نشریه سد و نیروگاه برقابی ایران
سال اول / شماره اول

Iranian Dam and Hydropower
First Year / No. 1

بهبود قابلیت نفوذ و کاهش آب‌اندازی دوغاب سیمانی با استفاده از پودر میکروسیلیس؛ مطالعه موردی: پرده آب‌بند سد گتوند علیا

حسین چهاردولی*

چکیده

افزایش پایداری و کاهش آب‌اندازی دوغاب سیمانی در زمان تزریق به‌خصوص در مقاطعی که سنگ دارای ریزتخلخل‌هایی است که پروسه تزریق را طولانی می‌کند، از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌منظور کاهش اثر آب‌اندازی دوغاب سیمانی و افزایش قابلیت نفوذ دوغاب در ریزتخلخل‌های موجود در سازندهای سد گتوند، استفاده از «پودر میکروسیلیس» در طرح اختلاط دوغاب، مطرح شده است که نتایج طرح‌های آزمایشگاهی، گویای اثربخشی مؤثر پودر میکروسیلیس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی

سد گتوند، پرده آب‌بند، دوغاب سیمانی، میکروسیلیس، آب‌اندازی.

* شرکت مهندسی سپاسد کارگاه سد گتوند علیا. H.chahardoli@gmail.com

مقدمه

سد و نیروگاه آبی گتوند علیا بر روی رودخانه کارون و در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان شوشتر و در نزدیکی شهر گتوند واقع شده است. این سد، آخرین سد بلندِ در حال احداث بر روی رودخانه کارون می‌باشد که با ارتفاع ۱۸۰متر بزرگترین سد سنگریزه‌ای کشور است. سیستم آب‌بندی آن، ترکیبی از پرده تزریق و دیوار آب‌بند است.

تکیه‌گاه‌های سد گتوند علیا از کنگلومرای بختیاری در بالا و سازند آغاجاری در زیر آن تشکیل شده است. سازند بختیاری موجود در تکیه گاه‌ها باتوجه به طبیعت ناپیوستگی‌ها و تخلخل‌های بافت سنگ، از نفوذپذیری قابل توجهی برخوردار است و آب‌بندی آن نیازمند انجام تزریقات سیمانی می‌باشد. سازند آغاجاری با سیستم درزه و شکاف موجود و طبیعت ریزدانه بودن سنگ‌های تشکیل‌دهنده آن در مجموع دارای نفوذپذیری کمتری است. باتوجه به این موارد، استفاده از سیمان ریزدانه با بلین بالای $۶۰۰۰ cm^2/gr$ جهت احداث پرده آب‌بند در این سد درنظر گرفته شده است.

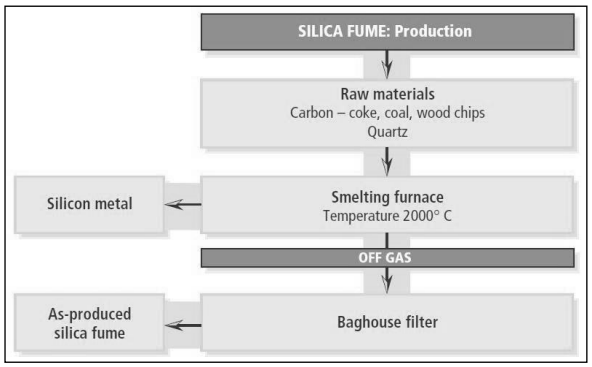
به‌منظور بهبود مشخصات دوغاب مورد استفاده در تزریقات آب‌بندی سد گتوند علیا و ایجاد شرایط مناسب در تزریق ریزتخلخل‌های تشکیلات ساخت‌گاه سد، راهکارهای مختلفی ارائه شده است که استفاده از سیمان ریزدانه با بلین بالای $۶۰۰۰ cm^2/gr$ و بکارگیری میکسرهای دوربالا (rpm≈3000) در عملیات ساخت دوغاب از آن جمله است. به‌منظور بهبود کیفیت دوغاب ساخته شده از مواد افزودنی مناسب استفاده می‌شود که در طرح سد گتوند علیا از «کنپلاست SP430» استفاده می‌شود.

پایداری دوغاب طی زمان تزریق و کاهش آب‌اندازی آن به‌خصوص در مقاطعی که سنگ، دارای ریزتخلخل‌هایی است که پروسه تزریق را طولانی می‌کند، از اهمیت به سزایی برخوردار است که در این مورد می‌توان از مواد افزودنی مناسب بهره جست. یکی از مواد افزودنی رایج «بنتونیت» است که در کاهش آب‌اندازی دوغاب سیمانی بکار می‌رود؛ اما به‌علت اثرات منفی آن که شامل کاهش نسبی مقاومت، کاهش قدرت نفوذ دوغاب و احتمال لخته شدن و جدایش بنتونیت و تشکیل ریزتخلخل‌های ثانویه می‌باشد، استفاده از بنتونیت مجاز شناخته نشد. به‌منظور کاهش اثر آب‌اندازی دوغاب و افزایش قابلیت نفوذ در ریزتخلخل‌های موجود در سازندهای سد گتوند، پیشنهاد استفاده از «پودر میکروسیلیس» در طرح اختلاط دوغاب مطرح شد. میکروسیلیس یکی از افزودنی‌های معمول در بتن است که با توجه به خواص فیزیکی آن برای پایدارسازی دوغاب سیمانی می‌تواند افزودنی مناسبی باشد. برای بررسی موضوع، طرح‌های آزمایشی با نسبت‌های مختلف در آزمایشگاه تهیه شده است. در ادامه پس از معرفی پودر میکروسیلیس، نتایج این طرح‌ها شرح داده می‌شود.

مشخصات پودر میکروسیلیس

میکروسیلیس از موادی است که در دهه اخیر استفاده از آن در بتن به‌طور جدی مورد توجه قرار گرفت. به‌دلیل خصوصیات بارز پوزولانی و گیرایشی میکروسیلیس، استفاده از آن جهت بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن رو به افزایش است. میکروسیلیس یا دوده سیلیسی (شکل۱۱) یک محصول فرعی حاصل از کوره‌های قوس الکتریکی در جریان تولید آلیاژهای فروسیلیس است. این ماده با داشتن بیش از ۹۰ درصد سیلیس با حالت غیر کریستالی و به‌شکل ذرات بی‌نهایت ریز با قطر متوسط ۱ میکرومتر است (ACI116R-00). وزن مخصوص میکرو سیلیس در حدود $۲,۲۲ gr/cm$ بوده و بلین آن بین ۱۵۰۰۰ تا cm^2/gr ۳۰۰۰۰ است. به‌علت سطح مخصوص بالای میکروسیلیس ذرات آن تمایل به جذب حجم بالایی از آب داشته و پیوندهای سطحی بین آب و میکروسیلیس به مقدار زیادی تشکیل می‌شود.

هم‌زمان با آغاز واکنش شیمیایی سیمان پورتلند، یون هیدروکسید کلسیم نیز آزاد می‌شود که میکروسیلیس به این یون واکنش داده و هیدرات سیلیکات کلسیم تولید می‌کند که این ترکیب باعث افزایش مقاومت می‌شود. به‌طور کلی مزایای استفاده از میکروسیلیس در بتن عبارتند از: افزایش چشمگیر مقاومت‌های مکانیکی بتن؛ کاهش نفوذپذیری بتن؛ کاهش تحرک یون کلر و جلوگیری از خوردگی آرماتور در بتن‌های مسلح.



شکل (۱): طرح شماتیک تولید میکروسیلیس (Terence C. Holland, APRIL2005)

طرح‌های آزمایشگاهی

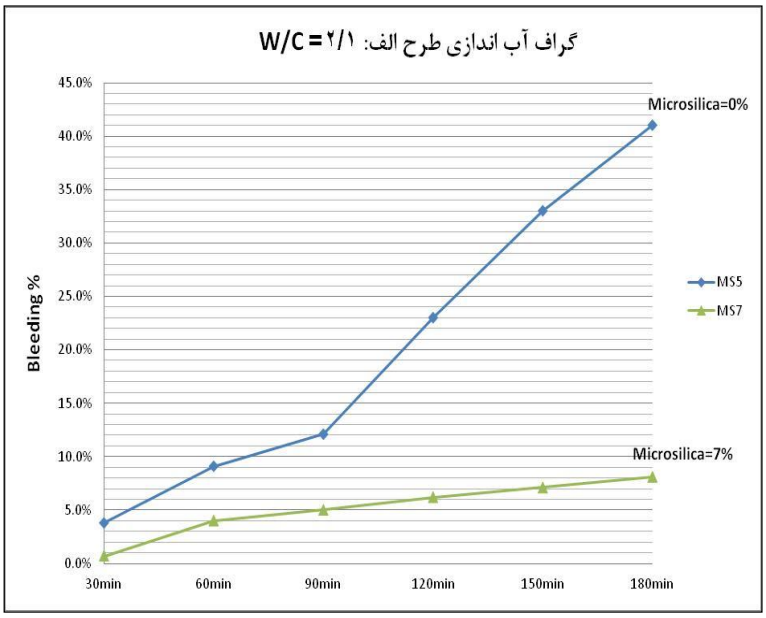
طرح الف. نسبت آب به سیمان ($W/C = 1/2$) 2

در این طرح با نسبت ۲/۱ سه طرح MS5,MS6,MS7 ساخته شد که طرح MS5 نمونه شاهد بوده و در آن از پودر میکروسیلیس استفاده نشده است. جدول (۱) مشخصات طرح الف را نشان می‌دهد.

نام طرح	W/C	بلین سیمان	آب	سیمان	افزودنی(Conplast SP۴۳۰)		میکروسیلیس		دما C°	گیرش min		مقاومت Mpa
			مقدار(kg)	مقدار(kg)	درصد٪	مقدار(kg)	درصد٪	مقدار(kg)	دمای دوغاب	اولیه	ثانویه	۷روزه
MS5	۲/۱	۶۴۵۰	۶۰	۳۰	۰.۵۰٪	۰.۱۵	-	-	۲۲	۶۴۵	۱۱۳۰	۱.۴۵
MS6	۲/۱	۶۴۵۰	۶۰	۳۰	۰.۵۰٪	۰.۱۵	۳	۰.۹	۲۳	۹۸۰	۱۴۲۰	۱.۳۹
MS7	۲/۱	۶۲۰۰	۶۰	۳۰	۰.۵۰٪	۰.۱۵	۷	۲.۱	۲۴	۱۰۲۰	۱۳۷۰	۱.۱۱

جدول (۱): مشخصات و نتایج آزمایشات طرح الف

همان طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود افزودن ۷٪ میکروسیلیس به ترکیب دوغاب، آب‌اندازی را به مقدار زیادی کاهش داده است.



شکل (۲):گراف آب‌اندازی طرح الف

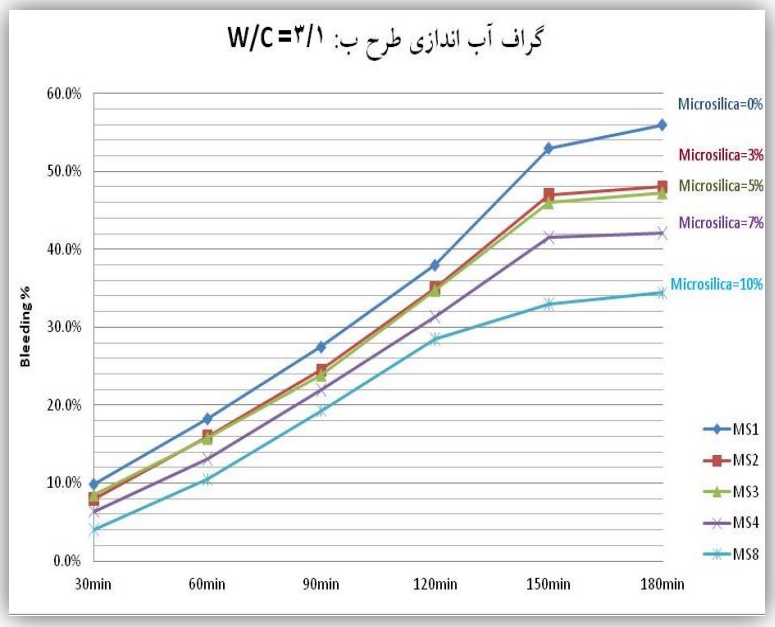
طرح ب. نسبت آب به سیمان ($W/C = 1/3$) 3

در این طرح با نسبت ۳/۱ پنج طرح MS1,MS2,MS3,MS4,MS8 ساخته شد که طرح MS1 نمونه شاهد بوده و در آن از پودر میکروسیلیس استفاده نشد. جدول (۲) مشخصات و نتیجه آزمایشات طرح (ب) را نشان می‌دهد.

نام طرح	W/C	بلین سیمان	آب	سیمان	افزودنی(Conplast SP۴۳۰)		میکروسیلیس		دما C°	گیرش min		مقاومت Mpa
			مقدار(kg)	مقدار(kg)	درصد٪	مقدار(kg)	درصد٪	مقدار(kg)	دمای دوغاب	اولیه	ثانویه	۷روزه
MS1	۳/۱	۶۳۰۰	۶۰	۲۰	۰.۵۰٪	۰.۱	-	-	۲۳.۵	-	۱۲۴۵	۱.۵۱
MS2	۳/۱	۶۳۰۰	۶۰	۲۰	۰.۵۰٪	۰.۱	۳	۰.۶	-	-	۱۴۱۰	۱.۵۶
MS3	۳/۱	۶۳۰۰	۶۰	۲۰	۰.۵۰٪	۰.۱	۵	۱	۲۴.۹	-	۱۱۹۰	۱.۲۹
MS4	۳/۱	۶۳۰۰	۶۰	۲۰	۰.۵۰٪	۰.۱	۷	۱.۴	۲۵	-	۱۰۹۰	۱.۱۵
MS8	۳/۱	۶۴۵۰	۶۰	۲۰	۰.۵۰٪	۰.۱	۱۰	۲	۲۴	۷۳۵	۱۱۲۵	-

جدول (۲): مشخصات و نتایج آزمایشات طرح (ب)

در شکل (۳) نیز مشاهده می‌شود که با افزایش میزان میکروسیلیس به ترکیب دوغاب، میزان آب‌اندازی کاهش می‌یابد .



شکل (۳): گراف آب‌اندازی طرح ب

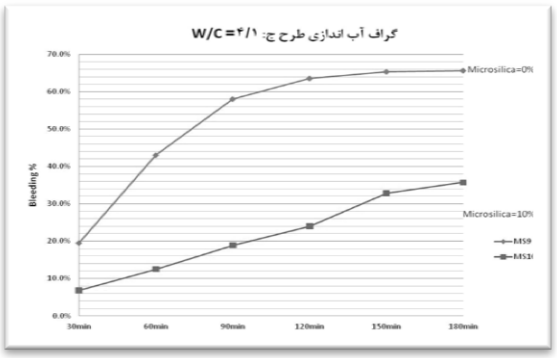
طرح ج. نسبت آب به سیمان (W/C=4/1) 4

در این طرح با نسبت ۴/۱ دو طرح MS9,MS10 ساخته شد که طرح MS9 نمونه شاهد بوده و در آن از پودر میکرو سیلیس استفاده نشد. جدول (۳) مشخصات و نتیجه آزمایشات طرح (ج) را نشان می‌دهد.

نام طرح	W/C	بلین سیمان	آب	سیمان	افزودنی(Conplast SP۴۳۰)		میکروسیلیس		دما C°	گیرش min		مقاومت Mpa
			مقدار(kg)	مقدار(kg)	درصد٪	مقدار(kg)	درصد٪	مقدار(kg)	دمای دوغاب	اولیه	ثانویه	۷روزه
MS9	۴/۱	۶۳۰۰	۶۰	۱۵	۰.۵۰٪	۰.۰۷۵	-	-	۲۳.۷	-	-	-
MS10	۴/۱	۶۳۰۰	۶۰	۱۵	۰.۵۰٪	۰.۰۷۵	۱۰	۱.۵	۲۳.۷	۱۲۴۰	۲۰۶۰	۱.۱۶

جدول (۳): مشخصات و نتایج آزمایشات طرح (ج)

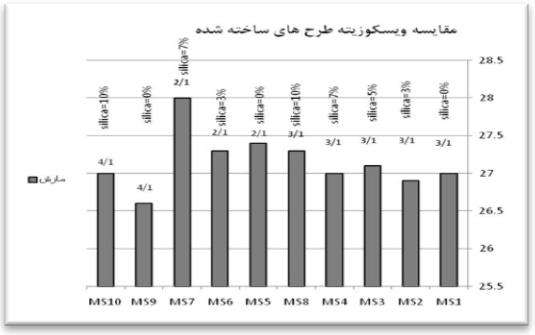
شکل (۴) نیز بیان‌گر کاهش زیاد آب‌اندازی به‌علت



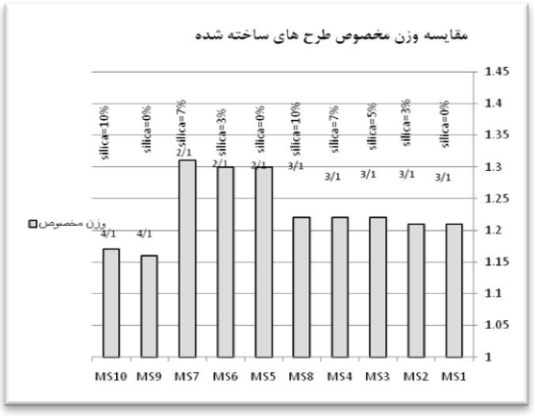
شکل (۴): گراف آب‌اندازی طرح ج

مقایسه لزجت (ویسکوزیته) و وزن مخصوص طرح‌های آزمایشی

با توجه به شکل‌های (۵) و (۶) مشاهده می‌شود که استفاده از پودر میکروسیلیس اثر محسوسی بر روی لزجت و وزن مخصوص دوغاب ندارد اما آن‌گونه که مشاهده شد، میزان آب‌اندازی دوغاب را به‌طور قابل ملاحظه کاهش می‌دهد.



شکل (۵): مقایسه لزجت (ویسکوزیته) طرح‌های ساخته‌شده



شکل (۶): مقایسه وزن مخصوص طرح‌های ساخته شده

افزایش درصد میکروسیلیس است.

سیمانی ندارد و با کاهش آب‌اندازی، زمینه را جهت پایداری بیشتر دوغاب هنگام تزریق سنگ‌های با تخلخل ریز فراهم می‌کند؛ لذا در پروژه‌های تزریق در این نوع سنگ‌ها می‌توان از پودر میکروسیلیس به‌عنوان یک افزودنی استفاده نمود که این افزودنی بلدینگ را کاهش خواهد داد؛ اما اثری منفی بر خواص دیگر دوغاب ندارد.

نتیجه‌گیری

افزودن میکروسیلیس تاثیر منفی بر خواص دوغاب سیمانی نداشته و با کاهش آب اندازی زمینه را جهت پایداری بیشتر دوغاب هنگام تزریق سنگهای با تخلخل ریز را فراهم می نماید؛ لذا در پروژه های تزریق در این نوع سنگ ها از پودر میکروسیلیس، می توان به عنوان یک افزودنی که بلدینگ را کاهش خواهد داد اما اثری منفی بر خواص دیگر دوغاب ندارد، استفاده نمود.

سپاسگزاری

در پایان از مدیران محترم شرکت مهندسی سپاسد در پروژه سد و نیروگاه گتوند علیا که با فراهم نمودن شرایط و امکانات آزمایشگاهی، زمینه را جهت آزمایشات این طرح فراهم نمودن، سپاسگزاری می‌کنم. همچنین از پرسنل آزمایشگاه کارگاه سد گتوند که مرا در این زمینه یاری نمودند، تشکر می‌گردد.

مراجع

1. ACI 116R-00, "Cement and Concrete Terminology"
2. ACI 234R-96, "Guide for the Use of silica Fume in Concrete", Reapproved 2000
3. ASTM C1240, "Standard Specification for Use of Silica Fume as a Mineral Admixture"
4. Terence C. Holland. "Silica Fume Users Manual ", US Department of Transportation, APRIL2005