تحلیل اثر پودر ضد شستشوی دوغاب (Anti Washout) در تزریق گمانه های آبدار(مطالعه موردی سد تنگاب فیروزآباد)

مهدی کوشامنش[1]*، کریم رسولپور[2]

۱- کارشناس ارشدعمران،مهندسی آب ، شرکت I.T.P Mehdi_Kushamanesh@yahoo.com
۲- کارشناس زمین شناسی مهندسی ، شرکت I.T.P IraniaN TazrighPump@gmail.com

چکیده

بخشی از بدنه سد تنگاب بر روی پی آبرفتی واقع شده که عمق آن از۲متر در تکیه گاهها تا حدود ۳۵ متر در میانه بستر رودخانه متغیر است و به علت امکانپذیر نبودن عبور از قطعات بزرگ سنگی، عمق های پایین آبرفت اجرای دیوار آب بند به روش های کلاسیک میسر نبوده و دیوار آب بند به طور معلق اجرا شد که باید از گالری زیرین پی اصلاح و به عرض لازم تکمیل می شد. تزریقات ترمیمی سقفی مثلثی با طرح اختلاط متفاوت نسبت به سایرجبهات کاری اجرا شد. تفاوت این طرح جدید بدلیل استفاده ازپودر ضدشستشوی دوغاب(Anti-Washout) با مخفف AWA-100 می باشد که در طول ۹۷ متر از گالری G5، ۷۵ متر در طول دیوار آببند از گالری G35 و ۲۴ متردر طول گالری G45 اجرا شد(محدوده ۱۹۶ متری). محدوده گالری G5 که دارای بیشترین مقادیر آبگذری از مخزن سد تنگاب بود، به لحاظ ایمنی و پایداری و فرسایش مصالح پی در اولویت اجرا قرار گرفت. اجرای زوج گمانه های سقفی مثلثی و استفاده از پودر ضد شستشوی دوغاب در طرح اختلاط برای رفع نقص زیر دیوار جهت آب بندی کامل آن برای قطع آبگذری و فرسایش داخلی زیر پی انجام شد. با حفاری و تزریق در حداقل ۳ سری گمانه سقفی مثلثی پرده در طول دیوار آببند، ترمیم دیوار آببند و پرده آببند اجرا شده، متراکم و آببند شد. جهت اتصال گمانه های پرده تزریق از گالری به دیوار آب بند و نفوذ ۵ تا ۱۰ متر در آن، هر گمانه دارای آزیموت و زاویه تمایل حفاری اختصاصی خود بود و در نهایت اثر بخشی استفاده از پودر Anti Washout در طرح اختلاط دوغاب به اثبات رسید و نشان داد علیرغم جریان آب، دوغاب تزریقی در درزه ها حفظ شده و شسته نشده است.

واژه‌های کلیدی: پرده آببند ، گمانه های سقفی مثلثی ، طرح اختلاط ، Anti Washout ، پودرضد شستشوی دوغاب

۱ – مقدمه

سدها از نظر اقتصادی، اجتماعی و سیاسی دارای اهمیت بسیار زیادی می باشند. نقش سدها در کشاورزی، عمران مناطق روستایی و شهری، تامین آب آشامیدنی، تولید انرژی هیدروالکتریک، کنترل و تنظیم شدت جریان آب در رودخانه ها و...قابل توجه است. از طرفی این طرح های استراتژیک، نیازمند سرمایه گذاریهای کلان می باشند. در جهانی که روز به روز نیاز به تامین آب آشامیدنی سالم افزایش می یابد، اقتصاد طرح ها حائز اهمیت زیادی است. از آن جایی که پس از آبگیری سد، بار هیدرولیکی افزایش می یابد، فرار آب هرچند به مقدار ناچیز اجتناب ناپذیر است و هیچ مخزنی را نمی توان آببند کامل در نظر گرفت. مسئله فرار آب در مناطق کارستی با توجه به توسعه درز و شکاف ها و مجاری انحلالی دارای پتانسیل بیشتری

www.SID.ir

نسبت به سایر مناطق می باشد[1]. عملیات تزریق دوغاب سیمانی یکی از روشهای بهبود وضعیت زمین در زمین شناسی و ژئوتکنیک است که در نهایت امر منجر به ارتقاء سطح کاربری ساختگاه می گردد. برای آغاز عملیات تزریق و رسیدن به طرح اختلاط پیشنهادی طراحان هر پروژه لازم است ویژگیهای مهندسی ساختگاه مورد نظر مثل میزان نفوذپذیری محیط و راهکارهای اساسی مورد بحث و بررسی قرار بگیرد.

۲- زمین شناسی و مشخصات طرح

سد تنگاب در ۹۰ کیلومتری جنوب شرق شیراز در زون چین خورده ساده زاگرس قرار دارد. بدنه سد بر روی سنگهای آهکی، آهک مارنی و مارن تشکیلات سازند آسماری به سن الیگوسن– میوسن قرار دارد. این سازند بر روی سازند شیل و مارنی پابده گورپی پالئوسن – الیگوسن و در زیر زون انتقالی قرار دارد. زون انتقالی نیز به طور هم شیب زیر سازند رازک (میوسن پایینی) که از مارن و گچ تشکیل یافته، قرار گرفته است. این سازند را سازند مارنی میشان بطور همشیب و به سن میوسن میانی پوشانده است. بر روی سازند مزبور سازند آقاجاری به سن میوسن بالایی قراردارد. سازندهای رازک(میشان) و آقاجاری و زون انتقالی به دلیل اینکه از مارن و تبخیریها تشکیل یافته اند، از قابلیت نفوذ وآبگذری قابل توجهی بر خوردار نمی باشند. لذا تنها محدوده سازند آسماری قابلیت آبگذری را داراست. آهک مزبور در سازند آسماری از استعداد کارستیفیکاسیون بالایی برخوردار بوده و وجود میان لایه های مارنی و مارن آهکی باعث توسعه کارست در اطراف این لایه ها به صورت هدایت شده گردیده است. این کارستها در امتداد درزه ها و گسلهای عمده که شیبی نزدیک به قائم دارند توسط مواد پر کننده در گلوگاهها از یکدیگر جدا شده و دالانهای منفردی را تشکیل داده اند که به موازات یکدیگر عمل می نمایند. مقدار نفوذپذیری و توسعه آنها در سازندهای کارستی به درجه کارستی شدن این سازندها وابسته می باشد. بنابراین به منظورارزیابی ارتباط هیدرولیکی مخزن و تکیه گاه های سد از طریق سازندهای کارستی باید نوع سامانه کارستی و در نتیجه درجه توسعه کارست در منطقه مورد نظر شناسایی شود [2].

مهندسین مشاور آب نیرو در طی مطالعات خود بر روی سد تنگاب فیروزآباد نتیجه گرفتند که سازند رازک به سن میوسن پائینی دارای جنس مارن سیلتی قرمز مایل به سبز تا خاکستری با بین لایه ای آهک سیلتی می باشد. این سازند در اطراف تاقدیسهای منطقه رخنمون دارد ولی بیشترین رخنمون آن در محدوده دریاچه سد تنگاب می باشد. شیب لایه های دره تنگاب در یال شمالی بیشتر از یال جنوبی است[3]. بدنه سد تنگاب از هسته رسی در مرکز به صورت مایل و فیلترهای ریزدانه و درشت دانه در اطراف هسته رسی و مصالح رودخانه ای در اطراف فیلتر و مصالح خرده سنگی در اطراف مصالح رودخانه ای تشکیل یافته است. سرریز سد به صورت سرریز جانبی طراحی و اجرا شده است. ظرفیت تخلیه آن ۳۰۰۰ متر مکعب در ثانیه می باشد. تراز کف رودخانه ۱۴۰۱ متر از سطح دریا و تراز تاج سد ۱۴۵۲ و تراز نرمال آب ۱۴۴۷ می باشد. حجم مخزن در تراز نرمال ۱۴۰ میلیون متر مکعب است. با توجه به مطالعات انجام گرفته توسط مشاور طرح در فاز مطالعاتی و با توجه به نحوه قرارگیری ناپیوستگیهای موجود، طراحی پرده تزریق به گونه ای انجام گردید که با یک گمانه بیشترین تعداد درزه و ناپیوستگیهای موجود تزریق گردد. بنا براین با توجه به آزیموت و شیب درزه ها پرده تزریق به صورت زاویه دار طراحی گردید و این زاویه از ۷ درجه تا ۱۴ درجه متغیرمی باشد. دلیل این تغییرات بلوکهای تکتونیکی و عملکرد گسلها در تغییر عمق گمانه ها درترازهای بالا درگالریهای تراز تاج سد تا سقف گالریهای تحتانی در ترازهای ۱۳۸۰ و ۱۳۷۰ و در تکیه گاهها تا گالریهای شیبداری که ترازهای ذکر شده را به تراز ۱۳۶۰ درکف رودخانه وصل می نمایند تا فاصله حدود ۳ متری سقف گالریهای مزبورتعیین گردیده وسپس عملیات تزریق ازپایین به بالا صورت گرفت[4].

www.SID.ir

۳- ضرورت اجرای گمانه های سقفی مثلثی

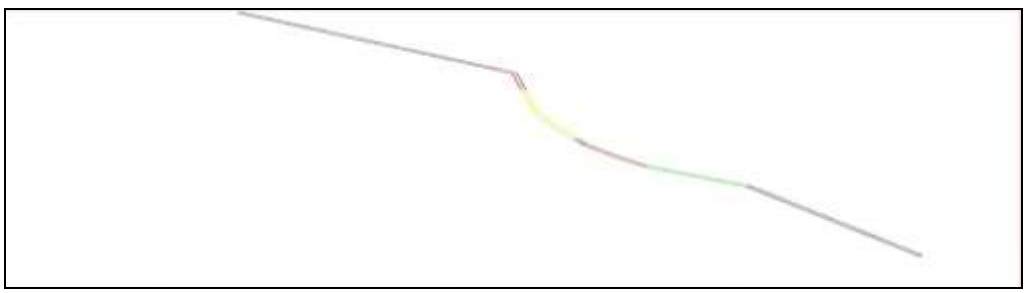
الف) در عمقهایی از محدوده جناحین چپ و راست دریاچه سد و در محدوده پرده اصلی آببند، تراوش آب از دریاچه سد ناچیز بوده و منحنی های تراز آب زیرزمینی، با شیب نسبتاً تندی به تراز آب زیرزمینی منطقه نزدیک می شوند که بیانگر عملکرد مناسب پرده آببند در کنترل تراوش و کاهش شدید گرادیان طبیعی در این نواحی می باشد ولی عمقهای زیر دیوار آببند مناسب نبود.

ب) در محدوده شیب تکیه گاه راست گالری G-45 و از زیر بدنه سدگالری G-5 به سمت پایین دست محور سد (محدوده محور سرریز بر روی محور سد)، نشت آب در دریاچه باعث ایجاد برآمدگی در تراز آب زیرزمینی شده بود، بطوریکه این نشت باعث دور شدن منحنی های تراز آب زیرزمینی در محدوده شیب تکیه گاه راست بدنه سد و محدوده پایین دست، از ابتدای گالری جناح راست به سمت شیب تکیه گاه راست و بستر رودخانه شده است. این برآمدگی نشت با دور شدن از بدنه، به تدریج افت پیدا کرده و در نهایت در فاصله حدود ۲۰۰ تا ۱۵۰ متری محور سد، به تراز آب زیرزمینی طبیعی منطقه نزدیک می شوند (که نیاز به بستن پنجره باز آبرفت و شیب تکیه گاه راست تا زیرسازه سرریز را تأکید می نماید).

ج) در محدوده دیواره تکیه گاه راست سازه سرریز، گمانه پیزومتری PIZ-12 در پایین دست پرده آببند دیواره راست سرریز واقع گردیده که دارای تراز ارتفاعی ۱۳۹۲متر می باشد و باتوجه به روند منحنی های هم پتانسیل آب در بالادست و پایین دست پرده آببند این محدوده، پرده آببند در این محدوده، عملکرد مناسبی از خود نشان نمی دهد.

طول دیوار آببند اجرا شده در محدوده بستر رودخانه سد تنگاب، حدود ۱۹۶ متر و عمق متوسط ۲۴ تا ۲۸ متر می باشد که در عمق های ۵ تا ۱۰ متر انتهایی، به دلیل مشکلات اجرایی ناشی از وجود قطعه سنگ های بزرگ سقوط یافته از طرفین دیواره دره به بستر قدیمی رودخانه امکان پیشروی احداث دیوار آببند را ناممکن ساخت و از طرف دیگر باقی ماندن دوغاب بنتونیت در انتهای کانال دیوار آببند و نیز وجود میان لایه ها و پرشدگی های شسته نشده پی سنگ و همینطور سگرگاسیون بتن و .... آب بندی آن بواسطه شستشوی هیدرولیکی از میان رفته و دارای آبگذری بالا می باشد. در شکل شماره ۱ مجموع پرده آببند گالریهای سد تنگاب نشان داده شده است. محدوده هایی از پرده آببند که در آن زوج گمانه های سقفی مثلثی زیر دیوار آببند اجرا شده و تماما پنجره آبرفتی بوده و از پودر ضد شستشوی دوغاب در این گمانه ها(با توجه به برنامه طرح اختلاط) استفاده شده، با خطوط رنگی نمایش داده شده است[5].

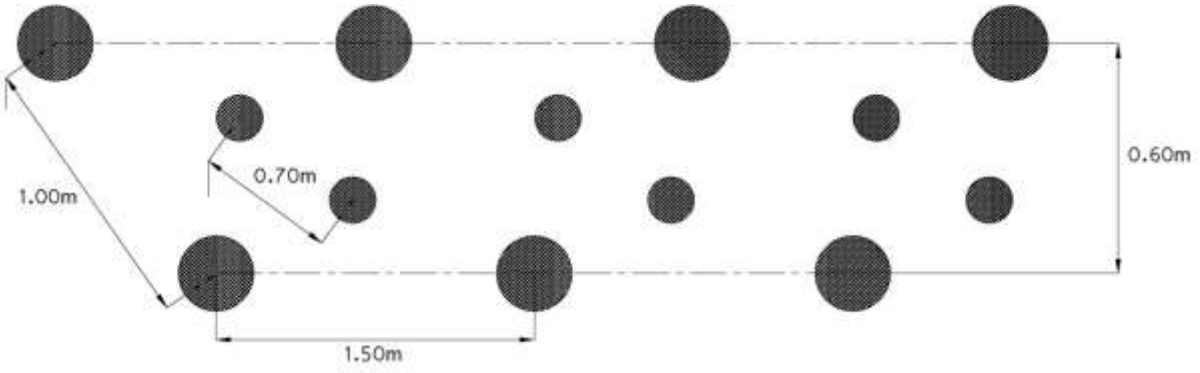
پیش از اجرای زوج گمانه های رو به بالا در گالری های G-35 ،G-5 وG-45 ، خطوط هم پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده پی سد آبگذری متوسطی را در محدوده پی و آبگذری نسبتاً شدید را در محدوده هایی از گالری G-35 نشان داده اند که با تکمیل عملیات اجرایی در محدوده پی سد، این فرآیند مشاهده می شود. خطوط هم پتانسیل به سمت بدنه سد تجمع بیشتری یافته اند. مقایسه تراز آب این خطوط هم پتانسیل نیز بیانگر فشردگی خطوط با ترازهای همسان به بدنه سد می باشد که با وجود افزایش تراز آب در حدود ۲۰ متر، خطوط هم پتانسیل به بدنه سد نزدیک شده اند.



شکل شماره ۱ – مجموعه پرده آببند گالری های سد تنگاب

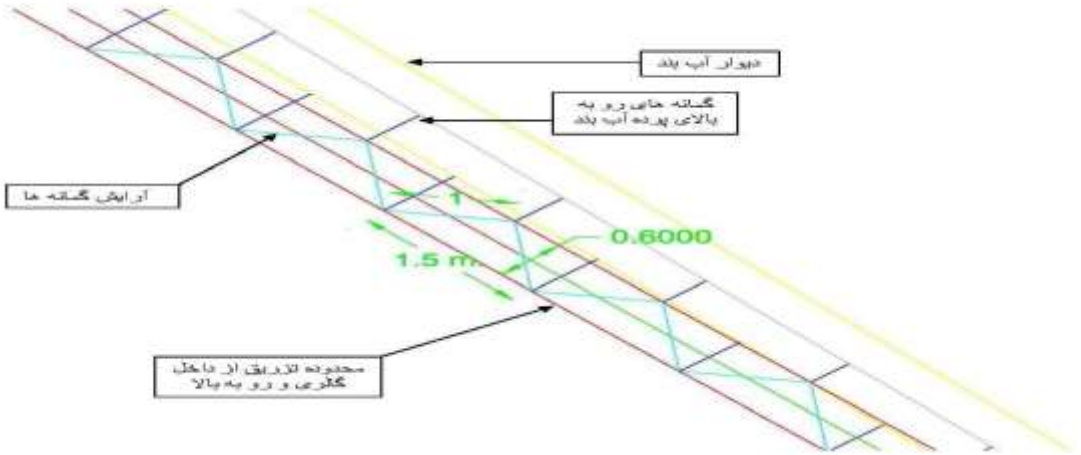
www.SID.ir

برای تکمیل پرده آب بند در این محدوده، گمانه های تکمیلی-ترمیمی پرده آببند در هر ردیف و با آرایش مثلثی و رو به بالا و با فواصل ۱,۵ متر در هر ردیف و فاصله ردیف ها از یکدیگر ۰,۶ متر حفاری شدند(شکل شماره ۲). سپس شستشوی ویژه و تحت فشار در این گمانه های دوگانه انجام شده و با خروج مواد ریزدانه، لومی، شن و ماسه و قطعات تا قلوه سنگ از گمانه دیگر عملیات تزریق با دوغاب غلیظ و با جایگزینی دوغاب سیمان در آبرفت متخلخل زیر بدنه سد تا دیوار آببند نوعی بتن درجا ایجاد گردید که به همراه آن نیز دیوار آببند مزبور هم ترمیم شد. بدین ترتیب حفاری و تزریق در گالری G-5 در محدوده پنجره باز آبرفتی با حفاری گمانه های رو به بالا و رسیدن به دیوار آببند و نفوذ حدود ۱۰ متر در آن (به دلیل تحلیل رفتن دیوار آببند) در زیر بدنه سد با صرف زمان نسبتاً طولانی با موفقیت انجام و آببندی آن کامل شد.



شکل شماره ۲- شماتیک گمانه های سقفی مثلثی سری اول و سری دوم گالری های مختلف

به عبارت دیگر، درحین حفاری گمانه ها، به دلیل ریزش شدید آب از پنجره آبرفتی و دیوار آببند تحلیل رفته، ریزش آب و گل با دبی های متفاوت از درون گمانه ها وجود داشت. با توجه به اختلاف مکانی دیوار آببند و گالری G-5، گمانه های رو به بالا در محدوده پنجره آبرفتی بطور موازی و با زاویه خاص هر جفت گمانه جهت رسیدن موارد نفوذ گمانه به داخل دیوار آببند و ترمیم آب گذری دیوار آببند و نفوذ به ۱۰ متر انتهایی دیوار انجام شد(شکل شماره۳). منظور از اختلاف مکانی بین دیوار آببند و گالری G-5 این است که دیوار آببند در ترازهای متغیر بالاتر از گالری و با اختلاف فاصله افقی بین ۰.۵ تا ۴ متر تا محور قوسی شکل گالریG-5 واقع شده بود.



شکل شماره ۳- پلان شماتیک روش اجرای گمانه های سقفی مثلثی و آرایش گمانه ها

www.SID.ir

پس از حدود ۷ ماه از آغاز عملیات تزریق گمانه های سقفی مثلثی، گمانه های کنترلی در خصوص چگونگی نتایج عملیات انجام شده مبتنی بر ایجاد دیواره ای به ضخامت یک متر از دوغاب سیمان صورت گرفت. بدیهی است با توجه به زمان بر بودن عملیات فوق و عدم اطمینان قطعی از به نتیجه رسیدن این روش در زون آبرفتی زیر بدنه سد، یکی از دستگاههای حفاری به محدوده ابتدایی گالری G-5 از سمت G-45 مابین گمان های UWU8 , UWU23 و یکی هم به سمت انتهای گالری G-5 مابینUWU50 , UWU35 یعنی هر کدام محدوده ای به طول ۲۲ متر را تکمیل و یک گمانه کنترلی در این قسمت حفاری و هر ۵ متر تست، شستشو و البته همراه با مغزه انجام شد. این اقدام در آن مقطع از پروژه، آزمایشی بود به پاسخگویی مدل و روش اجرای کار در گمانه های سقفی مثلثی تا از رویه اطلاع حاصل نماییم که در صورت عدم پاسخگویی، از هدر رفتن زمان و هزینه های مالی سربار به پروژه پیشگیری به عمل آید. در هر سایت، تعدادی از گمانه ها در فواصل مقتضی جهت پایش نتایج تزریق، بازگشایی شده و یا فقط مقطع نزدیک به دیوار آببند تزریق شد تا در طول عملیات اجرایی مورد بررسی آبگذری قرار بگیرند. از محدوده حد فاصل زوج گمانه های UWD58,UWU58 تا زوج گمانه های UWD24,UWU24 حفاری و شستشوی ویژه و تحت فشار و تزریق در ۱۰ متر ابتدایی در قطعات ۵ متری و در ۱۵ متر بعدی در قطعات ۳ متری انجام شود. از محدوده حد فاصل زوج گمانه ای UWD42,UWU42 تا زوج گمانه های UWD24,UWU24 حفاری و شستشوی ویژه و تحت فشار و تزریق در ۱۸ متر ابتدایی در قطعات ۵ متری و در۱۲ متر بعدی در قطعات ۳ متری انجام شود. در جدول شماره۱ فشارهای اعمال شده برای موارد مختلف آورده شده است.

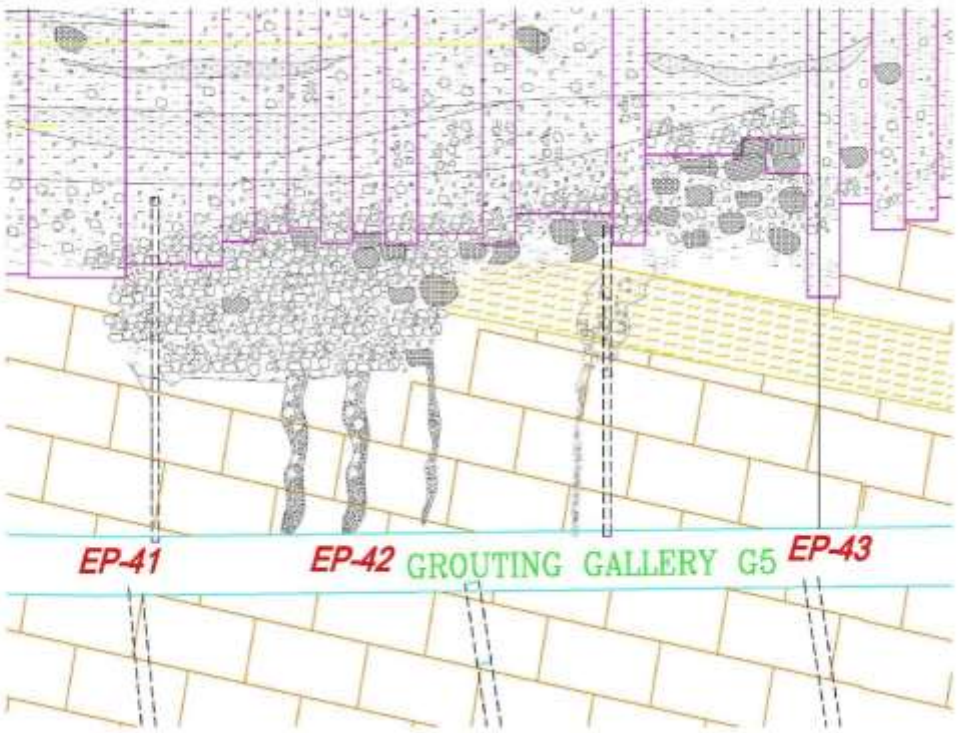
جدول شماره ۱ - فشارهای اعمالی (bar) برای حالات مختلف در گمانه های سقفی مثلثی

مقطع	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40
فشارتزریق	10	15	20	25	30	30	30	30
فشار شستشو	5	10	15	20	25	30	30	30
فشار تست	5	10	15	20	25	25	25	25

بررسی پروفیل خورند سیمان گمانه ها در امتداد گالریG-5 از ابتدای گالری G-5 تا اواسط گالریG-5 و به طول ۱۰۰ متر و همچنین پروفیل مقایسه زمانهای شستشو با مقادیرسیمانخوری در قطعات تزریق زوج گمانه های روبه بالادرگالری G-5 نشان دهنده آن است که آبرفت و دیوار آببند سست و تحلیل رفته، بیشترین مقادیر سیمانخوری را دارا می باشد. پس از اتمام عملیات اجرایی پرده آببند تکمیلی اولیه، برای کنترل پرده آببند ترمیمی در طول گالری G-5 تعداد ۴ حلقه گمانه کنترلی در نقاط مناسب و با زاویه و جهت مناسب، حفاری، آزمایش نفوذپذیری و تزریق گردیدند. زاویه و جهت این گمانه های کنترلی طوری انتخاب شدند تا از مقاطعی که بیشترین سیمانخوری را داشته اند، حتماً عبور کنند.

در شکلهای شماره ۴ و ۵ به ترتیب پنجره آبرفتی و شماتیک گمانه ای سقفی مثلثی نفوذکرده به دیوار آببند تحلیل رفته که در ان گمانه های آبدار وجود داشت و از پودر ضد شستشوی دوغاب و تزریقات آببندی آنها استفاده شد، نمایش داده شده است.

www.SID.ir



شکل شماره ۴- پنجره آبرفتی باقیمانده در محدوده گالری G-5

شکل شماره ۵- شماتیک اجرای گمانه های سقفی مثلثی و نفوذ به دیوار آببند تحلیل رفته در گالری G-5

www.SID.ir

۴- ویژگیهای Anti-Washout Admixture (AWA - 100)

A.W.A100 پودر ضد شستشوی دوغاب یک ماده بسیار ضدآب بی نظیر است که به صورت پودر در بتن های زیرآب یا به دوغاب هایی که در زیر آب یا در زیر سطح آب (گمانه های آبدار)تزریق می شوند، استفاده می شود. دوز مصرف معمول این پودر بستگی به نوع درزه ها و میکرودرزه ها و فشار جریان آب بین ۱۰تا ۱ درصد وزن سیمان است.

برخی از ویژگی های دوغابی که حاوی پودر ضدشستشوی دوغاب است ، عبارتند از :

- ویژگی چسبندگی و محافظت از آب را افزایش می دهد.
- دوغاب پایداری تشکیل می دهد بطوریکه به صورت مجزایی در آب محافظت شده است.
- استواری دوغاب هنگام پمپ کردن حتمی و قابل اطمینان است.
- خاصیت ارتعاش افزایش پیدا می کند.

طریقه نگهداری : دوغاب مصرفی حاوی A.W.A100 باید با نسبت آب به سیمان بین 0.4 تا 0.5 همراه باشد.
دستورالعملهای ایمن برای استفاده:پودر A.W.A100 خطرناک محسوب نمی شود. با توجه به آیین نامه در رابطه بادسته بندی موادشیمیایی توصیه شده است که برای نگهداری مواد شیمیایی از دستکش و عینک ایمنی استفاده شود و اقدامات احتیاطی را در دستور کار قراردهیم. محصول باز نشده در صورت نگهداری در جای خشک، حداقل یکسال عمر می کند.

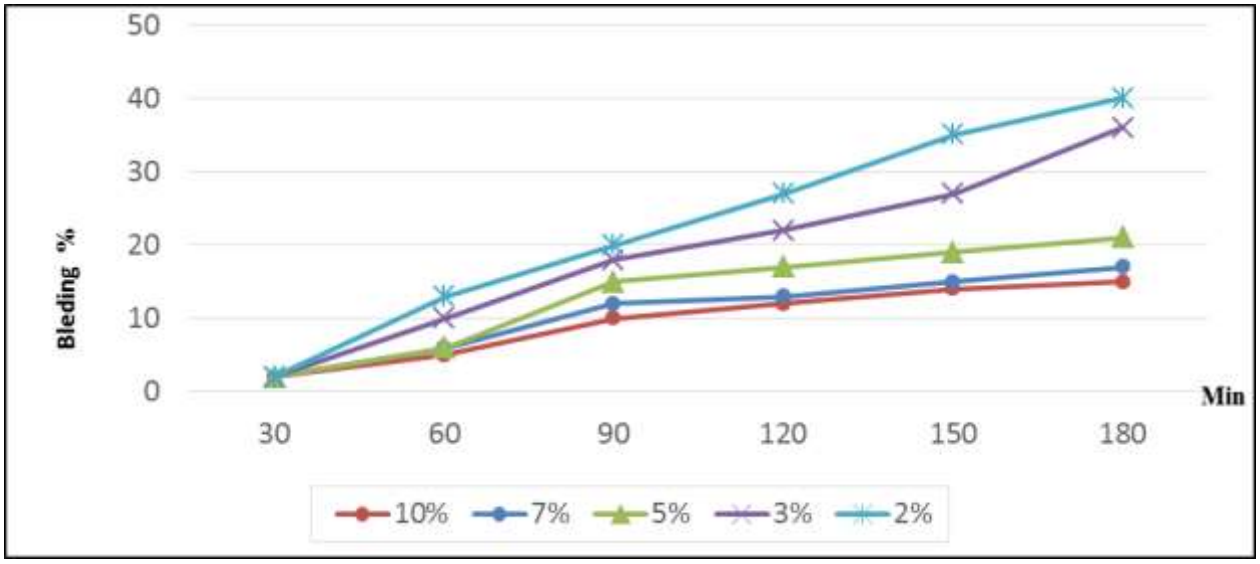
۵- اثر طرح اختلاط دوغاب حاوی پودر AWA-100

محدوده ۱۹۶ متری که در بر گیرنده گالری های G-35،G-5 وG-45 می باشد به ۴ ناحیه تقسیم شده که ناحیه A در گالری G-45 و نواحی B,C در گالری G-5 و ناحیه D شامل گالری G-35 می باشد و هر یک از این نواحی جداگانه با طرح اختلاطی به روش آزمون و خطا، امتحان شده و به یک نتیجه و درصد مناسب برای مواد تشکیل دهنده طرح اختلاط بهینه رسیدیم. در بعضی مواقع پودر ضد شستشوی دوغاب به طرح اختلاط جهت تزریق گمانه های سری اول اضافه شد و یا در نواحی دیگر به سری دوم و یا بعضا به سری تکمیلی (N). به هر حال با اضافه شدن پودر ضد شستشو به طرح اختلاط، نتایجی محسوس در خورند گمانه ها حاصل شد. حساسیت موضوع طرح اختلاط بدلیل ریزش شدید آب و انجام عملیات حفاری و تزریق زیر سطح آب و اینکه در انتهای گمانه های سقفی مثلثی، دیوارآببند از جنس بتن پلاستیک قرار داشت و این اتصال باید به نحو مناسبی انجام بگیرد. در طی آزمایش ها مشاهده شد که در نسبتهای آب به سیمان پایین، فوق روان کننده سبب ایجاد آب اندازی شدیدی شده و باعث جدایش دانه های درشت و ریز سیمان از هم می گردید که نسبت ۰,۵ ثابت نگه داشته شد و درصد وزنی پودر ضد شستشو تغییرکرد. البته با آزمون و خطا و نمونه گیری حدود ۳۰ مرحله به میزان مواد افزودنی طرح اختلاط رسیدیم. سیمان مصرفی از نوع سیمان معمولی پرتلند تیپ ۲ که از کارخانه سیمان فیروزآباد واقع در ۳۰ کیلومتری پروژه تامین شد. فوق روان کننده در نسبتهای آب به سیمان بالا سبب افزایش زمان جریان و در پاره ای موارد کاهش آب اندازی شده است و مسئله خیلی مهمی است که باید قبل از رسیدن به مرحله نهایی اجرا با دقت روی آن کار شود.
درطرح اختلاط یک دوغاب پایه سیمانی، مواد متنوع بانسبتهای گوناگون می توانند شرکت داشته باشند که هریک ویژگی های متمایزی در دوغاب ایجاد می کنند. از آنجا که در حال حاضر آزمایشهای زیادی برای اندازه گیری این ویژگیها وجود دارد، بکارگیری مطالعات آزمایشگاهی، ضامن انتخاب درست و تضمین کیفیت دوغاب، مطابق با نیاز پروژه خواهد بود.

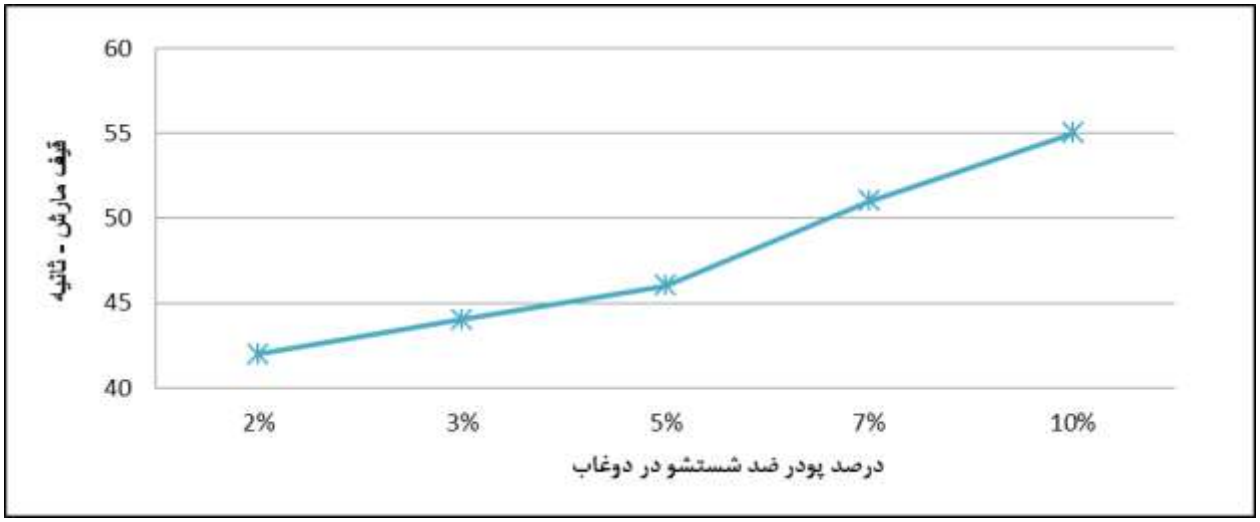
www.SID.ir

در شکلهای شماره ۶ و شماره ۷ نتایج دو آزمایش آب اندازی و قیف مارش که بر روی طرح اختلاطهای متفاوت انجام شده، نمایش داده شده است. ممکن است دوغابی آب اندازی پائینی داشته باشد ولی از نظر آزمایش قیف مارش طبق استاندارد ، زمان بیشتری را به خود اختصاص دهد و دوغاب غلیظ تر از نرمال تلقی گردد یا مادبالانس آن بالاتر باشد که در این صورت روی نفوذپذیری آن در درزه ها و میکرودرزه ها تاثیر گذاشته و شعاع نفوذ موثری نخواهد داشت.

آب اندازی طبق پیشنهاد و دستورالعمل ISRM پس از دو ساعت قرائت و زمان جریان با استفاده از قیف مارش و استاندارد API اندازه گیری شده است.



شکل شماره ۶ – میزان آب اندازی دوغاب شامل پودر ضد شستشوی دوغاب با درصدهای متفاوت در زمانهای متفاوت



شکل شماره ۷ – قیف مارش بر حسب ثانیه برای دوغاب شامل پودر ضد شستشوی دوغاب با درصدهای متفاوت

www.SID.ir

در نهایت، طرح اختلاط بهینه با در نظر گرفتن تمامی فاکتورها شامل آب اندازی ، قیف مارش و مادبالانس (وزن مخصوص)، طرح اختلاط پودر ضد شستشوی دوغاب Anti-Wash out با ۵٪ وزن سیمان انتخاب شد.
تمامی سایت های اجرایی که دربرگیرنده پنجره آبرفتی و گمانه های سقفی مثلثی آبدار بودند، به تفکیک در ادامه تحقیق آورده شده است. دوغاب تزریق شامل مخلوط آب به سیمان نسبت(W/C=0.5) بطور معمول و در صورت لزوم در فضاهای باز تا W/C=0.4 برای مقاطع پرخورند و یا در محدوده های سنگی و کم خورندW/C=0.7 (که به ندرت بوده) بکار رفته است. افزودنیهای این مخلوط، عمدتاً شامل ۱٪ وزنی سیمان ماده افزودنی روانساز رئوبیلد۱۱۰۰و درصورت نیاز هم کمتر از ۱٪ وزنی سیمان از مواد زودگیر سیلیکات سدیم می باشد. با توجه به تزریق زیر سطح آب و اینکه مخزن همیشه دارای آب بود، چندین طرح اختلاط نسبت به درصد استفاده از پودر Anti-Washout امتحان شد و در نهایت با توجه به نتایج حاصله از مجموع نتایج آزمایشات دوغاب، ۵٪ از پودر ضد شستشوی دوغاب (Anti-Washout) که دوغاب تیکسوتروپ تولید می نمود، مورد مصرف قرار گرفت و در مقابل جریان آب از هر نوع شستشوی دوغاب جلوگیری شد. طرح اختلاط برای گمانه های سقفی مثلثی در سایتهای مختلف سد تنگاب مشابه همین طرح است. در جدول شماره ۲ مشخصات و خورند گمانه های کنترلی که بعد از زوج های اولیه اجرا شد، در منطقه ای که بیشترین آبگذری را شامل می شود، یعنی گالری G-5 آورده شده است. همانطور که مشاهده می کنید خورند این گمانه های کنترلی بسیار بالاست(در حد گمانه های اولیه). در تزریقات گمانه های اولیه و کنترلی اولیه از پودر ضد شستشو استفاده نشده است.

جدول شماره ۲- خلاصه مشخصات گمانه های کنترلی های اولیه در گالری G-5

شماره گمانه	عمق گمانه	سیمان مصرفی kg	Take kg/m	ملاحظات
CHU-1	25	4293	171.7	ابتدای پنجره آبرفتی سوی گالری G-35
CHU-2	28	8553	305.4	میانه پنجره آبرفتی
CHU-3	35	22126	632.17	میانه پنجره آبرفتی
CHU-4	30	4622	154.06	انتهای پنجره آبرفتی سوی گالری G-45
مجموع	118	39594	335	محدوده میانی پنجره آبرفتی نیاز به ترمیم دارد .

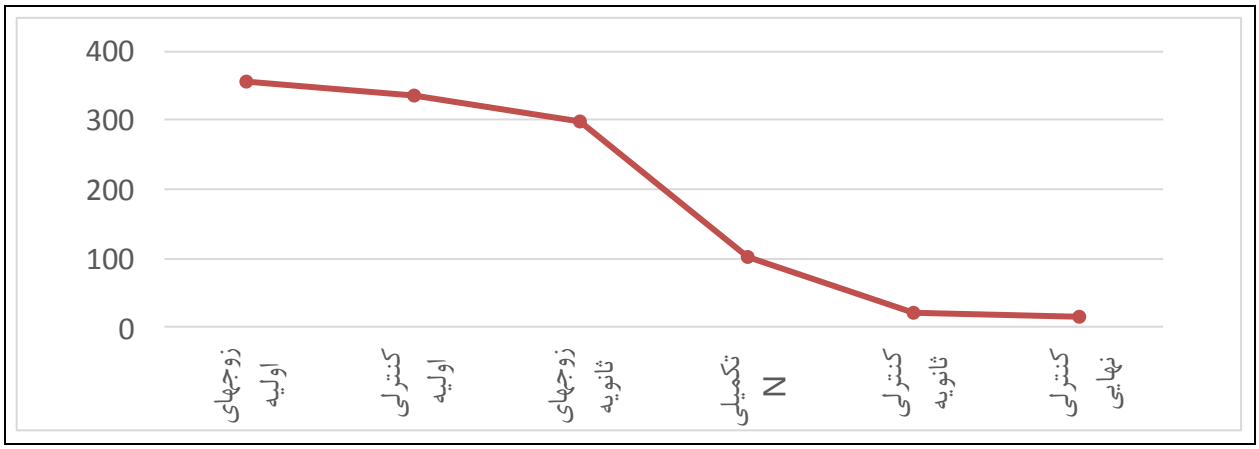
در جدول شماره ۳ خلاصه ای از عملیاتی که در پنجره آبرفتی گالری G-5 اتفاق افتاده و مقایسه بین آنها آورده شده است. در خورند زوج گمانه های اولیه و زوجهای ثانویه کاهش محسوسی مشاهده شده است.تزریق در زیر سطح آب و فشار آب مخزن و اینکه تزریقات تاثیر در خورند سری بعدی گمانه ها نداشته است (دلیل استفاده از عبارت تاثیری نداشته است برای روندTake گمانه های سری های مختلف که کاهشی نبوده و قابل اغماض است). در سری تکمیلی از پودر AWA-100 استفاده شد. علاوه بر کاهش هزینه هاو پس از تزریق گمانه های کنترلی تکمیلی N در نقاط مختلف و اینکه تمامی گمانه ها به دیوار آببند (نقطه ضعف پرده و با سیمان خوری بالا)نفوذ کردند، لذا مشاهده می شود که کاهش محسوسی داشته اند. در کنترلی های نهایی به عدد ۱۶ کیلوگرم درهر متر رسیده ایم که عدد خیلی کوچکی است و حدود ۱۲ کیلوگرم آن صرف پر کردن مقاطع، نشتی ها و یا پرت پمپ تزریق و مسیر بوده است. از زوج های ثانویه به سری تکمیلی N از پودر AWA-100 استفاده شده است.

www.SID.ir

جدول شماره ۳- خلاصه جمع بندی عملیات حفاری و تزریق در گمانه های سقفی مثلثی گالری G-5

نوع گمانه	تعداد گمانه	متراژ حفاری	سیمان مصرفی kg	Take kg/m	ملاحظات
زوجهای اولیه	120	3365	1201188	357	سیمان خوری در بخش آبرفتی بیشتر از سنگی
کنترلی اولیه	4	118	39594	335	محدوده میانی پنجره آبرفتی آبگذر می باشد
زوجهای ثانویه	78	1954	581500	298	سیمان خوری در پی سنگ آهکی
سری تکمیلی N	40	1040	105040	101	
کنترلی ثانویه	12	366	7700	21	توپر و در مقاطع ۴ متری تست لوژان گرفته شد
کنترلی نهایی	2	72	1200	16	

در شکل شماره ۸ توسط نمودار خطی مقایسه ای بین سری های مختلف گمانه های اجرا شده در گالری G-5 انجام شده است. کاهش خورند میانگین از سری زوجهای ثانویه به تکمیلی N کاملا مشخص است.



شکل شماره ۸ - مقایسه خورند در گمانه های سقفی مثلثی گالری G-5

در جدول شماره۴زوج گمانه های ثانویه و سری تکمیلی از پودر ضد شستشوی دوغاب (Anti-Wash out) استفاده شده که اثربخشی خورند آنها نسبت به سری زوجهای اولیه کاملا مشهود است. در این گالری کمترین میزان آبگذری از پنجره آبرفتی را داشتیم (نسبت به گالری های G-35 و G-5).

www.SID.ir

جدول شماره ۴- خلاصه مشخصات عملیات حفاری و تزریق در گمانه های سقفی مثلثی گالری G-45

نوع گمانه	تعداد گمانه	متراژ حفاری	سیمان مصرفی kg	Take-kg/m	ملاحظات
زوجهای اولیه	30*2	2700	490000	181.5	
زوجهای ثانویه	30*2	2670	160000	59.9	
سری تکمیلیN	19*2	2465	60560	24.6	
مجموع	79*2	7835	710560	***	

گالری G-35 به دو قسمت بنام G35-A و G35-B تقسیم شده و در محدوده چهارگانه که برای این مقاله تعریف شده هر دو در محدوده D واقع شده اند. طبق مشاهدات پیزومترها، آبگذری هر دو قسمت مذکور تقریبا یکسان است که همین موضوع در خورند گمانه های هر دو قسمت نیز تقریبا مشاهده می شود. در جدول شماره ۵ در سری زوجهای دوم و تکمیلی N از پودر Anti-Wash out استفاده شد و در نهایت آببندی مناسب حاصل گردید.

جدول شماره ۵- خلاصه مشخصات گمانه های سقفی مثلثی در گالری G35-A

نوع گمانه	تعداد گمانه	متراژ حفاری	سیمان مصرفی kg	Take kg/m	ملاحظات
زوجهای اول	12*2	840	237840	238	
زوجهای دوم	12*2	860	110940	129	
سری تکمیلی N	8*2	560	16240	29	آببندی مناسب

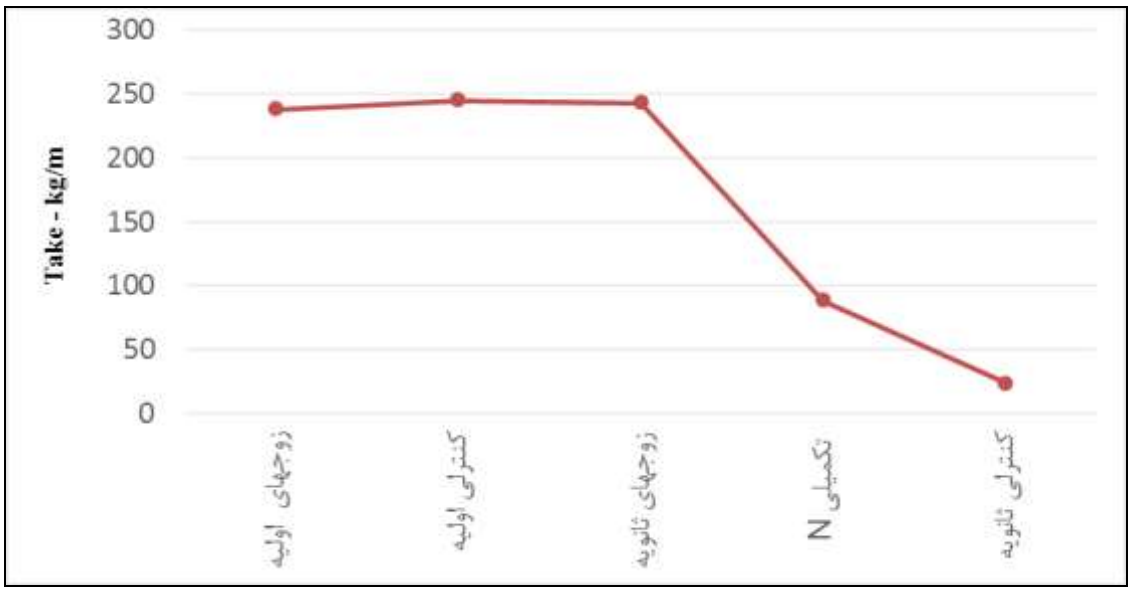
گالری G35-B طولانی تر از G35-A می باشد و به همین علت جهت بررسی دقیق تر در این تحقیق به دو قسمت انتها و ابتدا تقسیم بندی شدند که خلاصه ای از مشخصات و نتایج این تقسیم بندی، در جدولهای شماره ۶ و ۷ آورده شده است.

جدول شماره ۶- خلاصه مشخصات گمانه های ترمیمی سقفی مثلثی در ابتدای گالری G35-B

نوع گمانه	تعداد گمانه	متراژ حفاری	سیمان مصرفی kg	Take kg/m	ملاحظات
زوجهای اول	20*2	840	237840	238	
زوجهای دوم	20*2	860	210940	245	
سری تکمیلی N	10*2	560	136240	243	
کنترلی اولیه	4	120	10560	88	طرح اختلاط با پودرضد شستشو
کنترلی نهایی	6	180	4140	23	

www.SID.ir

درشکل شماره ۹ با نمودارخطی مقایسه ای بین میزان سیمان خوری درگمانه های سری مختلف درابتدای گالری G35-B مشاهده می شود. در زوجهای اولیه، کنترلی های اولیه و زوجهای ثانویه هر چند با فاصله های زمانی مختلف تزریقات انجام شده (تراز سطح آب دریاچه متفاوت بوده و فاصله زمانی سری ها حداقل ۵۰ روز بوده است) ولی تاثیری در سیمان خوری نداشته و دوغاب تزریق شده شسته شده است. در سری تکمیلی N و کنترلی ثانویه از پودر Anti-Wash out استفاده شده که این استفاده و تغییر رویه کاملا مشخص است.



شکل شماره ۹ – مقایسه خورند در گمانه های سقفی مثلثی در ابتدای گالری G35-B

خلاصه ای از مشخصات و سیمان خوری در گمانه های سقفی مثلثی انتهای گالری G35-B در جدول شماره ۷ آورده شده است. استفاده از پودر Anti-Wash out در زوجهای اولیه علیرغم اینکه آبگذری از این منطقه نسبت به ابتدای گالری G35-B حدود ۴۵ درصد کمتر بود ولی خورند ۸۰ درصد کاهش یافته است. البته طرح اختلاط با پودر ۵٪ و ۷٪ (نسبت به وزن سیمان) در این قسمت استفاده شد. در مجموع نتایج آزمایشات طرح اختلاط با دوغاب ۵٪ بسیار رضایت بخش تر از طرح دوغاب با پودر ۷٪ بود.

www.SID.ir

جدول شماره ۷- خلاصه مشخصات گمانه های سقفی مثلثی در انتهای گالری G35-B

نوع گمانه	تعداد گمانه	متراژ حفاری	سیمان مصرفی kg	Take kg/m	ملاحظات
زوجهای اول	20*2	1600	76800	48	طرح اختلاط با پودرضد شستشو
زوجهای دوم	10*2	800	14400	18	

۶- نتیجه‌گیری

۱- آزمایشات نفوذپذیری قبل از تزریق انجام می شود. بعضی اوقات مقادیر نفوذپذیری بزرگ ولی میزان جذب سیمان کم است. تفسیر زمین شناسی این وضعیت بیان می کند که تراوایی به دلیل مسیرهای آب خیلی زیادو خیلی ریزاست که در واقع می توانند آب را جذب ولی به سختی قادر به عبور دادن سیمان هستند. وضعیت معکوس مقادیر کم نفوذپذیری و جذب زیاد سیمان تنها در چند مورد کم مشاهده گردید. تقریبا تمامی گمانه ها موقع حفاری ریزش آب داشتند و مقادیر خروجی آنها تشکیل دهنده یک رابطه مشخص و متناسب با مقادیر آزمایشات نفوذپذیری است. باید درصد استفاده از پودر AWA-100 در دوغاب مصرفی گمانه های آبدار تزریق شده و کنترل کامل روی آنها انجام شود و درصد آن در طرح اختلاط دوغاب بر اساس نوع درزه ها و فشار جریان آب مشخص شود.

۲- درروند اجرای عملیات تزریق در استفاده از پودر ضد شستشوی دوغاب ملاحظه گردید که خورند گمانه های سری اولیه که در طرح اختلاط آنها از این پودر AWA- 100 استفاده شده، کاهش محسوسی نسبت به سری بعدی خود داشته است. این روند در کلیه گمانه های آبدار گالری های مختلف، کاملا مشهود بود.

۳- آزمایشات نفوذپذیری (لوژان) در گمانه هایی که در مرحله قبلی تزریق در آنها از پودر ضد شستشوی دوغاب AWA- 100 استفاده کرده اند، روند به شدت کاهشی داشته است.

۴- زمانی که پودر AWA- 100 به دوغاب اضافه شود، یک نوع دوغاب پایدار تشکیل داده و در برابر جریان آب از هر نوع شستشوی دوغاب جلوگیری می کند که اثر آن در گمانه هایی که سری بعدی حفاری و تزریق می شوند، مشخص است.

۵- نتایج، بیانگر عملکرد موثر و مثبت پرده آببند ایجاد شده توسط گمانه های سقفی مثلثی حفاری شده و طرح اختلاط مناسب و استفاده از پودر ضد شستشوی دوغاب(AWA- 100) در گمانه های آبدار می باشد.

۶- خورند در گمانه های سقفی مثلثی سری اول در گالری G-5 حدود ۳۵۷ کیلوگرم در هرمتر بود. در گمانه های کنترلی اولیه به ۳۳۵ ، در زوجهای ثانویه به ۲۹۸ و در سری تکمیلی N به ۱۰۱ رسید. این کاهش ناگهانی بدلیل استفاده از پودر ضد شستشوی دوغاب می باشد. خورند در گمانه های کنترلی ثانویه و کنترلی نهایی به ترتیب به ۲۱ و ۱۶ کیلوگرم در هر متر رسید. شناخت لایه بندی سنگ و طرح اختلاط دقیق (البته آزمون وخطا برای رسیدن به طرح اختلاط تزریق مناسب و درصد بهینه AWA-100 در جاهایی که ریزش آب شدید از گمانه های سقفی داشتیم، زمان بر بود ولی در نهایت بسیار موفقیت آمیز

www.SID.ir

و الگویی برای علاج بخشی چندین پروژه بزرگ ملی نظیر سد رودبال داراب ، سد گیوی خلخال که مخزن این سدها آب دارند و می بایست ، کار علاج بخشی بدون خالی کردن مخزن انجام می شد) به این مهم انجامید.

۷- استفاده از پودر ضد شستشوی دوغاب با توجه به صرفه جویی در هزینه و زمان (با توجه به رسیدن به آببندی مناسب در زمان کمتر و مصرف سیمان کمتر و سایر موارد افزودنی به طرح دوغاب) بسیار موفقیت آمیز و به صرفه بوده است. البته قیمت پودر AWA-100 نسبت به سایر افزودنی های مهمول به دوغاب در طرحهای اختلاط شامل سیلیکات سدیم، روان کننده ها، ژل میکروسیلیس قابل ملاحظه است ولی از آنجائیکه باعث کاهش مصرف سیمان، کاهش عملیات پرهزینه حفاری و از همه مهمتر صرفه زمان و کیفیت کار می شود، بسیار مناسب است.

۸- در طی آزمایشات مشاهده شد که فوق روان کننده باعث جدایش بیشتری در مورد دانه های درشت به نسبت دانه های ریز سیمان می گردد، به طوری که هنگام استفاده از فوق روان کننده دانه های درشت سیمان ته نشین شده و دانه های ریز سیمان همچنان معلق می مانند. بنابراین به نظر می رسد استفاده از فوق روان کننده در مورد سیمان های ریزدانه در مقایسه با سیمان های درشت دانه سودمندتر است. این موضوع با توجه به سیمان معمولی مورد استفاده در این پروژه تحقیقاتی باعث شد که درصد فوق روان کننده در حدود یک درصد نگه داشته شود و بدلیل سهولت اجرا و تاثیر بهتر، به همراه پودر ضد شستشو در محل سانترال دوغاب سازی به مخلوط اضافه شوده و سپس به محل گمانه ارسال می گردد.

۹- آزمایشات نشان داد با سدیم سیلیکات می توان زمان گیرش دوغاب ها را کنترل و در حد گیرش آنی کاهش داد. سیلیکات به میزان کمتر از ۱٪ استفاده شد و برای پودر ضد شستشو AWA-100 با درصدهای متفاوت، آزمایشات مختلف انجام شد.

مراجع

[1] Ewert ,F .K. Rock Grouting with emphasis on dam site , Berlin.1995.

[2] مهندسین مشاور آب نیرو، طرح سد مخزنی تنگاب فیروزآباد، مطالعات مرحله یکم،۱۳۷۱.

[3] کریمی،ح. بررسی هیدروژئولوژیک و هیدروشیمیایی چشمه ها و پیزومترهای تاقدیس فیروزآباد، پایان نامه دانشگاه شیراز. بخش زمین شناسی،۱۳۷۶.

[4] سازمان آب منطقه ای فارس ، گزارش عملیات اجرایی ترمیمی تنگاب فیروزآباد،۱۳۹۶.

[5] کوشامنش.م.رسولپور.ک. بررسی فرارآب در مخزن از پنجره های آبرفتی، چهارمین کنفرانس ملی ژئوتکنیک ایران،۱۳۹۷.

www.SID.ir