($PI=0$).
(h) طراحی پوش فیلتر با مقادیر ماکزیمم و مینیمم تعیین شده در مراحل f و e و g انتخاب می‌شود. مقادیر تعیین شده را ترسیم و نقاط ماکزیمم و مینیمم را با یک خط راست (مستقیم) متصل می‌کنیم.



شکل ۲- جدید و قدیمی فیلتر

به منظور حداقل کردن پراکندگی و آثار وابسته به آن، دانه بندی فیلترها بایستی دارای منحنی دانه بندی یکنواختی باشد. ممکن است نیاز داشته باشیم به قراردادن محدودیت‌هایی که عرض فیلتر را بین مقادیر ماکزیمم و مینیمم که تعیین شده‌اند را کاهش دهند. فیلترهای ماسه‌ای با $D90$ کمتر از حدود $20mm$ عموماً به محدودیت‌هایی بر روی عرض فیلتر برای پیشگیری از پخش شدن و پراکندگی نیاز ندارند. برای فیلترهای درشت‌تر در نواحی شنی که شامل فیلتر و زهکش می‌باشد نسبت $D90/D10$ بایستی با کاهش سایز به سرعت افزایش یابد. محدودیت‌های جدول شماره ۴ برای جلوگیری از پراکندگی در طول اجرای این فیلترهای درشت تر پیشنهاد می‌شوند.

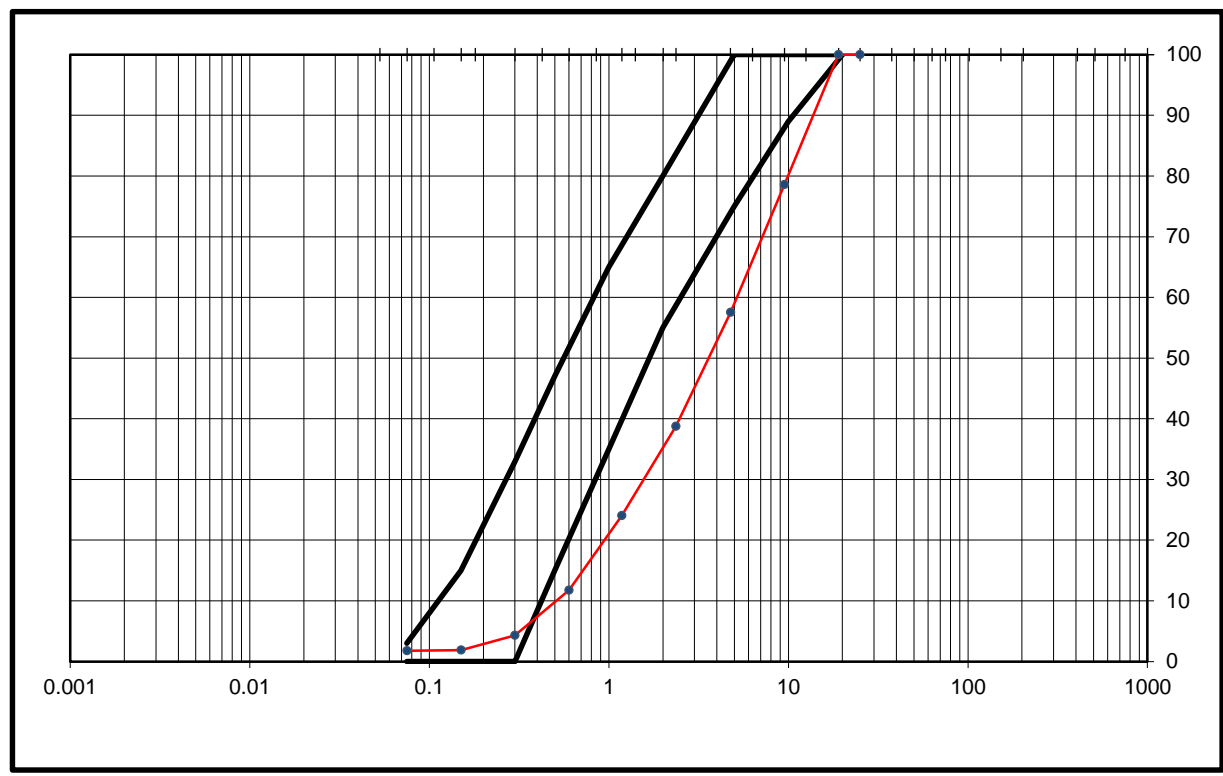
جدول شماره ۴- تعیین $D90$ با توجه به $D10$

اگر $D10$ minimum (mm)	قرار می دهیم $D90$ maximum (mm)
< ۰/۵	۲۰
۰/۵ - ۱	۲۵
۱ - ۲	۳۰
۲ - ۵	۴۰
۵ - ۱۰	۵۰
۱۰ - ۵۰	۶۰

برای فیلتر مورد نظر طبق جدول شماره ۴، $D90$ ماکزیمم برابر ۲۰ میلیمتر می‌باشد.

جدول شماره ۵- درصد عبوری دانه‌ها

درصد عبوری	اندازه دانه‌ها (میلیمتر)
۱۰۰	۳۷/۵
۹۳ - ۱۰۰	۲۵
۹۰ - ۱۰۰	۱۹
۷۴ - ۱۰۰	۹/۵
۵۹ - ۹۴	۴/۷۶
۴۲ - ۷۸	۲/۳۶
۲۴ - ۶۳	۱/۱۸
۸ - ۴۹	۰/۶
۰ - ۳۴	۰/۳
۰ - ۲۰	۰/۱۵
۰ - ۵	۰/۰۷۵



شکل ۳- منحنی های دانه بندی مصالح تولیدی



منحنی شماره ۴ - فیلتر تولیدی با پوش دانه بندی تغییر یافته

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با توجه به شیب زیاد رودخانه، مصالح درشت‌دانه بوده و فاقد مصالح ریزدانه در حد مصالح فیلتر مورد نیاز بدنه سدمی باشد، لذا طراحی مجدد برای دانه‌بندی فیلتر در نظر گرفته می‌شود. پوش دانه‌بندی اصلاح شده مصالح فیلتر در جدول ۵ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود این پوش با توجه منابع قرضه موجود در محدوده مورد نظر قرار می‌گیرد.

کاربرد: معیار طراحی فیلتر ارائه شده قابل کاربرد برای همه خاک‌ها (چسبنده و غیر چسبنده) شامل خاک‌های واگرا می‌باشد (شرارد). اگرچه تست‌های آزمایشگاهی بر روی فیلتر توصیه می‌شود برای خاک‌های واگرا، سیلت خیلی ریز و خاک‌های چسبنده خیلی ریز با PL بالا (حد روانی بالا). از اینرو با توجه به طراحی جدید فیلتر، می‌توان در دانه‌بندی زهکش سد نیز بازنگری کرد.

منابع

- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۹۱، طرح افزایش ارتفاع سد مخزنی پلرود و احداث نیروگاه حسینی، سیدعباس، ۱۳۷۶، تعیین معیار طراحی فیلتر سدهای خاکی و سنگریز برای هسته‌های مرکزی متشکل از مصالح با دانه بندی مخلوط، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران
- رحیمی، حسن، ۱۳۸۲، کتاب سدهای خاکی، تهران، دانشگاه تهران
- کلهری، کاظم، کاربری ژئوتکستایل بعنوان فیلتر در سدهای خاکی، چهارمین کنفرانس سد سازی ۱۳۷۹
- ICOLD (1995). "Embankment Dams Granular Filter and Drains"
- Bertran, G. E. (1949). An Experimental Investigation of Protective Filters. Soil Mech. Graduate School of Eng. Harvard University. Series No. 7
- Cedergan, H.R. (1962). Seepage Requirements of Filters and Pervious Bases. Trans. ASCE. Vol. 127
- Cedergren, H.R. (1989) Seepage Drainage and Flow Nets. John Wiley & Sons. New York.
- Shared, J.L.et al(1936). Earth and Earth-Rock Dams. John Wiley& Sons Inc. New Yourk
- Bertram, G.E. (1940). Experimental Invenstigation of Protective. Soil Mechanics Series No.7.Graduate School of Engineering. Harvard University. Cambridge Mass
- 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.
- Indraratna, B. (1999).Design methods for granular filters critical review. proc. Instn civ.eng.Geotech. 137
- Kenny,T.C. chahal. R. chiv,E. ofoegbu.G.I. Omenge. G.N.and ume,C.A.(1985). controlling constriction size of granular filters. can . Geotech. J.
- Lafleur,j. (1984). Filter testing of broadly graded cohesionless tills. can. Geotech.J. 21(4)
- Lafleur, J. Mlynarek,J.and Rollin. A.L.(1989). Filtration of broadly graded cohesionless soil J. Geotech.eng. ASCE. 115(12).