Archive of SID

گزارش فنی

تخمین طرح اختلاط بتن پلاستیک مناسب دیوارهای آب بند جهت کنترل تراوش آب از زیر پی سدهای خاکی

اکبر پاشازاد[۱] محمد کیاخسروی[۲] و وحید گنجیان[۳]

چکیده: استفاده از مصالح بتنی در دیوارهای آب بند سدها با توجه به نفوذپذیری بسیار اندک آنها و تحمل گرادیان هیدرولیکی بالای ناشی از زهاب تحت الارضی، از دیرباز مد نظر بوده است. استفاده از بتن معمولی با مدول الاستیسیته بالا نسبت به مصالح محیط اطراف، مشکلاتی از جمله شکننده بودن دیوار آب بند تحت تاثیر تنش های دینامیکی را در پی خواهد داشت. جهت حل این مشکل افزودن درصد معینی از خاک رس (بنتونیت) به مصالح بتن پلاستیک باعث کاهش سختی بتن و نیز کاهش ضریب ارتجاعی بتن و افزایش شکل پذیری بتن می‌شود. افزودن بنتونیت (خاک رس، گل حفاری) باعث کاهش احتمال بوجود آمدن شکست هیدرولیکی و ترک خوردگی می‌شود.

در این مقاله اجزای تشکیل دهنده بتن پلاستیک و پارامترهای موثر در خواص و روش های طرح اختلاط آن، مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و بر اساس نتایج آزمایشهای جمع آوری شده بر روی نمونه های بتن پلاستیک دارای طرح های اختلاط متفاوت، نمودارهایی جهت بدست آوردن طرح اختلاط بتن پلاستیک ایده آل با مشخصات مختلف ارائه شده است که در نهایت منجر به تعیین یک رابطه کلیدی جهت تخمین طرح اختلاط بتن پلاستیک مناسب دیوارهای آب بند جهت کنترل تراوش آب از زیر پی سدهای خاکی گردیده است.حال آنکه اغلب در حال حاضر بدون استفاده از چنین روابطی تخمین طرح اختلاط بتن پلاستیک مناسب دیوارهای آب بند جهت کنترل تراوش آب از زیر پی سدهای خاکی صرفا" به کمک سعی و خطا و با صرف وقت و هزینه زیادی صورت می‌گیرد.

کلید واژه: بتن پلاستیک، نفوذپذیری، تغییر شکل پذیری، مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته.

۱- مقدمه

از آنجائی که سدها، بندرت روی زمین های کاملا" ناتراوا ساخته می‌شوند، لذا در اغلب موارد، جریان آب زیرزمینی از زیر سد وجود دارد. یکی از بزرگترین خطرات سد ها پس از آبگیری، تراوش از زیر پی سد و افزایش گرادیان هیدرولیکی است که باعث بروز خطراتی نظیر فرسایش پی می‌شود.به منظور کنترل تراوش و مهار زهاب در زیر سدها روش هایی مانند قطع شبکه جریان زهاب و یا کاهش دادن آن با استفاده از دیوار آب بند کامل و یا کاهش مقدار زهاب با ایجاد یک پرده آب بند نیمه نفوذی قائم مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در میان روش های آب بندی باید به روش هایی نظیر دیوار آب بند، پرده تزریق، استفاده از هسته با نفوذپذیری بسیار کم در بدنه سد، استفاده از رویه آب بند در سطح بالادست سد، استفاده از شمع ها و سپرها اشاره کرد که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند و در شرایط بخصوص مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲].

دیوار آب بند به عنوان المان نفوذناپذیر در مواردی نظیرآب بندی پی سد های خاکی برای کنترل تراوش از پی ، آب بندی محوطه خاک برداری زیر تراز آب زیرزمینی در پروژه های بزرگ از قبیل سدهای خاکی و بتنی و نیروگاه ها، احداث پارکینگ طبقاتی زیرزمینی، آب‌بندی محدوده دفن زباله ها، احداث پی تاسیسات و سازه‌های ساحلی، دیوارهای نگهدارنده و پایدارسازی شیب ها (با استفاده از شبکه آرماتور و انکراژها)، سدهای زیر زمینی به منظور بالا نگه داشتن تراز آب زیر زمینی در مناطق

آبرفتی و تراوا و جلوگیری از اختلاط آب شیرین و شور در سواحل مورد استفاده قرار می‌گیرد [٤].

دیوار آب بند دیواری است با نفوذپذیری پایین که در زیر پی سد ساخته می‌شود و تا یک لایه

نفوذ ناپذیر و حتی در داخل آن لایه ادامه می‌یابد تا بتواند جایگزین مصالح نامناسب بستر نفوذپذیر شده و از جریان زهاب زیر سد جلوگیری نماید. مصالح جایگزین شده در روش دیوار آب بند با توجه به جنس لایه ها مخلوطی از شن و ماسه، بنتونیت، سیمان و آب است که به نام بتن پلاستیک شناخته می‌شود. در جدول شماره ۱ مشخصات برخی دیوارهای آب بند اجرا شده آمده است.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی geocivil pasha@yahoo.com
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی mkia_kh@yahoo.com
۳. دانشجوی دکتری مکانیک خاک و پی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران navidganjian@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱-مشخصات برخی دیوارهای آب بند اجرا شده[۴،۵،۸،۲،۳]

نام سد	طول دیوار آب بند (m)	عمق دیوار آب بند (m)	ضخامت دیوار آب بند (cm)
کرخه	2940	18-120	80-120
استور	-	50	100
Convento Viejo	540	55	80
قوریچای اردبیل	-	9	100

در جدول ۲ نمونه هایی از طرح های اختلاط بتن پلاستیک مورد استفاده در سدهای گوناگون واز جمله بزرگترین سد خاکی کشور(سد کرخه)، ارائه شده است که در ترسیم گراف های ارائه شده در این تحقیق از این اطلاعات بهره گرفته شد.

۲- عوامل موثر در خواص بتن پلاستیک

بتن پلاستیک از شن، ماسه، بنتونیت، سیمان وآب تشکیل شده است. این بتن از آن جهت پلاستیک نامگذاری شده است که دارای قابلیت تغییر شکل پذیری و محدوده رفتار پلاستیک بالایی است. فاکتور اصلی ایجاد کننده این عامل پودر بنتونیت است. هدف از طرح بتن پلاستیک تامین مقاومت فشاری، نفوذپذیری پایین و مدول الاستیسیته نزدیک به خواص مصالح محیط مجاور، با انتخاب مناسب اجزای بتن پلاستیک است. بر مبنای توصیهICOLD طرح اختلاط بتن پلاستیک باید ویژگی های زیر را داشته باشد [۳]:

- مقاومت فشاری نمونه استوانه ای آن 30~10 کیلوگرم بر سانتی متر مربع را تامین کند.
- ضریب نفوذپذیری آن در حد $10^{-8} \sim 10^{-9}\ m/\sec$ باشد.
- مدول الاستیسیته آن در حد (5~4) برابر مدول الاستیسیته خاک اطراف بتن باشد.
- اسلامپ آن در محدوده مناسب (22~10) سانتی متر باشد.

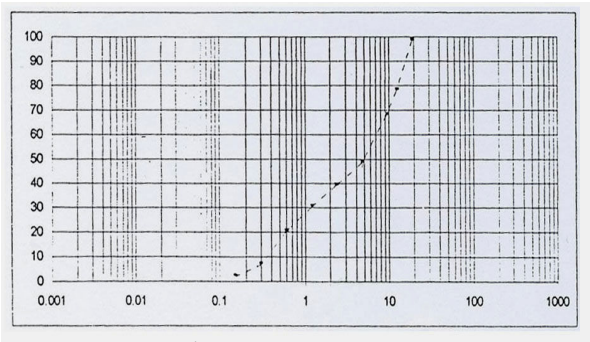
بتن ساخته شده باید بتواند جمع شدگی قبل از گیرش، جمع شدگی هیدرولیکی، جمع شدگی حرارتی وجمع شدگی در اثر از دست دادن آب را تحمل نماید.گل بنتونیت، ذرات سیمان و سنگدانه را معلق نگه داشته و بر شکل پذیری بتن می‌افزاید و میزان نفوذپذیری آن را کاهش می‌دهد و باعث پایداری جانبی بتن می‌شود. توصیه می‌شود که میزان سیمان مصرفی در حدود ۲۰٪ گل بنتونیت باشد. در مورد سنگدانه مصرفی که میزان آن ۵۰ ٪ حجم بتن پلاستیک است حداکثر اندازه درشت دانه باید به ۲۰ میلیمتر محدود شود و از خواص دانه بندی مناسب و پیوسته برخوردار باشد. بدین منظور در حدود ۵۰٪ مصالح سنگی در حد ۵-۰ میلیمتر(ماسه) و ۲۰٪ در حد (۹/۵-۵)میلیمتر و بقیه در محدوده (۹/۵-۲۰) میلیمتر می‌باشد. در شکل ۱ نمونه ای از منحنی دانه بندی سنگدانه‌ها نشان داده شده است.

جدول۲- نمونه‌های طرح اختلاط بتن پلاستیک [۲،۳،۴،۵،۸]

مقادیر مصالح مورد استفاده در طرح اختلاط‌های بتن پلاستیک					مشخصات پارامترهای بدست آمده از آزمایشات				
آب	سیمان	بنتونیت	ماسه	شن	$K(\frac{m}{\sec})10^{-10}$	$Slump(cm)$	$E_c(\frac{kg}{cm^2})$	$f_c^{'}(\frac{kg}{cm^2})$	نام سد
450	150	36	750	850	7.4	21	42500	19.0	استور
400	110	50	700	800	4.5	-	-	8.5	ارس باران
360	195	37	705	795	4.7	19	37000	31.0	کرخه
970	210	-	740	100	-	-	-	-	UKAI
350	180	60	810	990	-	-	7300	44.44	سلمان‌فارسی
350	150	50	750	750	-	-	-	-	خلف آباد
400	140	60	850	850	-	-	-	-	شهرچای
600	200	48	650	400	-	-	-	5.8	Tehtali

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱-نمونه منحنی دانه بندی سنگدانه ها[۵]

معمولاً به همراه مصالح مذکور، مواد افزودنی جهت کارایی بهتر،کربنات سدیم (سودا) جهت افزایش سرعت ته نشینی مواد معلق و کندگیرکننده ها استفاده می‌شود. کنترل کیفیت مصالح سنگدانه بر مبنای ASTMC33،کنترل کیفیت سیمان بر مبنای ASTMC130 و کنترل کیفیت بنتونیت بر مبنای API خواهد بود.

توصیه ICOLD این است که [۳]

میزان گل روان بنتونیت در حد ۵۰۰-۴۰۰ لیتر

سیمان ۲۰۰-۱۰۰ کیلوگرم

مصالح شن و ماسه با دانه بندی خوب کمتر از ۱۵۰۰ کیلوگرم

مصالح شن و ماسه با دانه بندی بد کمتر از ۱۳۰۰ کیلوگرم

همچنین بتن تولید شده دارای وزن مخصوصی در حد $1.8 \sim 2.1 ton/m^3$ خواهد بود.

در ادامه پارامترهای تاثیر گذار بر خواص مختلف بتن پلاستیک شرح داده می‌شوند:

الف – مقاومت فشاری: باوجود اینکه بتن پلاستیک دیوارهای آب بند نیاز به مقاومت بالا ندارد و مقاومت فشاری آن بایستی به اندازه ای باشد که بتن قابلیت تحمل تنش های جانبی خاک چه در دوران اجرا و چه در دوران بهره برداری را داشته باشد. از طرف دیگر برای بدست آوردن مصالح با شکل پذیری مناسب لازم است که بتن حداقل مقاومت را دارا باشد($10 \sim 30 kg/cm^2$). با رعایت اصول شکل پذیری مناسب، مقاومت فشاری بتن پلاستیک را تا $40 \frac{kg}{cm^2}$ میتوان افزایش داد. نسبت $\frac{C}{W}$، نوع سیمان، دانه بندی، و جنس سنگدانه در مقاومت بتن تاثیر عمده ای دارند.

ب – نفوذپذیری : نفوذپذیری بتن پلاستیک به خصوصیات ذاتی مصالح تشکیل دهنده آن و ناپیوستگی‌ها وابسته است. افزایش نسبت $\frac{C}{W}$، افزایش عامل کلوئیدی و استفاده از مصالح افزودنی مناسب، باعث کاهش میزان نفوذپذیری می‌شوند. مقدار ضریب نفوذپذیری در محدوده $10^{-8} \sim 10^{-9} m/\sec$ مناسب است.

ج – تغییرشکل پذیری : بتن پلاستیک باید تغییر شکل های ناشی از نشست سد تحت اثر وزن خودش، تغییرشکل های ناشی از نشست و خیز پی سد، تغییرشکل های افقی و قائم ناشی از دوران ساخت و بهره برداری و تغییرشکل های ناشی از بارهای قائم، افقی، زلزله، انفجار و مهمتر از همه بارهای خاک پیرامون دیوار را تحمل نماید.

بدین منظور مصالحی لازم است که با ویژگی هایی نزدیک به خاک اطراف دیوار ، بتواند تغییر شکل ها را به نحو شایسته تحمل نماید. ICOLD توصیه می‌کند که اگر تغییرات مدول الاستیسیته در عمق خاک کم باشد مدول الاستیسیته بتن پلاستیک چهار تا پنج برابر مدول الاستیسیته خاک پیرامون باشد (ICOLD, bulletin No.51,1985).

د – مقاومت سایشی و دوام : بتن پلاستیک باید در شرایط محیط های معمولی و خورنده دوام مناسب داشته باشد که این دوام مناسب به وسیله طرح اختلاط مناسب و یا مصالح جایگزین مناسب تامین می‌شود علاوه بر آن، بتن پلاستیک باید بتواند مقاومت سایشی مناسب از خود نشان دهد [۳].

۳- روابط و نمودارهای پیشنهادی جهت تخمین طرح اختلاط بتن پلاستیک مناسب

با در نظر گرفتن طرح های اختلاط مورد استفاده در پروژه های سدسازی، که نمونه هایی از آنها در جدول (۲) ارائه گردیده است، از مراحل و روابط ذیل به منظور دستیابی به رابطه ای جهت به دست آوردن طرح اختلاط مناسب بتن پلاستیک با حداقل سعی و خطا پیشنهاد می‌گردد ،زیرا در حال حاضر بدون استفاده از چنین روابطی، تخمین طرح اختلاط بتن پلاستیک مناسب دیوارهای آب بندجهت کنترل تراوش آب از زیر پی سدهای خاکی صرفا" به کمک سعی و خطا و با صرف وقت و هزینه زیادی صورت می‌گیرد.

الف – انتخاب مشخصات دیوار بتن پلاستیک بر مبنای توصیه های آئین نامه ای و نتایج آزمایشگاهی نظیر(f_c' ، K،E و اسلامپ)

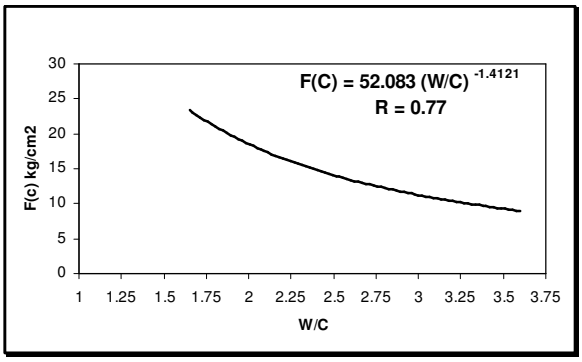
www.SID.ir

Archive of SID

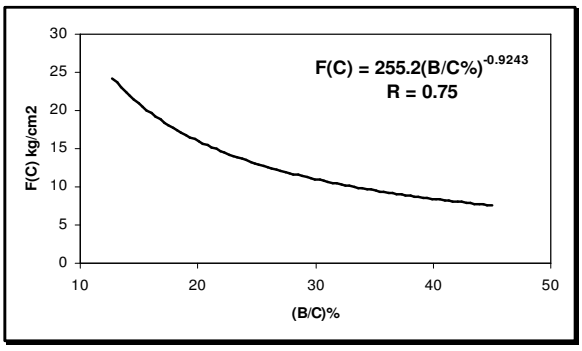
ب- انتخاب مصالح مصرفی برای بتن پلاستیک با استفاده از مصالح موجود و در دسترس نظیر نوع سیمان، بنتونیت، دانه بندی و چگالی سنگدانه ها

ج – انتخاب نسبت $\frac{B}{C}$ و $\frac{W}{C}$

بر اساس طرح اختلاط های بتن پلاستیک مورد استفاده در سدهای گوناگون و با موفقیت آبگیری شده و از جمله بزرگترین سد خاکی کشور(سد کرخه) ، نسبت های $\frac{B}{C}$ ، $\frac{W}{C}$ از شکل های پیشنهادی شماره های (۲) و (۳) انتخاب می‌گردد:



شکل۲- ارتباط مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان در بتن پلاستیک



شکل۳- ارتباط مقاومت فشاری و نسبت بتونیت به سیمان در بتن پلاستیک

د ـ تخمین نسبت مقدارمصالح چسباننده به مقدر آب مصرفی($\frac{B+C}{W}$)

بر حسب f'_c با استفاده از روابط استخراج شده از نمودارها می‌دانیم

$$(B+C)/W=1/(W/C)+((B/C)/(W/C)) \qquad (۱)$$

و از روی نمودار ها روبط ذیل به دست می‌آید:

$$\frac{B}{C}=\frac{1}{0.002495(f'_c)^{1.081}} \qquad (۲)$$

و همچنین

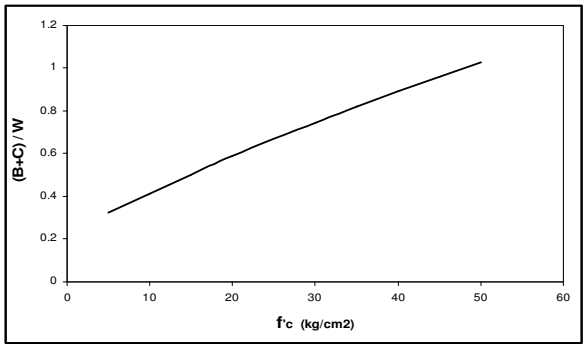
$$\frac{W}{C}=\frac{1}{(0.019\ \ f'_c)^{0.7}} \qquad (۳)$$

که با جایگذاری روابط (۲) و(۳) در رابطه (۱)خواهیم داشت:

$$\frac{B+C}{W}=0.062 f_c^{'0.7082}+0.2445 f_c^{'-0.3737} \qquad (٤)$$

که در این رابطه $B+C$ مقدار مصالح چسباننده ، W مقدار آب بر حسب کیلوگرم و $f_c^{'}$ مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه ای ٦ اینچ بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع هستند.

که در نتیجه می‌توان از گراف زیر جهت تعیین نسبت مقدار مصالح چسباننده به مقدار آب در بتن پلاستیک به کار رفته در دیوارهای آب بند سدها جهت تحمل گرادیان هیدرولیکی بالای ناشی از زهاب تحت الارضی استفاده نمود.



شکل ٤- ارتباط مقاومت فشاری و نسبت مقدار مصالح چسباننده به مقدار آب در بتن پلاستیک

ه – تعیین مدول الاستیسیته بتن پلاستیک :

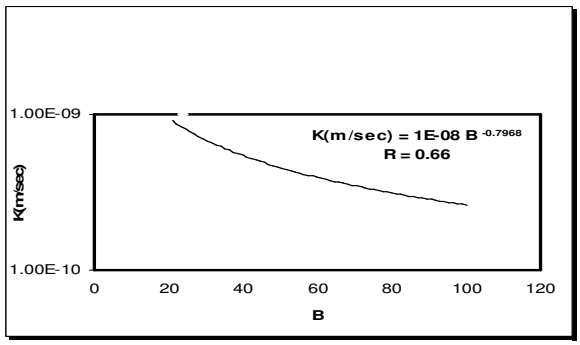
$$E_c=170 f_C^{'}-239 \qquad (۵)$$

که در آن E_C مدول الاستیسیته بتن پلاستیک بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع و $f_c^{'}$ مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه ای ٦ اینچ بر حسب کیلونیوتن بر مترمربع هستند.

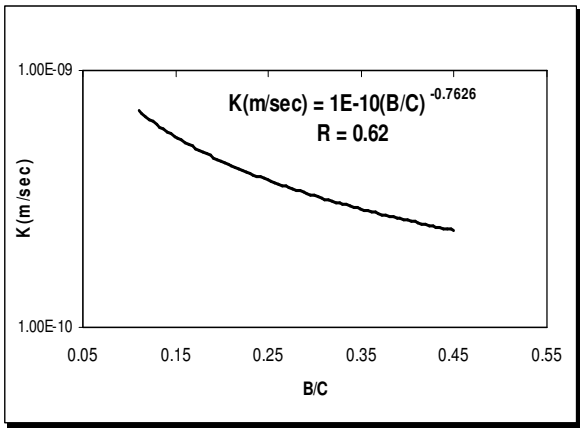
و- کنترل نفوذپذیری بتن پلاستیک : باتوجه به میزان بنتونبت و نسبت $\frac{B}{C}$ طبق گراف های (۵) و (٦) ، نفوذپذیری بتن پلاستیک به دست می‌آید.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۵-ارتباط نفوذ پذیری ومقدار بتونیت بر حسب (kg) در بتن پلاستیک



شکل ٦-ارتباط نفوذ پذیری و نسبت بتونیت به سیمان در بتن پلاستیک

ذ – کنترل اسلامپ با انجام آزمایش.

لازم به ذکر است که تا کنون طرحی که منجر به برآورده شدن تمامی‌خواص مد نظر باشد، معرفی نشده است و این امر مستلزم سعی و خطا های مکرر است و روش ذکر شده تا حد بسیار مناسبی تعداد این سعی و خطا ها را کاهش می‌دهد.

٤- نتیجه‌گیری

۱- می‌توان از گراف ها و روابط ارائه شده در این تحقیق جهت تعیین نسبت مقدار مصالح چسباننده به مقدار آب در بتن پلاستیک به کار رفته در دیوارهای آب بند سدها وکاستن از پروسه پر هزینه و زمان بر سعی و خطا استفاده نمود.

۲- برآوردن تمامی‌شرایط بتن پلاستیک ایده آل در عمل مشکل و حتی غیر ممکن است و باید در محدوده ای از خواص و کیفیت ها به دنبال بتن پلاستیک مطلوب گشت.

۳- آنالیزهای آماری انجام گرفته بر روی پارامتر های وابسته ($f_C^{'}$ و E و K) و پارامترهای مستقل ($\frac{W}{C}$، $\frac{W}{B}$ و B) نشان از ارتباط قوی ($R > 0.6$) در گراف های ارائه شده بر مبنای تجارب عملی موجود است.

٤- به نظر می‌رسد یکی از عوامل تاثیر گذار در دقت مسئله، عدم سنجش یکسان پارامترهای *وابسته* و نیز دقت کم در تعیین این خواص و ذات متغیر پارامترهای مطالعاتی مربوطه است.

٥- مراجع

۱. اکبر پاشازاده، محمدکیا خسروی، نوید گنجیان. تخمین طرح اختلاط بتن پلاستیک مناسب جهت دیوار آب بند سدهای خاکی.چهاردهمین کنفرانس دانشجویی عمران و اولین کنفرانس بین المللی دانشجویان عمران.سمنان.شهریور ۸۷

۲.حسن رحیمی،بهار ۸۲–سدهای خاکی،انتشارات دانشگاه تهران.

۳.شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس،طرح سد و نیروگاه استور،گزارش مستندسازی.

٤. محمدتقی منصوری کیا، بررسی و تهیه راهنمای کاربردی استفاده از بتن پلاستیک در پرده آب بند سدها.

۵.شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، شرکت مهندسین مشاور مهاب قدس،شرکت مهندسی سپاسد، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی دیوار آب بند سد کرخه.

٦. کمیته فنی تکنولوژی ساخت و برآورد هزینه اجرایی سدها (کمیته ملی سدهای بزرگ ایران)نشریه شماره ۱۳ ،مصالح پرکننده برای ایجاد دیوار آب بند.

۷. عباس سروش، مطالعه آزمایشگاهی نفوذپذیری بتن پلاستیک.

۸. لوییز آلوارز،آلبرتو برنال،خوان آنتونیو مارین ،گردآوری و ترجمه احمد فرهادی لنگرودی،امور نظارت–مهندسین مشاور مهاب قدس اردیبهشت ۷٤،خصوصیات بتن پلاستیک دیوار آب بند سد Convento Viejo کشور شیلی ۱۹۸۲

۹. یعقوب میانجی–علی بهرنگی،(شرکت سایبر،وزارت نیرو)، اجرای دیوار آب بند پی سدها بزرگ(با استفاده از دستگاه هیدروفرز).

۱۰. ابوالفضل شمسایی، دیوارهای آب بند بتن پلاستیک برای کنترل تراوش در سدها، مجموعه مقالات پژوهشی دانشکده مهندسی عمران–دانشگاه صنعتی شریف۱۳۷۷–ص ۱۵۳–۱٤۷.۱۰.

۱۱. شرکت زمین آزما، گزارش طرح اختلاط بتن پلاستیک سد ارسباران.

www.SID.ir

Archive of SID

۱۲. پارسا،۱۳۷٤ ، عوامل موثر در کیفیت اجرایی دیوار آب بند،پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۱۳. فامیلی هـ. ۱۳٦۸، بتن شناسی (ترجمه) دانشگاه علم و صنعت ایران.

۱٤.منصوری. ت ۱۳۷۲، دیوار های آب بند. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه مدرس.

۱۵. معاونت فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی.

16. Baldowing, and Eberra,1969.Diaphragm walls.
17. Uwhitman, R.1984. Construction of Diaphragm walls.
18. Ryan, H.1985. Slurry Cutoff Walls Method and Application.
19. Desighn standards,Embankment dams, cutoff walls,Eng.& research center, Denver Colorado,1987
20. Wateright cutoff wall, Final revised method statement, Ostour dam and H.P.P project, Jan.2003.

www.SID.ir