

تخمین طرح اختلاط بتن پلاستیک مناسب جهت دیوار آب بند سدهای خاکی

1 اکبر پاشازاده ، محمدکیا خسروی ، نوید گنجیان 2 3

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک تهران- دانشگاه واحد تهران مرکز- دانشکده فنی و مهندسی- گروه عمران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک تهران- دانشگاه واحد تهران مرکز- دانشکده فنی و مهندسی- گروه عمران
۳- دانشجوی دکتری دانشگاه تهران تهران- پردیس- گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تهران

E_mail: geocivilpasha@yahoo.com

خلاصه

استفاده از مصالح بتنی در دیوارهای آب بند سدها با توجه به نفوذپذیری بسیار اندک آنها و تحمل گرا دیان 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 تنشهای دینامیکی را در پی خواهد داشت. افزودن درصد معینی خاک رس (بنتونیت) به مصالح بتن پلاستیک باعث کاهش سختی و نیز کاهش ضریب ارتجاعی بتن و افزایش شکل پذیری آن می شود. در این مقاله اجزای تشکیل دهنده بتن پلاستیک و پارامترهای موثر در خواص و روشهای 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 گردیده است.

کلمات کلیدی: بتن پلاستیک، نفوذپذیری، تغییر شکل پذیری، مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته

مقدمه

از آنجائی که سدها، بندرت روی زمین های کاملا ناتراوا ساخته می شوند، لذا در اغلب موارد، جریان آب زیرزمینی از زیر سد وجود دارد.

یکی از بزرگترین خطرات سدها پس از آبگیری، تراوش از زیر پی سد و افزایش گرادیان هیدرولیکی است که باعث بروز خطرانی نظیر فرسایش پی می شود. 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 می گیرد.

در میان روش های آب بندی باید بروش 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 می گیرند.

دیوار آب بند به عنوان المان نفوذناپذیر در مواردی نظیر آب بندی پی سد های خاکی برای کنترل تراوش از پی، آب بندی محوطه خاکبرداری زیر تراز آب زیر زمینی در پروژه های بزرگ از قبیل سدهای خاکی و بتنی و نیروگاه ها، احداث پارکینگ طبقاتی زیر زمینی، آب بندی محدوده دفن زباله ها، احداث پی تاسیسات و سازه های 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 می گیرد.

دیوار آب بند دیواری است با نفوذپذیری پایین که در زیر پی سد ساخته می شود و تا یک لایه نفوذ ناپذیر و حتی در داخل آن لایه ادامه می یابد 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، ماسه، بنتونیت، سیمان و آب است که به نام بتن پلاستیک شناخته می شود. در جدول شماره ۱ مشخصات برخی دیوارهای آب بند اجرا شده آمده است.

جدول ۱- مشخصات برخی دیوارهای آب بند اجرا شده

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

خواص و پارامترهای مشخصه بتن پلاستیک

مشخصات مورد نیاز

بتن پلاستیک از شن، ماسه، بنتونیت، سیمان و آب 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 توصیه ICOLD طرح اختلاط بتن پلاستیک باید ویژگی های زیر را داشته باشد:

مقاومت فشاری نمونه استوانه ای آن 30~10 کیلوگرم بر سانتی متر مربع را تامین کند.

ضریب نفوذپذیری آن در حد $10^{-9} \sim 10^{-8} m/sec$ باشد.

مدول الاستیسیته آن در حد (4~5) 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 و جمع شدگی در اثر از دست دادن آب را تحمل نماید.

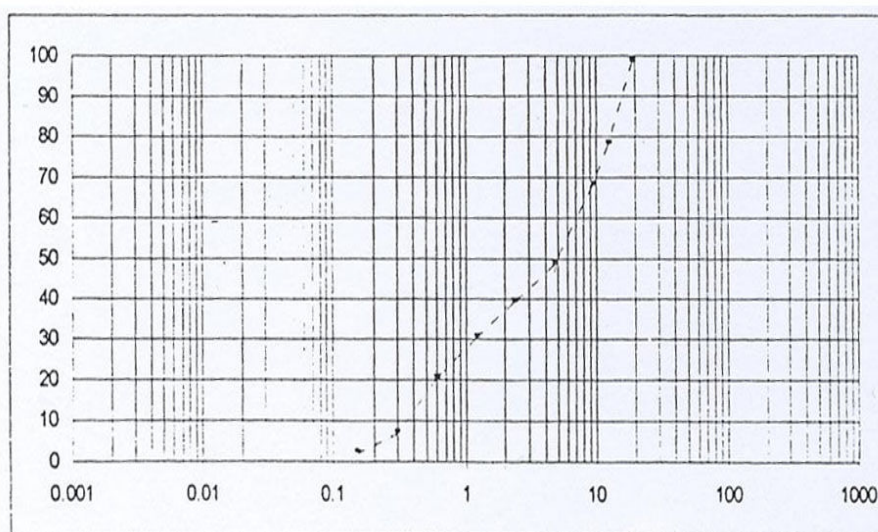
در جدول ۲ نمونه هایی از طرح های اختلاط بتن پلاستیک مورد استفاده در سدهای گوناگون، ارائه شده است:

جدول ۲- نمونه های طرح اختلاط بتن پلاستیک

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

عوامل موثر در خواص بتن پلاستیک

گل بتنویت، ذرات سیمان و سنگدانه را معلق نگه داشته و بر شکل پذیری بتن می افزاید و میزان نفوذپذیری آن را کاهش می دهد و باعث پایداری جانبی بتن می شود. توصیه می شود که میزان سیمان مصرفی در حدود ۲۰٪ گل بتنویت 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 ۵-۹/۵ میلیمتر و بقیه در محدوده (۹/۵-۲۰) میلیمتر می باشد. در شکل ۱ نمونه ای از منحنی دانه بندی سنگدانه ها نشان داده شده است.



شکل ۱- نمونه منحنی دانه بندی سنگدانه ها

معمولا به همراه مصالح مذکور، مواد افزودنی جهت کارایی بهتر، کربنات سدیم (سودا) جهت افزایش سرعت ته نشینی مواد معلق و کندگیرکننده ها استفاده می شود. کنترل کیفیت مصالح سنگدانه بر مبنای ASTM C33، کنترل کیفیت سیمان بر مبنای ASTM C130 و کنترل کیفیت بنتونیت بر مبنای API خواهد بود.

توصیه ICOLD این است که

میزان گل روان بنتونیت در حد ۴۰۰-۵۰۰ لیتر

سیمان ۱۰۰-۲۰۰ 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 $2.1 \sim 1.8 \text{ ton/m}^3$ خواهد بود.

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

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 ($30 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$). با رعایت

اصول شکل پذیری مناسب، مقاومت فشاری بتن پلاستیک را تا $40 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ 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 ناپیوستگی ها وابسته است. افزایش نسبت $\frac{C}{W}$ ، افزایش عامل کلونیدی و استفاده از مصالح افزودنی مناسب، باعث کاهش میزان نفوذپذیری می شوند. مقدار ضریب

نفوذپذیری در محدوده $10^{-9} \sim 10^{-8} \text{ m/sec}$ 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 می کند 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 می شود علاوه بر آن، بتن پلاستیک باید بتواند مقاومت سایشی مناسب از خود نشان دهد.

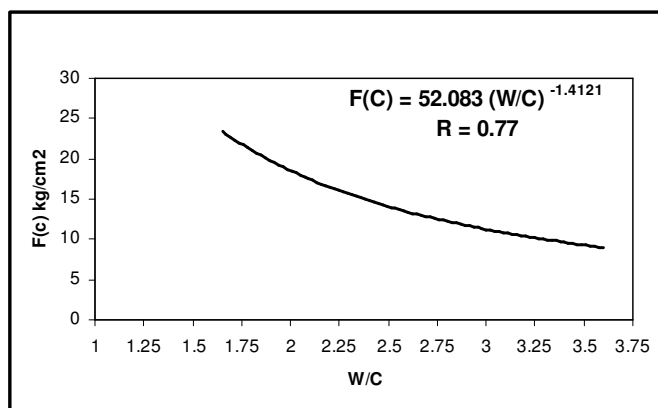
طرح اختلاط مناسب

انتخاب اجزای طرح اختلاط بتن پلاستیک بر مبنای تجارب موجود

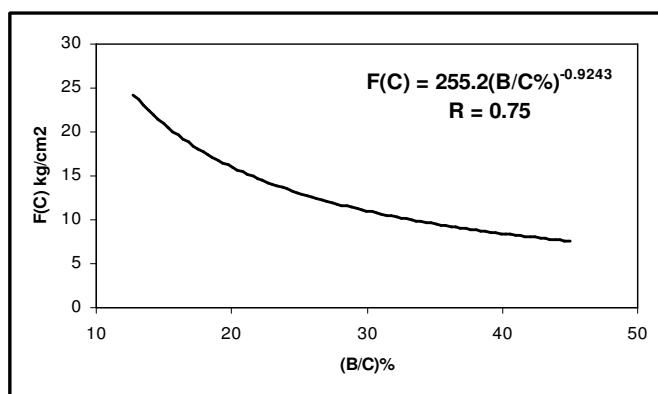
بر مبنای تجارب و طرح های اختلاط موجود در جدول (۲)، به عنوان یک روند منطقی و مشخص برای طرح اختلاط بتن پلاستیک می توان به گام های زیر اشاره کرد:

الف - انتخاب مشخصات دیوار بتن پلاستیک بر مبنای توصیه های آئین نامه ای و نتایج آزمایشگاهی نظیر (f_c ، K.E و اسلامپ)
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 $\frac{W}{C}$ با توجه به شکل های پیشنهادی شماره های (۲) و (۳)



شکل ۲-ارتباط مقاومت فشاری و نسبت آب به سیمان در بتن پلاستیک



شکل ۳-ارتباط مقاومت فشاری و نسبت بنتونیت به سیمان در بتن پلاستیک

د - کنترل مقدار $\frac{B+C}{W}$ از بند (ج) با رابطه تجربی (۱):

$$\frac{B+C}{W} = 0.1519\sqrt{f'_c} + 0.5878 \quad (1)$$

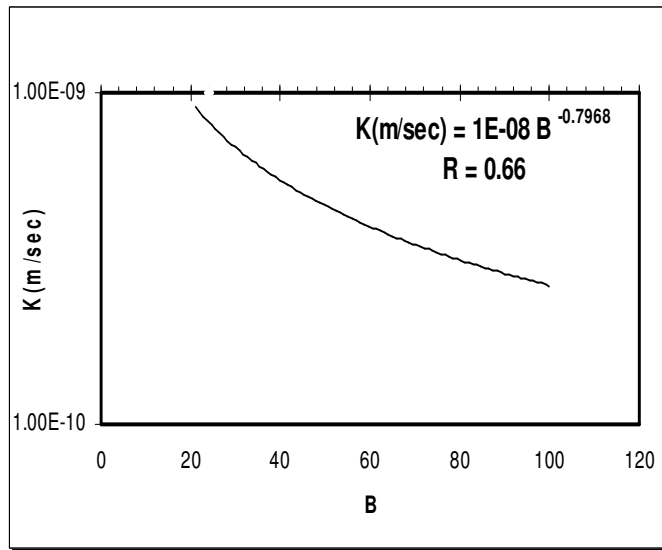
که در آن $B+C$ مقدار مصالح چسباننده، W مقدار آب بر حسب کیلوگرم و f'_c مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه ای ۶ اینچ هستند.

ذ - کنترل مدول الاستیسیته بتن پلاستیک:

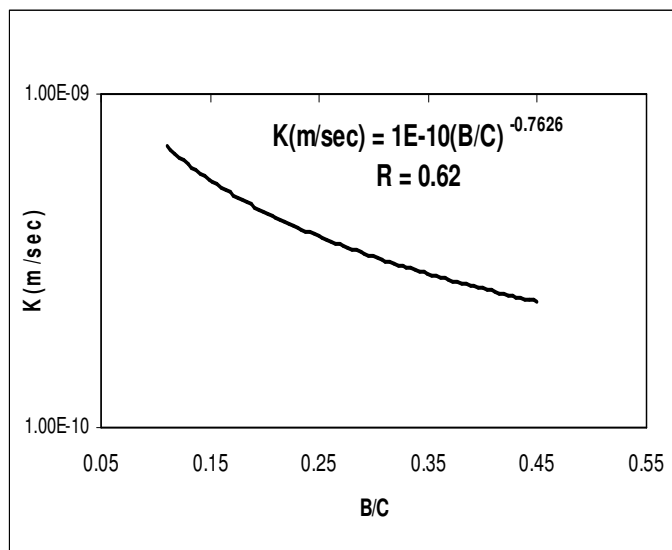
$$E_c = 170f'_c - 239 \quad (2)$$

که در آن E_c مدول الاستیسیته بتن پلاستیک و f'_c مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه استوانه ای ۶ اینچ هستند.

و- کنترل نفوذپذیری بتن پلاستیک: با توجه به میزان بنتونیت و نسبت $\frac{B}{C}$ طبق گراف های (۴) و (۵) نفوذپذیری بتن پلاستیک بدست می آید.



شکل ۴-ارتباط نفوذ پذیری و مقدار بنتونیت در بتن پلاستیک



شکل ۵-ارتباط نفوذ پذیری و نسبت بنتونیت به سیمان در بتن پلاستیک

ه - کنترل اسلامپ با انجام آزمایش.

لازم به ذکر است که تا کنون طرحی که منجر به برآورده شدن تمامی خواص مد نظر باشد، معرفی نشده است و این امر مستلزم سعی و خطاهای مکرر است و روش ذکر شده تا حد بسیار مناسبی تعداد این سعی و خطاها را کاهش می دهد.

نتیجه گیری

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

۲- آنالیزهای آماری انجام گرفته بر روی پارامترهای وابسته (f'_C و E و K) و پارامترهای مستقل ($\frac{W}{B}$ ، $\frac{W}{C}$ و B) نشان از ارتباط

قوی ($R > 0.6$) در گراف های ارائه شده بر مبنای تجارب عملی موجود است.

۳- به نظر می رسد 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.

مراجع

۱. حسن رحیمی، بهار ۸۲- سدهای خاکی، انتشارات دانشگاه تهران.
۲. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، طرح سد و نیروگاه استور، گزارش مستندسازی.
۳. محمدتقی منصوری کیا، بررسی و تهیه راهنمای کاربردی استفاده از بتن پلاستیک در پرده آب بند سدها.
۴. شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران، شرکت مهندسین مشاور مهتاب قدس، شرکت مهندسی سپاسد، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی دیوار آب بند سد کرخه.
۵. کمیته فنی تکنولوژی ساخت و برآورد هزینه اجرایی سدها (کمیته ملی سدهای بزرگ ایران) نشریه شماره ۱۳، مصالح پرکننده برای ایجاد دیوار آب بند.
۶. عباس سروش، مطالعه آزمایشگاهی نفوذپذیری بتن پلاستیک.
۷. لویی آلوارز، آلبرتو برنال، خوان آنتونیو مارین، گردآوری و ترجمه احمد فرهادی لنگرودی، امور نظارت-مهندسین مشاور مهتاب قدس اردیبهشت ۷۴، خصوصیات بتن پلاستیک دیوار آب بند سد Convento Viejo کشور شیلی ۱۹۸۲
۸. یعقوب میانجی-علی بهرنگی، (شرکت سایبر، وزارت نیرو)، اجرای دیوار آب بند پی سدها بزرگ (با استفاده از دستگاه هیدروفورز).
۹. ابوالفضل شمسایی، دیوارهای آب بند بتن پلاستیک برای کنترل تراوش در سدها، مجموعه مقالات پژوهشی دانشکده مهندسی عمران-دانشگاه صنعتی شریف ۱۳۷۷-ص ۱۵۳-۱۴۷، ۱۰.
۱۰. شرکت زمین آزما، گزارش طرح اختلاط بتن پلاستیک سد ارسباران.
۱۱. پارسا، ۱۳۷۴، عوامل موثر در کیفیت اجرایی دیوار آب بند، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۲. فامیلی ه. ۱۳۶۸، بتن شناسی (ترجمه) دانشگاه علم و صنعت ایران.
۱۳. منصوری. ت ۱۳۷۲، دیوار های آب بند. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه مدرس.
۱۴. معاونت فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی.

15. Baldowing, and Ebera, 1969. Diaphragm walls.

16. Uwhitman, R. 1984. Construction of Diaphragm walls.

17. Ryan, H. 1985. Slurry Cutoff Walls Method and Application.

18. Design standards, Embankment dams, cutoff walls, Eng. & research center, Denver Colorado, 1987

19. Wateright cutoff wall, Final revised method statement, Ostour dam and H.P.P project, Jan. 2003.