



فیوز پلاگ سرریز اضطراری یا خاکریز شستشو شونده (مطالعه موردی فیوز پلاگ سد انحرافی خلف آباد)

نوشته:

علی نیکواقبال^۱

چکیده

هر سازه که ضمن تامین اهداف طرح ایمن بوده و صرفه اقتصادی نسبت به سایر گزینه ها داشته باشد طرح ایده آلی خواهد بود. فیوز پلاگ یا خاکریز شستشو شونده قسمتی از یک سیستم انحراف آب و جزیی از یک شبکه آبیاری و زهکشی است که ایمنی لازم را جهت مقابله با سیلابهای استثنایی مخرب تأمین میکند و با توجه نوع مصالح مورد نیاز ارجحیت اقتصادی زیادی نسبت به عبور تمامی سیلاب از روی یک سرریز بتنی با طول زیاد خواهد داشت. در این مقاله ضمن تعریف فیوز پلاگ و تشریح چگونگی عملکرد آن به مطالعه موردی یکی از بزرگترین فیوز پلاگ های اجرا شده در کشور که در سد انحرافی خلف آباد احداث شده است می پردازیم.

فیوز پلاگ سرریز اضطراری یا خاکریز شستشو شونده :

نوعی سرریز اضافی برای سدها است که برای تخلیه سیلابهای استثنایی با دبی مازاد بر ظرفیت سرریز معمولی احداث می شود فیوز پلاگ وقتی مطرح می گردد که اختلاف زیاد بین دبی رودخانه و سیلابهای استثنایی وجود داشته باشد و یا بستر رودخانه توانایی تخلیه این نوع سیلابها را ندارد و طراح برای هدایت سیلاب به منطقه ای خاص آنرا پیش بینی می کند. این نوع سرریز اصولاً به صورت یک نوع بند خاکی ساخته که در شرایط معمولی کاملاً مقاوم است و در جهت کاهش هزینه برای ساخت سرریز طویل از این نوع سازه تخریبی برای تخلیه سیلاب استفاده می شود در حالیکه احداث سرریز بتنی بر روی هزینه های طرح را بسیار افزایش خواهد داد در حالیکه تواتر وقوع سیلاب در طول عمر پروژه کم است. این نوع سرریز هنگام عبور جریان از تاج آن تخریب می گردد عمق جریان بر روی فیوز با تخریب آن افزایش می یابد لذا بعد از تخریب آن با عرض کمتر نسبت به سرریز اوجی دبی افزونتری را تخلیه خواهد نمود. در نتیجه می تواند نقش بسزایی در پایداری سازه های هیدرولیکی و همچنین ممانعت از سیلابگیری مناطق مسکونی و اراضی زراعی حاشیه رودخانه داشته

^۱ کارشناس شرکت مهندسی مهتاب قدس

باشد، نوع خاک و شرایط آن باید چنان باشد که به محض سرریز آب از آن به سهولت تخریب شده و این تخریب در زمان کم پیشروی عرضی کند به همین علت بخشی از آن سست تر ساخته می‌شود (در انتخاب دانه بندی این قسمت ، از مصالح با دانه بندی کاملاً یکنواخت استفاده می‌شود) که آب بتواند آن بخش را سریعاً تخریب کند به این قسمت از فیوز پلاگ کانال هادی (*pilot channel*) گفته می‌شود . معمولاً تراز نهایی کانال هادی را از تراز سایر قسمت‌های فیوز پلاگ پائین تر در نظر می‌گیرند . منحنی دبی - اشل رودخانه تعیین کننده تراز حداقل کانال هادی خواهد بود بطوری که دبی سیلاب مورد نظر برای عملکرد فیوز پلاگ با پهنه گسترش مشخص دارای تراز حداقل کانال هادی می‌باشد .

معمولاً با توجه به توپوگرافی منطقه درپایاب فیوز پلاگ سازه خاصی احداث نمی‌شود و سیلاب مورد نظر به منطقه ای که حداقل خسارت ممکن را وارد کند تخلیه می‌گردد و در صورت احداث کانال انتقال آب در پایاب فیوز پلاگ تخریب تدریجی این سازه ظرفیت محدود کانال انتقال آب را جوابگو خواهد بود گاهی اوقات ملاحظات طراحی ایجاب می‌نماید بدنه این سازه در قسمت‌های مختلف در تراز متفاوت اجرا گردد تا ضمن تخریب تدریجی ، ظرفیت محدود کانال سیلاب برآورده گردد . در این حالت قسمت‌های مختلف با دیواره های بتنی جدا میگردند و هر قسمت با عبور سیلاب معینی تخریب میگردد . در فیوز پلاگ غیر همگن معمولاً به منظور سهولت در تخریب خاکریزی این نوع سرریز ، مغزه نفوذ ناپذیر آن به صورت طره مایل ساخته میشود که پس از عبور سیلاب از روی تاج آن و شکستگی پوسته پائین دست مغزه و در اثر نیروی آب بطور مرحله ای فرو ریزد . وجود لایه فیلتر ماسه ای در هر دو طرف هسته رسی ضروری است زیرا که لایه ماسه‌ای پائین دست به تخریب جانبی و هم به تخریب مغزه کمک میکند و لایه ماسه ای بالا دست به عنوان فیلتر به هنگام تخلیه سریع مخزن از هسته رسی محافظت مینماید .

این نوع سازه باید مانند یک سد خاکی طراحی و اجرا شده و در تمام شرایط محکم بوده بجز در سیلابهای شدید بلند مدت پیش بینی شده که در آنجا باید تخریب گردد. لذا معیارهای طراحی بدنه فیوز پلاگ مانند سدهای خاکی است. این سازه معمولاً دارای مصالح مختلف نظیر قلوه سنگ، شن، ماسه و یک هسته رسی مایل میباشد. لذا پایداری، پایداری شیلوانیها، نفوذناپذیری و سایر مسائل مطروحه در سدهای خاکی برای فیوز پلاگ ها کنترل می‌گردد به منظور حفاظت دامنه خاکریز بالادست از سنگ - چینی، پوشش بتون غیر مسلح در ابعاد کوچک و یا بزرگ و ایجاد پوشش گیاهی استفاده می‌شود . در عین حال ضروری است کانال هادی همواره آمادگی فرسایش سریع را داشته باشد بطوری که ابعاد پوشش بتونی آن کوچکتر و یا فاقد پوشش گیاهی منظم باشد .

انواع فیوز پلاگ :

فیوز پلاگ ها به دو صورت با مصالح همگن و مصالح غیر همگن ساخته می‌شود که در هر نوع خاص نحوه و نرخ تخریب متفاوت خواهد بود . در برخی از طرحها ممکن است از فیوز پلاگ انفجاری استفاده شود بطوریکه در هنگام اجرای قسمتی از خاکریز مشخص در بدنه آن مواد منفجره کارگذاری می‌شود تا در هنگام سیلابهای استثنائی و به تشخیص بهره بردار با انفجار خاکریز مذکور ایمنی سایر قسمت‌های طرح تامین گردد با توجه به اینکه این نوع فیوز پلاگ در ایران کاربردی ندارد اشاره خاصی به آن نمی‌گردد .

نحوه تخریب و شسته شدن فیوز با مصالح همگن :

با سرریز شدن آب از سرریز کانال هادی خرابی آن سریعاً با لغزش سطوح عرضی فیوزپلاگ آغاز می شود تخریب ناشی از لغزیدن سطوح در پائین دست سازه تا کاهش قابل توجه شیب پائین دست آن در طول مدت شسته شدن ادامه پیدا میکند . مسطح شدن فیوزپلاگ همزمان با شسته شدن بدنه آن از طرف پائین دست در خلاف جهت جریان و پائین افتادن تراز تاج در این قسمت انجام می گیرد در این مرحله که تراز تاج دائماً کاهش می یابد با توجه به رفتار فیوزپلاگ مانند یک سرریز لبه پهن میزان آبگیری آن نیز افزایش می یابد . پس از وقوع این مرحله سرعت شسته شدن سریعاً کاهش می یابد . آخرین مرحله شسته شدن این خاکریزها که کندترین مراحل آن نیز است همزمان با مسطح شدن کامل آن می باشد . شسته شدن مصالح فیوزپلاگ در این مرحله حالتی همانند حمل بار بستر دارد و با جابجا شدن کل مصالح شسته شدن خاکریز کامل می گردد.

واضح است که روند شسته شدن ، از لغزش سطوح و انتقال ذرات بستر تشکیل شده است اما در خاکریزهای که از دانه های ریزتری ساخته شده است انتقال بار معلق نیز می تواند یکی از فرضیات مهم مورد استفاده باشد.

نحوه تخریب و شسته شدن فیوزپلاگ با مصالح غیر همگن :

فیوزپلاگ با مقطع غیر همگن شامل قسمتهایی با دانه بندی متفاوت است که با عبور جریان از روی کانال هادی تخریب آن سریعاً آغاز و تا کف مورد نظر طراح ادامه می یابد. عمل شکسته شدن فیوزپلاگ با فرسایش پنجه انتهای پایاب کانال هادی شروع و به هسته رسی می رسد پس از شسته شدن مصالح پائین دست هسته رسی ریزش جریان از روی هسته به صورت دراپ خواهد بود که در این صورت پس از فرسایش مصالح پائین دست و خالی بودن زیر هسته رسی و طره ای بودن آن و به علت عدم مقاومت در برابر فشار آب وارده به صورت قطعه قطعه جدا شده و عمل شکست تحقق می یابد . سپس تخریب جانبی خاکریز گسترش یافته و زمانی که پائین دست یک قسمت دیگر هسته خالی شود در معرض فشار آب قرار گرفته و می شکنند این مرحله به صورت منظم تکرار شده و موجب افزایش باز شدگی در مسیر جریان و شسته شدن کامل فیوزپلاگ می گردد مطالعات آزمایشگاهی نشان می دهد هر چه ارتفاع فیوزپلاگ بیشتر باشد سرعت تخریب جانبی آن نیز بیشتر می شود. شیب سطح تخریبی یا فرسایش یافته بستگی به مشخصات فیزیکی اعم از چسبندگی، زاویه اصطکاک داخلی و دانه بندی مصالح به کار رفته در فیوز پلاگ دارد . مصالح دانه بندی درشت یکنواخت دارای شیب فرسایش یافته کمی میباشد در حالی که برای با مصالح دانه بندی غیر یکنواخت با مقداری چسبندگی سطح فرسایش تقریباً قائم است هر چه دانه بندی مصالح گسترده تر باشد سرعت شسته شدن کاهش و عمل تخریب را آهسته تر میکند لذا توصیه اکید در دانه بندی مصالح کانال هادی گسسته بودن دانه بندی مصالح مزبور می باشد.

تراکم مصالح فیوز پلاگ :

به غیر از هسته رسی که چسبندگی عامل اصلی مقاومت آن خواهد بود سایر قسمتهای فیوز پلاگ از مصالح دانه ای تشکیل شده است و با توجه به تاثیر نوع دانه بندی و درصد تراکم مصالح

دانه ای در فرسایش و شروع تخریب و در نتیجه عملکرد صحیح فیوز پلاگ انتخاب دانه بندی مناسب و درصد تراکم صحیح حساسترین مرحله اجرای فیوز پلاک خواهد بود. تاثیر تراکم بدین شکل است که در مصالح متراکم تعداد دانه ها بر واحد حجم بیشتر است و بنابراین تنش برشی افزونتری برای شروع حرکت دانه ها نیاز است لذا انتخاب تراکم نادرست مشکلات عدیده ای را فراهم می سازد یعنی تراکم کمتر از استاندارد فرسایش را در دبی های کم، مثلاً در یک بارندگی شدید باعث می شود و تراکم بیش از تراکم استاندارد، مقاومت بیش از حد در سازه فیوز پلاگ ایجاد میکند که ممکن است به سایر قسمتهای طرح آسیب جدی وارد شود. در مصالح غیر یکنواخت ذرات ریز دانه فضای بین مصالح درشت دانه را پر میکند و وزن واحد حجم مصالح بیشتر خواهد شد و لذا میتوان گفت که تنش برشی مورد نیاز آغاز تخریب برای این مصالح بیشتر از مصالح با دانه بندی یکنواخت است با توجه به توضیحات ارائه شده و تاثیرات تعداد دانه ها بر واحد حجم در آغاز فرسایش می توان تداخل نسبی مصالح را عامل مهمی در کیفیت مصالح مورد استفاده در فیوز پلاگ دانست با توجه به رابطه تداخل نسبی و دانسیته نسبی میتوان در نهایت نتیجه گرفت که میزان تراکم موثر در سازه دانسیته نسبی (RD) با رابطه زیر میباشد.

$$(1) - RD = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} \times 100$$

$$(2) - RD = \frac{g d_{\max}}{g d} \times \frac{g d - g d_{\min}}{g d_{\max} - g d_{\min}}$$

e = تداخل مصالح دست نخورده در طبیعت
 e_{\max} = حداکثر تداخل (تداخل مصالح در حالت بدون تراکم)
 e_{\min} = حداقل تداخل (تداخل مصالح در حالت تراکم نهایی)
 γd = وزن مخصوص خشک مصالح دست نخورده در طبیعت
 γd_{\max} = وزن مخصوص خشک حداکثر (وزن مخصوص خشک مصالح در حالت تراکم نهایی)
 γd_{\min} = وزن مخصوص خشک حداقل (وزن مخصوص خشک مصالح در حالت بدون تراکم)

با توجه به نتایج و توصیه های ارائه شده در مراجع مختلف دانسیته نسبی 75 تا 80 درصد ارضاء کننده مشخصات فنی مورد نیاز مصالح دانه ای فیوز پلاگ خواهد بود .
 با توجه به این که اندازه گیری وزن مخصوص آسانتر از تداخل می باشد لذا بهتر است وزن مخصوص مصالح و با استفاده از استاندارد $ASTM$ بدست آورد . دانسیته نسبی و تراکم پارامترهای وابسته به یکدیگر هستند به این صورت که برای مصالح غیر فشرده دانسیته کم و برای مصالح فشرده شده دانسیته نسبی زیادتر می باشد . دامنه تغییرات RD از 0 برای خاکهای خیلی شل تا حداکثر 1 برای خاکهای خیلی متراکم میباشد . با توجه به تراکم نسبی ، خاکهای دانه ای مطابق جدول 1 توصیف می شوند . در جدول 2 نیز برای بعضی از خاکها در حالت طبیعی ، مقادیر نمونه برای نسبت تداخل ، میزان رطوبت در شرایط اشباع و وزن مخصوص خشک ارائه شده است .

جدول شماره 1- توصیف خاکهای دانه ای بر حسب دانسیته نسبی

دانشیته نسبی (درصد)	توصیف خاک دانه ای
0-15	خیلی شل
15-50	شل
50-70	متوسط
70-85	متراکم
85-100	خیلی متراکم

جدول 2- مقادیر نمونه برای نسبت تخلخل، میزان رطوبت در شرایط

اشباع و وزن مخصوص خشک

نوع	نسبت تخلخل	میزان رطوبت طبیعی		وزن مخصوص خشک خاک	
		e	در وضعیت اشباع %	(lb/ft ³)	(kn/m ³)
ماسه شل یکنواخت	0,8	30	92	14,5	
ماسه شل متراکم	0,45	16	115	18	
ماسه لایدار شل با دانه های تیز گوشه	0,65	25	102	16	
ماسه لایدار متراکم با دانه های تیز گوشه	0,4	15	121	19	
رس سفت	0,6	21	108	17	
رس نرم	0,9-1,4	30-50	73-93	11,5-14,5	
	0,9	25	86	13,5	

رای تعیین وزن مخصوص خشک حداکثر و حداقل ، از روش توصیه شده در ASTM- D4253 و D4254 استفاده می شود. برای ماسه این کار با استفاده از یک قالب به حجم 0/1 فوت مکعب (2830 سانتیمتر مکعب) انجام می شود. برای تعیین وزن مخصوص خشک حداقل ، ماسه به صورت شل با استفاده از یک قیف به قطر لوله 1/2 اینچ (12/7 میلیمتر) در داخل قالب ریخته می شود . ارتفاع متوسط ریزش ماسه در حدود 1 اینچ (25/4 میلیمتر) حفظ می شود . مقدار $\gamma_d (min)$ را می توان بصورت زیر بدست آورد :

$$\gamma_d (min) = \frac{W_s}{V_m} \quad (28-2)$$

که در آن :

W_s = وزن ماسه لازم برای پر کردن قالب

V_m = حجم قالب (0,1ft³)

وزن مخصوص خشک حداکثر ، با لرزاندن ماسه موجود در قالب به مدت 8 دقیقه بدست می آید. برای این کار، یک سربار با فشار 2lb/in.2 (13,8KN/m²) در بالای ماسه موجود در قالب قرار گرفته و قالب در روی میز لرزان که با فرکانس 3600 سیکل بر دقیقه و با دامنه 0/025 اینچ (0/635)

میلیمتر) می لرزد، قرار داده می شود. پس از اتمام عمل لرزاندن، با داشتن وزن و حجم ماسه می توان $\gamma_d(max)$ را بدست آورد. عوامل متعددی بر روی مقدار $\gamma_d(max)$ تاثیر می گذارند. این عوامل عبارتند از مقدار سربار، دامنه و فرکانس ارتعاش. بنابراین می توان $\gamma_d(max)$ بزرگتری نسبت به مقدار بدست آمده طبق روش استاندارد ASTM دست یافت.

برای تعیین وزن مخصوص مصالح دست نخورده در طبیعت (γ_d) از آزمایش استاندارد ASTM D698-78 استفاده میشود فقط باید دقت نمود که برای اندازه گیری حجم چاله دست نخورده در مصالح دانه ای تراکم بجای استفاده از ماسه باید از بالن حاوی آب استفاده کرد. (به علت ریزشی بودن چاله در تراکم های کمتر از $RD = 95$)

در طرح خلف آباد برای حصول تراکم مورد نیاز که بر اساس مشخصات فنی طرح 70 تا 80 درصد دانسیته نسبی تعریف شده بود. ($RD = 70 - 80\%$) دپوی مصالح تهیه شده که دانه بندی آن مورد تایید دستگاه نظارت بود بر اساس برگ درخواست حمل و پخش به محل فیوز پلاگ منتقل میگردد. در ابتدا آزمایشات وزن مخصوص خشک حداقل و حداکثر برای نمونه های ارسالی به آزمایشگاه سد تنظیمی کرخه $\gamma_d min$ و $\gamma_d max$ انجام گردید که نتایج زیر برای مصالح مختلف حاصل شد.

نوع مصالح	شماره نمونه	$\gamma_d max$	$\gamma_d min$
کانال هادی	76096	1/9	1/72
پوسته پایین دست	76097	2/23	1/70
پوسته بالا دست	76098	2/32	1/81

ضخامت لایه ها با توجه به توصیه منابع مختلف 0/5 متر در نظر گرفته شده بود. برای اندازه گیری تراکم مصالح کوبیده شده در محل از روش سعی و خطا و انجام تست تراکم با توجه به مقدار پاس غلتک عبوری استفاده گردید. انجام تست تراکم برای هر لایه 0/5 متری در ضخامتهای 15-20 سانتیمتری میسر بود. نکته قابل تعمق در انجام تست تراکم لزوم کالیبراسیون صحیح بالن لاستیکی است که ریزشی بودن چاله های حفر شده در مصالح دانه ای کالیبره نبودن بالن لاستیکی حاوی آب که حجم چاله را معین مینمود می توانست خطای زیادی را ایجاد نماید در نهایت پس از تست تراکم برای چند بخش آزمایش مشخص گردید که عبور دو پاس غلتک صاف دانسیته نسبی مورد نیاز طرح را جوابگو میباشد. با توجه به مشاهدات ناشی از تجارب عملی اجرای فیوزپلاگ سد خلف آباد می توان اذعان داشت که تراکم مصالح فیوزپلاگ براحتی حاصل گردیده و هیچگونه شستگی ناشی از بارندگی در قسمتهای مختلف آن بوجود نیامد که دلیل آن دانه بندی خاص فیوزپلاگ مربوط است.

هسته رسی فیوز پلاگ که تنها قسمت نفوذ ناپذیر سازه میباشد و ضروری است در مواقع عادی علاوه بر نفوذ ناپذیری در مقابل نیروی هیدرواستاتیک آب مقاومت نماید در ضخامتهای 20-25 سانتی متری اجرا گردید با توجه عرض کم هسته رسی (2 متر) آبدهی و عمل آوری مصالح هسته رسی در خارج باند انجام گرفت. بدیهی است برای تامین نفوذ ناپذیری مورد نیاز هسته رسی کوبیدن هسته با رطوبت بیش از رطوبت اپتیمم ($Wopt = 11\%$) علیرغم صرف انرژی بیش از حد معمول الزامی است. تراکم مورد نیاز برای هسته رسی بر اساس مشخصات فنی طرح 90-95% تراکم حداکثر بر اساس روش پروکتور استاندارد میباشد.

ضروری است در موقع اجرا و نیز هنگام بهره برداری تمهیدات لازم برای جلوگیری از عبور و مرور ماشین آلات از روی فیوزپلاگ پیش‌بینی گردد.

دانه بندی مصالح فیوز پلاگ

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های مختلف بر روی مصالح دانه ای و لزوم فرسایش به موقع (منظور تامین نرخ فرسایش بهینه می‌باشد) مصالح دانه ای در هنگام عبور جریان از روی فیوزپلاگ محدودیت‌های مختلفی برای دانه بندی مصالح مذکور وضع شده است. مصالح پوسته ای فیوزپلاگ از مصالح دانه ای بدون چسبندگی ساخته می‌شوند با توجه به ماهیت مقاومت مصالح دانه ای که ناشی از طبیعت اتصال دانه‌ها، تخلخل و تراکم آنها است می‌توان زاویه اصطکاک داخلی (F) و تراکم نسبی را عامل اصلی تعیین کننده حداکثر ایستایی مصالح فیوز پلاگ دانست. یک توده خاکی مانند همه مواد جامد تا حد معینی در برابر نیروهای خارجی (در اینجا نیروی حاصل از عبور جریان آب) مقاومت میکند و در صورتی که نیروهای بیرونی وارد بر خاک از آن حد تجاوز نماید مقاومت توده خاک از بین رفته و خاک گسیخته میشود برای حصول نتیجه بهینه و فرسایش به موقع فیوز پلاگ در محدوده زمانی مورد نظر برای تامین ایمنی سایر قسمت‌های سد محدودیت‌های خاص برای دانه بندی قسمت‌های مختلف فیوز پلاگ اعم از پوسته بالادست هسته رسی، کانال هادی و پوسته پائین دست هسته رسی توصیه شده است که به تفکیک به شرح آنها می‌پردازیم. بدیهی است تامین مصالح استاندارد مطابق با محدودیت‌های مذکور تامین کننده زاویه اصطکاک داخلی مورد نیاز و ارضاء کننده سایر مشخصات لازم برای عملکرد صحیح فیوز پلاگ خواهد بود.

1- پوسته پائین دست هسته رسی :

نوع دانه بندی این مصالح بر اساس استاندارد *ASTM* به روش *USCS* بایستی *SP* تا *GP* باشد (شن و ماسه با دانه بندی ضعیف) اندازه مؤثر دانه‌ها بین $0/8$ تا $2/5$ میلی متر، ضریب تقعر آن نزدیک یک در نظر گرفته شود ($Cc=1$) و محدوده قابل قبول برای ضریب یکنواختی دانه بندی مصالح مذکور $4 < Cu < 5$ خواهد بود. درصد عبوری از الک شماره 200 در حدود صفر درصد کنترل گردد. در طرح خلف آباد برای تامین دانه بندی استاندارد 20 درصد شن $1/2 - 1$ ، 10 درصد شن $3/4$ ، 25 درصد شن $3/8$ و 45 درصد ماسه شکسته با هم مخلوط می‌شد.

2- پوسته بالا دست هسته رسی :

محدوده دانه بندی این مصالح با توجه به درصد عبوری از الک شماره 200 براساس استاندارد *ASTM* باید از نوع *GM* تا *GM-GW* متغیر می‌باشد درصد عبوری از الک 200 بایستی بین 5 تا 25 درصد محدود گردد. در طرح خلف آباد با اختلاط 40 درصد شن $1/2 - 1$ ، 10 درصد شن $3/4$ ، 25 درصد ماسه شکسته و 25 درصد ماسه ملاتی دانه بندی استاندارد تهیه می‌گردید.

3- کانال هادی پوسته پائین است :

با توجه به حساسیت این مقطع از فیوز پلاگ لازم است حد اکثر دقت در دانه بندی صحیح مصالح کانال هادی مبذول گردد. دانه بندی این مصالح با توجه به استاندارد *ASTM* باید از نوع *GP* (شن با دانه بندی ضعیف) باشد و ضریب تقعر دانه بندی موصوف برابر $0/7$ و ضریب یکنواختی آن بین 4 تا 5 محدود گردد و درصد عبوری از الک نمره 40 برای مصالح مذکور صفر باشد. بدیهی است *PI* محاسبه شده برای درصد عبوری از الک 200 کلیه مصالح پایین دست، بالا دست و کانال هادی برابر صفر کنترل گردد. برای داشتن دانه بندی استاندارد در طرح خلف آباد 60 درصد شن $1-1/2$ ، 30 درصد شن $3/8$ و 10 درصد ماسه شکسته با هم مخلوط می گردید .

با توجه به مصالح خاص کانال هادی و لزوم دقت در اجرای صحیح این قسمت از فیوز پلاگ، ضروری است حمل، پخش و تراکم مصالح کانال هادی به منظور اجتناب از اختلاط با مصالح پوسته پائین دست بصورت جداگانه و با دقت مضاعف انجام پذیرد.

توضیح : اندازه موثر D_{10} عبارتست از بزرگترین اندازه از 10 درصد ریزترین دانه های خاک که از قرائت اندازه ای که از قطع درصد با منحنی دانه بندی به دست میاید .

$$Cc = \frac{D}{D * D} \text{ تقعر ضریب} \quad \text{و} \quad Cu = \frac{D}{D} \text{ یکنواختی ضریب}$$

میباشد.

با توجه به توضیحات فوق پوش استاندارد دانه بندی مصالح دانه ای فیوز پلاگ پیوست می باشد. لازم به ذکر است که با توجه به مصالح تولیدی سنگ شکن کارگاه سد انحرافی خلف آباد و انجام دانه بندی از مصالح مذکور لازم بود که برای تهیه بهینه مصالح فیوز پلاک بر اساس پوش استاندارد مصالح مختلف تولیدی سنگ شکن با درصدهای متفاوت با هم مخلوط گردند که جدول درصدهای مورد نیاز برای تامین خواسته مذکور در انتهای مقاله آورده شده است.

تعیین میزان دبی عبوری از روی فیوز پلاگ :

برای تعیین میزان دبی عبوری از روی فیوز پلاگ برای حالت های مختلف تا قبل از شکستگی کامل میتوان از رفتار سرریز لبه پهن و فرمول مانینگ در هنگام شستگی کامل فیوز پلاگ استفاده نمود. زمانی که نسبت عرض کانال هادی به عمق جریان بر روی آن در محدوده زیر واقع گردد میتوان مجرای ایجاد شده بر روی فیوز پلاگ را شبیه به یک سرریز لبه پهن در نظر گرفت: $0,08 < D/J < 0,5$ در اینجا داریم $D =$ عمق جریان ، $J =$ عرض سازه مقدار جریان عبوری از روی یک سرریز لبه پهن بستگی به عمق جریان روی آن و ابعاد سرریز دارد که با استفاده از رابطه $Q = Cd LD$ بدست آید که در آن $Q =$ دبی و $Cd =$ ضریب آبگذاری و L طول سرریز می باشد. در زمان شستگی کامل فیوز پلاگ رابطه مانینگ تعیین کننده دبی عبوری از کانال فیوز پلاگ خواهد بود $S^{1/2} = 1/nA R$ که با توجه به اجرای معمول اسلب های بتنی در کف فیوز پلاگ می توان n ضریب مانینگ را بین $0/015$ تا $0/017$ در نظر گرفت و برای تعیین S میتوان از شیب کف رودخانه یا شیب خط هیدرولیکی جریان استفاده نمود.

نحوه عملکرد فیوز پلاک سد انحرافی خلف آباد :

در تاریخ 82/10/23 سیلابی با دوره بازگشت بیش از 100 سال در منطقه طرح بوقوع پیوست که دبی سیلاب مذکور براساس محاسبات انجام یافته برابر 4700 متر مکعب بر ثانیه برآورد گردید با توجه به ظرفیت محدود سد انحرافی خلف آباد (570 متر مکعب برثانیه) ظرفیت مشخص سرریز کانال کنترل سیلاب (2550 متر مکعب برثانیه)، سرریز جریان از روی فیوزپلاگ و عملکرد آن اجتناب‌ناپذیر بود مشاهدات عینی هنگام سیلاب، برداشت‌های نقشه برداری انجام یافته در محل فیوزپلاگ عملکرد صحیح فیوزپلاگ و انطباق تئوری و عمل را با توجه به اجرای صحیح دانه بندی و تراکم مناسب مصالح دانه ای مؤید بود بطوری که عمل فرسایش از محل کانال هادی آغاز شده بود و با نرخ تخریب جانبی 15 m/s تمامی فیوزپلاگ کاملاً شسته شده بود. برابر مشاهدات عینی در هنگام عملکرد فیوزپلاگ در سیلاب مذکور ملاحظه گردید که با توجه دانه بندی صحیح اجرا شده در پوسته پائین دست و کانال هادی سطوح لغزش در مقاطع مذکور با شیب فرسایش کم و نزدیک به افق گسیخته شده بود. فقط ابعاد پوشش بتنی غیر مسلح که محافظ روی شیب پوسته بالادست هسته رسی بود بزرگتر از حدی بود که بتواند براحتی در هنگام عملکرد فیوزپلاگ بشکند لذا در هنگام اجرای مجدد فیوزپلاگ ابعاد پانلهای لاینینگ مذکور از $2/5 * 2/5 * 0/15$ به $1/35 * 1/35 * 0/15$ تغییر یافت مقطع فیوزپلاگ پس از عبور سیلاب 82/10/23 پیوست می باشد .

تغییرات فیوزپلاگ در هنگام اجرا

با توجه به نتایج بدست آمده از سیلاب مورخ 82/10/23 و مذاکرات انجام یافته با مؤلف طرح و کارشناسان دفتر فنی سازمان آب و برق خوزستان بنابه دلایل مشروحه ذیل مقرر گردید که فیوزپلاگ در کد مطمئن تثبیت گردد و سپس تا کد نهایی به صورت فیوزپلاگ در طرح اولیه اجرا گردد . در طرح اولیه تراز کف فیوزپلاگ +24 متر بود و این در حالی پیش بینی شده بود که تراز نرمال مخزن 27/75 و تراز سرریز نیز 27/75 و تراز تاج سرریز کنترل سیلاب 27/80 طرح و اجرا شده بود و این بدان معنی بود که در هنگام عملکرد فیوزپلاگ و شسته شدن آن تا کف، سد و سرریز کانال کنترل سیلاب از حیز ارتفاع خارج می شوند و مخزن سد انحرافی که حجمی بالغ بر 20000000 متر مکعب بود از محل فیوزپلاگ به دشت ساحل راست رودخانه تخلیه می شد که باعث غرقاب شدن اراضی وسیع کشاورزی و ایجاد خطر برای ساکنین روستاهای واقع در دشت مزبور می گردید لذا پس از مطالعات انجام گرفته مقرر گردید که مقطع فیوزپلاگ از کد 24 تا 28 متر با مصالح GC که در هنگام عبور جریان مقاومت کافی خواهد داشت ساخته شود و از کد 28 به بالا همان مقطع اولیه فیوزپلاگ اجرا می گردد. بدیهی است با تثبیت فیوزپلاگ در کد 28 متر سیلاب قابل تخلیه از سازه مذکور کاهش خواهد یافت بطوریکه حداکثر دبی قابل تخلیه طرح در کد 30/60 از 7700 متر مکعب درثانیه به 7000 متر مکعب در ثانیه تقلیل پیدا می کند که با توجه به احداث سد مخزنی جره در بالادست رودخانه جراحی و تکمیل سد مارون بدون وارد کردن خسارت به سایر اجزای طرح و تاثیر در عملکرد هیدرولیکی آنها قابل توجه می باشد.

براساس مطالعات آزمایشگاهی مصالح GC جهت احداث فیوزپلاگ از کد 24 تا 28 باید دارای حداقل مشخصات ذیل باشد.

1- درصد عبوری از الک 200 حداقل 30%

2- حدود اتربرگ PI بین 10 - 16 %

3- $D50 = 1/4$ $F = 33$ و $C = 0.2 \text{ Kg cm}$

4- نمودار دانه بندی مصالح بکار رفته در فیوزپلاگ خلف آباد پیوست می باشد.

کنترل $uplift$ و $PiPing$ در فیوزپلاگ

نظر به اینکه طراحی فیوزپلاگ مانند یک سد خاکی است لذا نگرانی‌های طراحی برای مقابله با نیروی زیرفشار ($uplift$) دبی نشت، آب شستگی ($piping$) و شیب خروجی ($exit gradient$) همواره وجود دارد. در طرح اولیه فیوزپلاگ یکسری اسلب بتنی در کف فیوزپلاگ و دو دیواره سپری در بالادست و پائین دست آن برای مقابله با مشکلات فوق الذکر پیش بینی و اجرا گردید در هنگام اجرا با توجه به بالا بودن سطح تراز آب زیر زمین اجرای کامل دیوار سپری ($cutoff$) پائین دست تراز تا پیش بینی طرح مسیر نبود لذا براساس تئوری لین ($lane$) و تاثیر بیشتر افت بار قائم نسبت به افت افقی بار مقرر گردید که اسلبهای بتنی کف در پائین دست برابر دستور کار کارگاهی تا طول مورد نیاز بعد از مقطع فیوزپلاگ ادامه یابد .

مقایسه ریالی و فنی فیوزپلاگ با سایر گزینه ها

1- افزایش طول سرریز بتنی

با توجه به اینکه یکی از اهداف طرح خلف آباد (رامشیر) کنترل سیلاب های مخرب رودخانه جراحی می باشد لازم بود که سیلاب های مذکور به هور شادگان منتقل شود در طرح کانال سیلاب بری به طول 23 کیلومتر جهت هدایت سیلاب فوق پیش بینی شده است که در صورت حذف فیوزپلاگ لازم بود سرریزی به طول 275 متر احداث شود و نیز عرض کانال سیلاب بر نیز به همین اندازه افزایش یافت هزینه هر کدام از گزینه ها برابر است با :

میلیون تومان $253 = 243000 * 5000 + 202650 * 600 + 29660 * 40000$ احداث فیوزپلاگ

گزینه-1 (شامل 40000 متر مکعب مصالح دانه بندی شده فیوزپلاگ و 600 متر مکعب بتن در لاینینگ +5000 متر مکعب بتن اسلبها و دیواره ها)

گزینه 2- افزایش طول سرریز : ریال $15000000000 =$ هزینه احداث سرریز بتنی 275 متری -1

$82880000 = 20720 * 4000 =$ خاک جانشین فیوزپلاگ -2

$182385000 = 202650 * 900 =$ بتن حفاظتی -3

$103180000000 = 675 * 2 * 82000 * 275 + 3226 * 82000 * 275 =$ خاکبرداری

مسیر کانال 23 کیلومتر -4

میلیارد تومان $12 =$ جمع گزینه دوم

هزینه احداث فیوزپلاگ 2% مبلغ فوق می باشد.

2- از دیگر گزینه های مطرح به جای فیوزپلاگ ایجاد آبراهه در طرفین دایک خاکی و هدایت

سیلاب به رودخانه در پائین دست رودخانه می باشد که در این طرح با توجه به لزوم کنترل سیلاب ها و پائین بودن ظرفیت بستر رودخانه عملاً اجرای این گزینه منتفی است.

3- سد مخزنی : با توجه به توپوگرافی منطقه عملاً "احداث سد مخزنی با افزایش ارتفاع دایکها که بتواند سیلاب بیش از 3000 متر مکعب در ثانیه را در طول مدت سیلاب ذخیره نماید غیر اقتصادی می باشد (برای این منظور باید حجم مخزن حداقل 520 میلیون متر مکعب باشد).

برآورد و پرداخت هزینه های فیوزپلاگ در قالب فهرست بهای آبیاری و زهکشی

با توجه به لزوم دانه بندی خاص فیوزپلاگ و مراحل اجرایی مشروحه قبل و محدودیت ردیف های فهرست بها برای پرداخت هزینه های فیوزپلاگ ردیف های ذیل نقل از فهرست بهای آبیاری و زهکشی 83 برای هر متر مکعب فیوزپلاگ قابل پرداخت خواهد بود .

- 1- ردیف 40801 برای تهیه فیلتر 25500 ریال .
 - 2- ردیف 31301 بارگیری و حمل تا محل اختلاط 1480 ریال.
 - 3- ردیف 31802 اختلاط مصالح 555 ریال .
 - 4- ردیف 31501 سرند مصالح (برای تامین دانه بندی مناسب) 2150 ریال.
 - 5- ردیف 31301 بارگیری و حمل تا محل فیوزپلاگ 1480 ریال.
 - 6- ردیف 31302 بارگیری و حمل تا محل فیوزپلاگ 4×125 ریال.
 - 7- ردیف 31303 بارگیری و حمل تا محل فیوزپلاگ $0/5 \times 610$ ریال (فاصله حمل 2 کیلومتر).
 - 8- ردیف 31606 پخش و کوبیدن مصالح فیوزپلاگ $0/6 \times 1440$ ریال (ضخامت لایه های $0/5$ متری است).
- جمع کل مبلغ قابل پرداخت برای هر متر مکعب فیوزپلاگ 32834 ریال می باشد.

