Archive of SID

بررسی رفتار بتن تازه در سطوح شیب‌دار

علی فروغی اصل [*۱] و سیدمحمّد جواد موسوی درچه‌ای [۲]
[۱] عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

ترک در سازه‌های بتنی به ویژه در سازه‌های هیدرولیکی از مشکلات اصلی این نوع سازه‌هاست. شیب‌دار بودن سازه‌ها مثلاً در کانال‌ها و تونل‌ها نیز مزید بر علت شده و خسارات زیادی را تحمیل می‌نماید. عوامل مختلفی موجب پدید آمدن ترک‌ها به ویژه در سطوح شیب‌دار پوشش بتنی می‌شوند که یکی از مهمترین این عوامل، انتخاب نادرست اسلامپ مخلوط بتن با توجه به شیب بتن‌ریزی می‌باشد. در بتن‌ریزی‌ها، اسلامپ بالای بتن باعث شره کردن و عدم پایداری بتن بر روی سطح شیب‌دار شده در حالی که اسلامپ کم نیز موجب کاهش کارآئی و عدم تحکیم مناسب بتن می‌گردد. در این پژوهش با ارائه طرح اختلاط مناسب برای بتن و طراحی مدلی قابل تنظیم برای شیب‌های مختلف و به ابعاد۱۰۰×۶۰۰×۱۰۰۰ میلی‌متر سعی شده است که اسلامپِ بتن‌های قابل اجرا در شیب‌های مختلف مشخص شده و با نمونه‌برداری از قسمت‌های مختلف سطح شیب‌دار و انجام آزمایش‌های گوناگون، خواص مکانیکی نمونه‌ها از جمله مقاومت فشاری، کششی و جذب آب مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرند. از نتایج قابل تأمل در این پژوهش، علاوه بر تعیین مناسب‌ترین شیب به ازای نمونه‌های مختلف، کاهش مشخصات مکانیکی بعضی از پانل‌های بتن در قسمت پایین آن در مقایسه با قسمت بالای پانل در شیب بوده است که در صورت شُره کردن بتن و سعی در نگهداری آن به وجود می‌آید و این می‌تواند دلیلی برای ایجاد ترک در بخش یک سوم پائینی شیب پانل‌ها به هنگام بهره‌برداری باشد.

واژگان کلیدی: رفتار بتن، بتن‌ریزی در سطوح شیب‌دار، پوشش کانال، پایداری بتن تازه، طرح اختلاط.

۱- مقدمه

در کانال‌های انتقال آب همواره گمان بر این است که با اجرای یک پوشش غیر قابل نفوذ مانند پوشش بتنی، می‌توان از میزان تلفات نشت کانال‌های انتقال آب به میزان قابل ملاحظه‌ای جلوگیری نمود. برای مثال در محاسبات تئوریک، میزان تلفات نشت برای یک کانال با پوشش بتنی، حدود یک سوم کانال با پوشش رسی در نظر گرفته می‌شود. حال اگر کانال با پوشش بتنی دچار ترک شود چه اتفاقی برای آن می‌افتد؟ ترک‌های به وجود آمده در سطح شیب‌دار پوشش کانال‌های آب که پس از گذشت عمر کوتاهی از اجرای آن‌ها ظاهر می‌شوند با ایجاد درز و شکاف، موجب تخریب سطح بتن و با نفوذ آب به لایه‌های زیرین موجب نشست دیواره‌های کانال و در نهایت عامل هدر رفتن مقادیر زیادی از منابع آبی کشور می‌گردند [۱]. با بررسی منابع و داده‌های میدانی، روشن شده است که عوامل مختلفی در به وجود آوردن این ترک‌ها نقش دارند که یکی ازمهمترین این عوامل انتخاب نامناسب اسلامپ بتن مورد استفاده با توجه به شیب عرضی دیواره کانال می‌باشد. باید توجه داشت که بتن‌ریزی در سطوح شیب‌دار دیواره کانال‌ها دارای شرایط ویژه‌ای است زیرا به دلیل ضخامت کم بتن‌ریزی نمی‌توان از ویبره‌های متداول برای تحکیم بتن و خروج هوا از آن استفاده کرد لذا جهت تحکیم بتن، استفاده از بتن‌های با اسلامپ بالا ضروری می‌گردد. از طرفی به دلیل بتن‌ریزی در شیب دیواره‌ها، افزایش اسلامپ موجب شره کردن بتن می‌شود و باید مقدار آن محدود گردد. از این رو حفظ کارآئی و پایداری بتن به طور هم‌زمان برای اجرای پوشش شیب‌دار کانال‌ها امری ضروری است.

۲- تاریخچه پژوهش

ایجاد ترک و دیگر خسارات بر روی سطوح شیب‌دار به ویژه در پوشش کانال‌ها یکی از دغدغه‌هایی است که توجه محققین را به خود معطوف کرده و در طی سال‌های گذشته مکرراً مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که ثمره‌ی آن به صورت مقالات مختلف، در نشریات و سمینارهای گوناگون ارائه شده است.

Yu-Wen [۲] در آزمایش‌های خود که بر روی بتن با طرح اختلاط‌های مختلف انجام شده عوامل گسترش و افزایش عمق ترک بتن در سازه‌های هیدرولیکی را شبیه‌سازی کرده است. در این تحقیق، نازلی آب را که دارای مواد ریز ماسه است به پانل‌های

دریافت ۹۱/۷/۵ پذیرش ۹۱/۱۱/۹
* نویسنده مسئول
www.SID.ir

Archive of SID

بتنی ترک‌دار پرتاب می‌کند. افزایش سایش با زاویه گرفتن جهت جریان و ترک، همچنین افزایش مقاومت سایشی با افزودن میکروسیلیس از دستاوردهای این تحقیق بوده است.

اداره‌ی حمل و نقل ایالت آریزونا (ADOT) در سال ۱۹۹۲ گزارشی را در مورد پوشش کانال به وسیله‌ی شاتکریت مسلح شده با الیاف ارائه داد. هدف از این پژوهش بررسی کنترل ترک در بتن پاشیده شده به وسیله شاتکریت به وسیله‌ی چهار نوع الیاف مصنوعی با طول و جنس مختلف بود. با افزودن الیاف به بتن شاتکریت در کارگاه، نوع الیافی که طول بیشتری از انواع دیگر داشت بهترین نتیجه را در کنترل ترک‌ها ارائه داد؛ ولی به دلیل این که درصد زیادی از الیاف برای کنترل ترک پانل‌های شاتکریت شده‌ی کارگاه مورد نیاز می‌باشد لذا استفاده از الیاف از نظر اقتصادی باید مورد توجه قرار گیرد [۳].

یک طرح پژوهشی در استان آذربایجان شرقی در سال ۱۳۸۷ به منظور بررسی عملکرد فیزیکی و مکانیکی خاک‌های واگرا و انبساطی بر روی پوشش بتنی کف و دیواره‌ی کانال‌ها به صورت مطالعاتی و آزمایشگاهی انجام شد. تعیین عوامل واگرایی و تورمی خاک‌ها، تعیین روش‌های پایداری خاک‌های واگرا و تورمی، بررسی نوع مقطع پوشش بتنی کانال و شرایط تکیه‌گاهی در مواجه با اثر تورمی خاک به صورت آزمایشگاهی و ابتکاری در این طرح تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته است [۴].

در منابع مختلف برای اسلامپ بتن پوشش شیب‌دار کانال‌ها توصیه‌هایی کلی صورت گرفته است برای مثال مؤسسه‌ی ASAE در سال ۱۹۹۸ توضیح می‌دهد که اسلامپ بتن مورد استفاده در پوشش کانال‌ها باید به گونه‌ای باشد که بتن در روی سطح شیب‌دار کانال دارای پایداری و قوام خاص بوده و با حفظ یکپارچگی خود از سطح شیب‌دار سر ریز نشود. به عنوان یک پیشنهاد، اسلامپ نمونه بتنی نباید از ۷۵ میلی‌متر تجاوز کند زیرا معمولاً این مقدار حداکثر اسلامپی است که با آن بتن می‌تواند در شیب ۱:۱ پایدار باقی بماند [۵].

Hahn در سال ۲۰۰۸ موضوع مشابهی بیان کرده است: اصولاً اسلامپ بتن پوشش کانال‌ها نباید از ۱۰۰ میلی‌متر تجاوز کند و در صورت مشاهده‌ی ترک بر روی سطح شیبدار کانال برای بالا بردن دقت باید از اسلامپ لیزری استفاده کرد [۶].

پژوهشگران دیگری از جمله Lauritzen در مراجع قدیمی‌تر برای پوشش بتنی کانال‌ها، محدودیت شیب منظور داشته‌اند. به طوری که حداکثر شیب پوشش کانال‌های اجرا شده با قالب لغزنده برابر (۱:۱) و برای قالب‌های پانلی برابر (۲:۳) (۲ قائم و ۳ افقی) پیشنهاد شده است [۷].

همان طوری که مشاهده می‌شود پیشنهادات کلی بوده و به ارتباط شیب عرضی کانال‌ها و اسلامپ بتن مورد استفاده اشاره‌ای نشده است؛ هرچند که از مسائل مهم اجرائی می‌باشد.

۳- هدف پژوهش

در حال حاضر روش‌های گوناگونی برای اجرای پوشش بتنی کانال‌ها استفاده می‌شود که از این میان در کشور ما روش اجرای یک در میان پانل‌های بتنی به دلیل عدم نیاز به تجهیزات پیچیده و سادگی مراحل ساخت و تنها با استفاده از شابلن‌ها، کاربرد بیشتری پیدا کرده‌است. به همین منظور محققین این پژوهش، سعی در بررسی کیفیت بتن ریخته شده در پوشش شیب‌دار کانال‌ها با این روش را دارند. با بررسی میدانی معلوم شد عدم خروج هوای بتن، تراکم نامناسب به ویژه در قسمت بالای پوشش، جداشدگی سنگ‌دانه‌ها و ایجاد ترک در هنگام بهره‌برداری مخصوصاً در یک سوم قسمت پایین شیب از معایب بتن پانل‌های اجرا شده با این روش می‌باشد.

در این پژوهش سعی شده است که با انجام آزمایش‌های مختلف و ارائه طرح اختلاط‌های مناسب و تعیین مشخصات مصالح مورد استفاده اولاً اسلامپ بتن‌های پایدار در شیب‌های مختلف مشخص شده و کارایی آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد، ثانیاً مشخصات مکانیکی بتن‌های با اسلامپ‌های قابل اجرا، به وسیله‌ی نمونه‌برداری از بتن و تعیین مقاومت فشاری، کششی و جذب آب بررسی شده و در پایان با نمونه‌های شاهد مقایسه شود. پژوهشگران امیدوارند که نتایج حاصل نه تنها در اجرای پوشش کانال‌ها کاربرد فراوانی پیدا کرده و مشکلات اجرائی خاصی را جوابگو باشد بلکه در تمام پروژه‌هائی که بتن در سطوح شیب‌دار اجرا می‌شود مورد استفاده قرار گیرد.

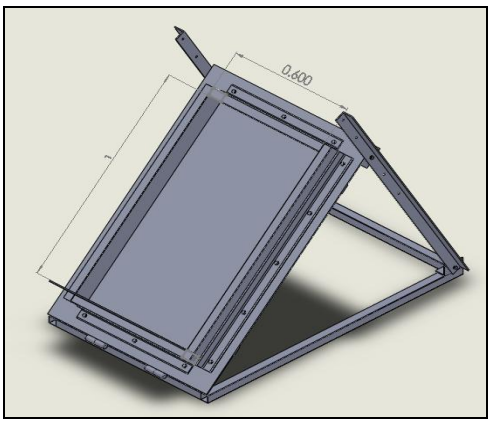
۴- مدل آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی با استفاده از نبشی، قوطی و ورق به صورت قالب فولادی به ابعاد۱۰۰ × ۶۰۰ × ۱۰۰۰ میلی‌متر و به صورت پایه‌دار و قابل تنظیم در شش زوایه مختلف (۲۲/۵، ۳۰، ۳۷/۵، ۴۵، ۵۲/۵ و۶۰ درجه) ساخته شده است که دارای دریچه بازشو برای خروج نمونه بتنی بعد از گیرش اولیه می‌باشد. ضخامت مورد نظر برای قالب پوشش بتنی به وسیله‌ی قوطی ۴ × ۴۰ × ۱۰۰ میلی‌متر تهیه و به منظور عدم خروج شیره‌ی بتن از داخل قالب توسط ۱۶ عدد پیچ به صفحه‌ی زیرین خود ثابت شده است. انتخاب ضخامت ۱۰۰ میلی متر به دلیل یکسان‌سازی نمونه‌های آزمایشگاهی با اجرا و همچنین تهیه

www.SID.ir

Archive of SID

قطعات مکعبی شکل آزمایشی به ابعاد۱۰۰ × ۱۰۰ × ۱۰۰ میلی‌متری و ۱۰۰ × ۱۰۰ × ۵۰۰ میلی‌متری از درون نمونه‌ی بتنی برای آزمایش‌های مختلف بود. مدلی از این قالب که توسط برنامه‌ی solidwork تهیه شده است در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- قالب بتنی قابل تنظیم در شیب‌های مختلف

۵- مشخصات مصالح

به دلیل مجاورت خاک با بتن در ساخت کانال، در صورت نیاز باید از سیمان‌های ضد سولفاته مانند تیپ II یا V استفاده کرد. بدیهی است در شرایط معمولی از تیپ II و در شرایط حادتر باید از تیپ V استفاده نمود [۸]. در جدول (۱) مقایسه مشخصات شیمیائی سیمان پرتلند تیپ II کارخانه‌ی سپاهان اصفهان که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است با مشخصات استاندارد ملی ایران (۳۸۹) ارائه شده است.

به دلیل تأثیر سیمان در تهیه نمونه‌های بتنی با مشخصات یکسان، سیمان مصرفی در تمام نمونه‌ها باید دارای مشخصات یکسان باشند و به این منظور قبل از استفاده از آن، سیمان درون کیسه‌ها باید با هم آمیخته (blending) شوند به این صورت که کیسه‌های سیمان را در دبه‌های مختلف پخش کرده و با غلت دادن دبه‌ها عمل آمیختن سیمان را کامل می‌کنند.

معمولاً برای کاهش جداشدگی درشت‌دانه‌ها باید آن‌ها را در ۲ تا ۵ قسمت انتخاب نمود. در این پژوهش شن نخودی و شن بادامی از کارخانه‌ی سرام تبریز تهیه و به طور جداگانه بررسی و نسبت مناسبی از آن‌ها در طرح اختلاط استفاده شد. با توجه به این که حداکثر بعد اسمی دانه‌های شن ۱۹ میلی‌متر (3/4 in) می‌باشد، طبق جدول شماره (۲) استاندارد ASTM C33-03 دانه‌بندی مخلوط شن نخودی و بادامی باید در محدوده‌ی دانه‌بندی شماره 67 استاندارد فوق قرار گیرد. با سعی و خطا مشخص شد که نسبت ۳۰ به ۷۰ (۳۰ درصد شن بادامی و۷۰ درصد شن نخودی) در وسط این بازه قرار می‌گیرد (شکل(۲)). ماسه‌ی رودخانه‌ای نیز از کارخانه سرام تبریز تهیه و با توجه به محدوده‌ی استاندارد ASTM C33-03 دانه‌بندی و مدول نرمی آن برابر ۳/۴۸ تعیین گردید (شکل (۲)). مقادیر درصد جذب آب، دانسیته‌ی نسبی خشک و تر سنگدانه‌ها طبق استاندارد ASTM C127 & 128 در جدول (۲) آورده شده است.

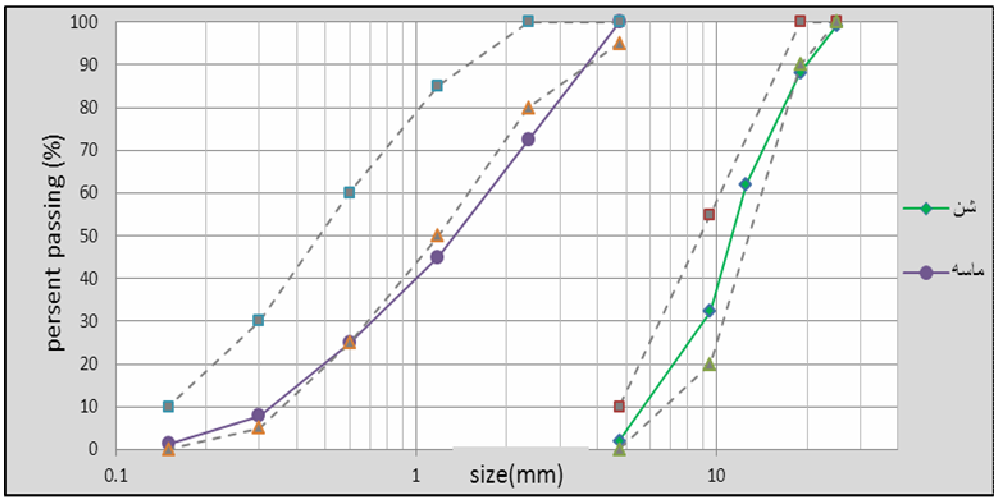
قابل ذکر است بعد از انتخاب طرح اختلاط (مطابق جدول (۴))، برای بتن‌ریزی در شیب، به منظور تعیین مقدار اسلامپ نمونه‌ها در هر مرحله، از مقادیر مختلفی فوق روان‌کننده استفاده می‌شود. فوق روان‌کننده مصرفی با پایه شیمیایی پلی کربکسیلات، با وزن مخصوص ۱/۰۵ gr/cm^3 و رنگ زرد روشن، از شرکت‌های داخلی تهیه و طبق پیشنهاد شرکت سازنده به میزان ۰/۳ الی ۰/۹ درصد وزنی مواد چسبنده مورد استفاده قرار گرفت. فوق روان‌کننده مورد مصرف به صورت مایع بوده و با انحلال در آب مورد استفاده قرار می گرفت.

جدول ۱- مشخصات شیمیائی سیمان پرتلند تیپ II کارخانه‌ی سپاهان اصفهان

پارامترهای شیمیایی	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	SiO_2	LOSS	IR	Free CaO	Alkalis
درصد	۴/۸	۳/۸	۶۳/۳	۲/۱	۲	۲۲	۰/۸	۰/۵	۱	۰/۷۵
تلرانس	۰/۴	۰/۳	۱	۰/۴	۰/۳	۰/۶	۰/۲	۰/۲	۰/۵	۰/۰۵
استاندارد ۳۸۹ ایران	۶ حداکثر	۶ حداکثر	-	۵ حداکثر	۳ حداکثر	۲۰ حداقل	۳ حداکثر	۰/۷۵ حداکثر	-	۰/۸ حداکثر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲– دانه‌بندی ماسه و شن طبق استاندارد ASTM C33-03

جدول ۲– درصد جذب آب، دانسیته‌ی نسبی خشک و تر دانه‌ها طبق استاندارد ASTM 127 &128

سنگدانه	درصد جذب آب	دانسیته‌ی نسبی خشک	دانسیته‌ی نسبی حالت SSD
ماسه	2.15	2.5	2.56
شن نخودی	1.34	2.55	2.59
شن بادامی	1.01	2.64	2.67
شن مخلوط	1.04	2.63	2.66

استفاده از میکروسیلیس در طرح اختلاط بتن پوشش شیب‌دار کانال‌ها علاوه بر افزایش مقاومت سایشی و کاهش نفوذپذیری [۲] منجر به کاهش جداشدگی و افزایش پایداری در آزمایش اسلامپ می‌شود. همچنین استفاده از میکروسیلیس در این پژوهش کمک کرد تا برای تغییر اسلامپ درصد بیشتری از فوق روان‌کننده نسبت به بتن معمولی بدون میکروسیلیس مصرف شود که با توجه به مقدار کم روان‌کننده، کنترل مقدار آن در طرح اختلاط سهل‌تر گردید. با در نظر گرفتن محدوده‌ی مجاز ۵ الی ۱۰ درصدی برای میکروسیلیس، مقدار آن در طرح اختلاط ۸/۵ درصد کل مواد چسبنده لحاظ شد [۹]. در جدول (۳) مشخصات شیمیائی میکروسیلیس ساخت کارخانه‌ی ازنا-لرستان که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت ارائه شده است.

جدول ۳– درصد ترکیبات شیمیائی میکروسیلیس

ردیف	ماده شیمیایی	محدوده مقادیر	نمومه (۱)	نمومه (۲)
۱	SiO_2	98-75	91.10	91.7
۲	Al_2O_3	0.03-5.78	1.55	1.00
۳	Fe_2O_3	0.06-4.54	2.00	0.90
۴	CaO	0.01-0.83	2.24	1.68
۵	MgO	0.36-0.52	0.65	1.80
۶	Na_2O	0.17-0.23	-	-
۷	K_2O	1.02-1.15	-	-
۸	SO_3	-	0.45	0.87
۹	Cl	-	-	0.08
۱۰	افت سرخ شدن	0.41-2.75	2.10	2.00

۶- طرح اختلاط

طرح اختلاط بتن در تمام مراحل بر اساس دستورالعمل ACI211 و ACI318 و به روش وزنی و در سه مرحله به شرح زیر انتخاب گردید. در مرحله اول، طرح اختلاط اولیه با استفاده از آب، سیمان، شن و ماسه و با انتخاب نسبت آب به سیمان برابر ۰/۵، جهت رسیدن به اسلامپ و مقاومت مشخصه مورد نظر و با سعی و خطا، برای مخلوطهای بتنی نمونه مشخص گردید و این مخلوطها با قالب‌گیری و عمل‌آوری تحت آزمایش فشاری قرار گرفت. این روند تکرار شده و تا رسیدن به مقادیر مورد نظر طراحی ادامه پیدا کرد.

www.SID.ir

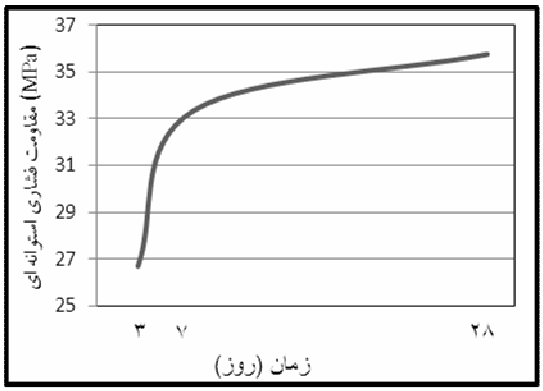
Archive of SID

در مرحله دوم، طرح اختلاط شامل آب، سیمان، شن، ماسه و مقدار مشخصی فوق روان‌کننده بود. از آن جایی که نسبت آب به سیمان برابر ۰/۵ برای کار تحقیقاتی مقدار بالائی می‌باشد؛ لذا در این مرحله این نسبت به ۰/۴ کاهش داده شد. در این مرحله برای رسیدن به اسلامپ مورد نظر با ثابت بودن میزان آب، مقدار فوق روان‌کننده تا رسیدن به اسلامپ مورد نظر تغییر می‌یافت. نتایج این مرحله گویای کاهش مقاومت ۷ روزه‌ی نمونه‌ها به دلیل افزودن فوق روان‌کننده و همچنین ناپایداری و جداشدگی بتن در آزمایش اسلامپ بود. در نتیجه افزودن میکروسیلیس به بتن برای جبران مقاومت و افزایش همبستگی در آن توجیه‌پذیر می‌شود.

در مرحله نهایی، طرح اختلاط شامل آب، سیمان، شن، ماسه، میکروسیلیس و مقدار مشخصی فوق روان‌کننده بود (جدول (۴)). در این مرحله مانند مرحله قبل نسبت آب به سیمان برابر ۰/۴و مقاومت فشاری انتخابی ($f_c^{'}$) برابر ۳۴MPa بود. مقدار فوق روان‌کننده مصرفی از ۰/۴۵ تا ۰/۸ درصد (درصد وزنی نسبت به مواد سیمانی بتن) برای رسیدن به اسلامپ ۵ تا ۱۵۰ میلی‌متر تغییر یافته و از تمام اختلاط‌ها نمونه‌ی استوانه‌ای تهیه شد.

نتیجه‌ی این مرحله گویای این مطلب بود که افزودن میکروسیلیس به بتن باعث قوام بهتر آن در هنگام آزمایش اسلامپ شده و برای تغییر اسلامپ در مقایسه با بتن بدون میکروسیلیس مقدار بیشتری روان‌کننده مصرف گردید که با توجه به مقدار کم آن، می‌تواند به منزله کنترل آسان‌تر و دقیق‌تر طرح اختلاط ملحوظ گردد.

بعد از تثبیت طرح اختلاط با انتخاب ۰/۶۵ درصد فوق روان کننده (با اسلامپ ۷۰ میلیمتر) و به وسیله‌ی نسبت‌های ارائه شده در جدول (۴)، شش نمونه‌ی استوانه‌ای برای آزمایش فشاری در سنین ۳، ۷ و ۲۸ روز تهیه شد که نتایج آن در شکل (۳) ارائه شده است. دلیل رشد پنج درصدی مقاومت فشاری ۲۸ روزه می‌تواند مربوط به مصرف میکروسیلیس در طرح اختلاط باشد.



شکل ۳- مقاومت فشاری استوانه‌ای در ۳، ۷ و ۲۸ روز

۷- مراحل نمونه‌گیری

مصالح طبق استاندارد ASTM C192 در مخلوط‌کن با یکدیگر مخلوط شده و بعد از اتمام زمان اختلاط، با استفاده از بتن داخل مخلوط‌کن، آزمایش اسلامپ بر اساس استاندارد ASTM C143 انجام شد. نتایج آزمایش اسلامپ بر روی بتن تهیه شده با میکسر با بتنی که به صورت دستی در مرحله‌ی قبل گرفته شده بود به دلیل تفاوت در شرایط تهیه تا حدی متفاوت بود. برای اطمینان از اختلاط کامل، بتن از داخل میکسر به ظرفی منتقل شده و بار دیگر به صورت دستی مخلوط می‌شود. در این مرحله بتن را بر روی سطح شیب‌دار از پایین به بالا ریخته و به وسیله‌ی ماله‌ی پلاستیکی سطح آن صاف می‌شد (برای مشابه‌سازی با اجرا از ویبره استفاده نشده است). ترتیب قرار گرفتن بتن بر روی شیب به این صورت است که اولین بتن‌ریزی با حداقل اسلامپ بر روی حداکثر شیب یعنی ۶۰ درجه قرار می‌گیرد. در مراحل بعدی بتن‌ریزی با افزایش تدریجی اسلامپ در صورت سر خوردن یا شره کردن بتن در یک شیب، زاویه قالب کاهش داده شده و مجدداً روی آن با ماله‌ی پلاستیکی صاف می‌گردد. برای هم‌تراز کردن بتن با سطح قالب و تراکم بهتر آن، مشابه کار اجرایی کارگاه‌ها، از یک نوار (استفاده از نوار MDF جهت عدم جذب آب بتن) و به صورت از پایین به بالا بر روی سطح بتن استفاده می‌شد و در آخر به وسیله‌ی یک ماله‌ی فلزی و به طور ملایم، بتن پرداخت می‌گردید.

جدول ۴– نسبت مصالح در طرح اختلاط نهایی

مصالح	آب (W)	سیمان (C)	میکروسیلیس (SF)	شن (G)	ماسه (S)	فوق روان‌کننده (SP)	جمع	$\frac{W}{C+SF}$	$\frac{S}{G}$	$\frac{G}{G+S}$
وزن (kg/m^3)	۱۷۵	۴۰۰	۳۷/۵	۹۳۵/۱	۸۰۷/۴	متغییر	۲۳۵۵	۰/۴	۰/۸۶	۰/۵۴

www.SID.ir

Archive of SID

۸- نتایج بتن تازه بر روی سطح شیب‌دار

۸-۱- بررسی پایداری بتن

پایداری به معنای توانایی بتن تازه برای روان شدن بر روی یک سطح می‌باشد [۱۰]. عوامل مؤثر در پایداری بتن بر روی سطح شیب‌دار عبارتنداز:

۱- زاویه‌ی اصطکاک داخلی سنگ‌دانه‌ها مخصوصاً درشت دانه‌ها

۲- چسبندگی به وجود آمده به وسیله‌ی ملات سیمان

۳- ضریب اصطکاک بین بتن و سطح تماس زیرین آن (قالب یا سطح زمین)

۴- زاویه سطح شیبدار

۵- طول و ضخامت پانل بتن‌ریزی شده

عامل آخری به این معناست که هر چه طول و ضخامت پانل بتنی کمتر باشد نیروی پایین برنده بتن (وزن بتن ضرب در سینوس زاویه سطح شیب‌دار) کاهش پیدا کرده و آن را می‌توان در شیب تندتری اجرا نمود.

در این پژوهش مجموعاً ۹ بتن‌ریزی با ۹ اسلامپ مختلف بر روی سطوح شیب‌دار انجام شد. پایداری و قوام پوشش بتنی در شیب و اسلامپ مربوطه، توسط میزان حرکت مخلوط بتن به سمت پایین و در نتیجه تغییر ضخامت پوشش در قسمت بالا و پایین قالب مورد بررسی قرار گرفت. اولین آزمایش با بتن‌ریزی با تندترین شیب (۶۰ درجه) و کمترین اسلامپ (۵ میلی‌متر) آغاز شد. به دلیل ناپایداری بتن در این شیب زاویه قالب به ۵۲/۵ درجه کاهش و مجدداً مراحل تکرار گردید. در مرحله‌ی بعد بتن‌ریزی با اسلامپ ۱۵ میلی‌متر و بر روی شیب ۵۲/۵ درجه اجرا شد و مشخص شد که این نمونه بتن در این شیب پایدار بوده و نیازی به تغییر شیب وجود ندارد. نتایج ادامه‌ی مراحل بتن‌ریزی انواع مختلف نمونه‌ها را می‌توان از جدول (۵) مشاهده کرد.

در مراحل بتن‌ریزی مشاهده شد هنگامی که بتن با اسلامپ کم بر روی سطح شیب‌داری قرار می‌گیرد و نمی‌تواند پایداری خود را حفظ کند، به دلیل بالا بودن نیروهای اصطکاک داخلی و چسبندگی، بتن بالایی قالب شکل ظاهری خود را حفظ کرده و به پایین سُر می‌خورد که این قسمت بتن باعث شکم دادن بتن در پایین قالب می‌شود (شکل (۴)). ولی هنگامی که بتن با اسلامپ بالا بر روی سطح شیب‌داری قرار می‌گیرد و نمی‌تواند پایداری خود را حفظ کند، به دلیل کاهش نیروهای اصطکاک داخلی و چسبندگی، بتن به سمت پایین شره کرده و در این حالت جداشدگی سنگ‌دانه اتفاق می‌افتد (شکل (۵)).

جدول ۵- حالات بتن‌ریزی بر روی سطوح شیب‌دار

(ن = ناپایدار، پ = پایدار)

اسلامپ	درصد	شیب قالب (درجه)					
(mm)	*SP*	۶۰	۵۲/۵	۴۵	۳۷/۵	۳۰	۲۲/۵
۵	۰/۴۵	ن	پ				
۱۵	۰/۵۰		ن	پ			
۴۵	۰/۵۵			ن			
۶۰	۰/۶۰				پ		
۷۰	۰/۶۵				ن	پ	
۹۰	۰/۷۰					پ	
۱۲۵	۰/۷۵					ن	پ
۱۵۰	۰/۸۰		پ				پ
۳۰	۰/۵۲۵			پ			

شکل ۴- بتن بر روی شیب ۶۰ درجه سر خورده ولی انسجام خود را از دست نداده است

شکل ۵- بتن بر روی شیب ۳۰ درجه شره کرده و باعث جداشدگی سنگ‌دانه‌ها شده است

www.SID.ir

Archive of SID

۸-۲- بررسی کارآئی بتن

کارآئی را وسیله اندازه‌گیری برای راحتی یا مشکل بودن بتن ریزی، متراکم کردن و پرداخت بتن تعریف می‌کنند [۱۰]. باید توجه کرد که در اجرای کانال به این روش از ویبره استفاده نمی‌شود و مرحله‌ی تراکم و پرداخت بتن به وسیله‌ی تخته و ماله انجام می‌شود. با توجه به این موضوع، هر چه اسلامپ بتن مورد استفاده بیشتر باشد کارایی آن بالاتر بوده و مراحل تراکم و پرداخت آسان تر و بهتر انجام می‌شود. تأثیر کارایی بر اجرای بتن متراکم تر را می‌توان در شکل (۶) مشاهده کرد. این عکس‌ها بعد از عمل‌آوری یک روزه و از قسمت پشت نمونه‌ها یعنی محل تماس بتن با قالب گرفته شده‌اند. با توجه به اشکال فوق، هر چه اسلامپ نمونه بتنی افزایش می‌یابد تعداد خلل و فرج موجود در بتن کاهش پیدا می‌کند.

(الف) (ب) (ج) (د)

شکل ۶- محل تماس بتن با قالب: از راست به چپ نمونه‌های بتنی با اسلامپ‌های ۶۰، ۷۰، ۹۰ و ۱۲۵ میلی‌متری

۹- مراحل عمل‌آوری و تهیه نمونه‌ها

پانل‌های بتنی بعد از یک روز به وسیله‌ی گوه‌ی چوبی از قالب خارج شده و برای عمل‌آوری به مدت ۲۸ روز در حوضچه‌ی نگهداری قرار می‌گیرند. در روز بیست یکم عمل‌آوری، پانل‌های بتنی به کارگاه سنگ‌بری حمل، و از بالا و پایین هر پانل به وسیله‌ی دستگاه برش طبق استاندارد ASTM C42 [۱۱]، ۶ نمونه منشوری و ۱۸ نمونه‌ی مکعبی تهیه می‌شود (شکل (۷)).

شکل ۷- تهیه نمونه‌ها از قسمت‌های مختلف پانل بتنی

سه نمونه‌ی منشوری به عنوان نمونه‌های آزمایش خمشی قسمت بالا و سه نمونه‌ی دیگر نیز به عنوان نمونه‌های خمشی قسمت پایین مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمونه‌های مکعبی نیز به عنوان نمونه‌های فشاری قسمت بالا، وسط و پایین منظور می‌گردند و یکی از نمونه‌های مکعبی از بالا و پایین قبل از آزمایش فشاری برای آزمایش جذب آب استفاده می‌شود. نمونه‌های بریده شده به آزمایشگاه بازگردانده شده و تا روز بیست هشتم در داخل حوضچه عمل‌آوری قرار می‌گیرند. در ضمن نمونه‌های کنترل (شاهد) که هر سری از آن‌ها شامل ۴ نمونه‌ی منشوری و ۵ نمونه‌ی مکعبی ۱۰۰ میلی‌متری بود نیز هم‌زمان تهیه و مشابه نمونه‌های فوق عمل‌آوری می‌شوند.

۱۰- نتایج آزمایش نمونه‌ها

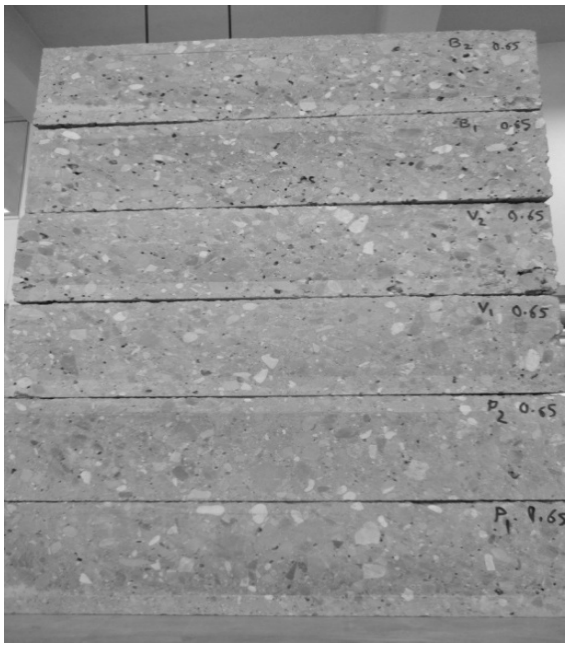
در بررسی نتایج نمونه‌ها اولین نکته‌ی حائز اهمیت افزایش خلل و فرج نمونه‌های بتنی از پایین پانل به طرف بالاست که دلیل آن اعمال قسمتی از وزن توده‌ی بتن قسمت بالا به قسمت پایین آن است (شکل (۸)). در عکس‌های گرفته شده مشخص شد اکثر حباب‌ها و فضاهای خالی به جا مانده در بتن، به دلیل محبوس شدن هوا در زیر دانه‌های درشت ایجاد شده‌اند و حضور

www.SID.ir

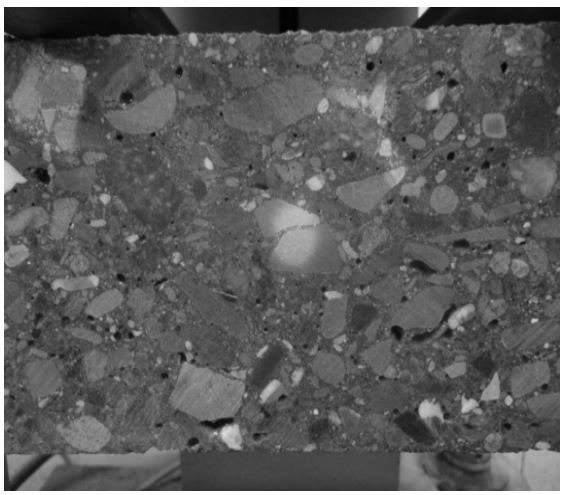
Archive of SID

این حباب‌ها در لایه‌ی بالایی بتن (یعنی محل تماس آن با تجهیزات تراکم بتن) کمتر است که نشان می‌دهد تراکم انجام گرفته تا حدی مؤثر بوده است (شکل (۹)).

این خلل و فرج با نزدیک شدن خصوصیات بتن به بتن‌های روان (در اسلامپ‌های ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌متر) کاهش چشمگیری می‌یابد. همچنین در بعضی از نمونه‌ها به علت جداشدگی اتفاق افتاده در بتن، در پایین شیب از تعداد دانه‌های ریز کاسته شده و حضور دانه‌های درشت‌تر بیشتر مشهود می‌گردد.



شکل ۸- تغییرات خلل و فرج نمونه‌ها از پایین به بالای پانل‌ها



شکل ۹- محبوس شدن حباب هوا در در زیر دانه‌های درشت

این مشاهدات می‌توانند بیان کننده این مطلب باشند که در اجرای کانال‌ها با این روش، حداکثر اندازه‌ی درشت‌دانه‌ها و ضخامت پوشش بتنی باید محدود شود تا اولاً از ایجاد فضاهای خالی در زیر دانه‌های درشت جلوگیری شود؛ ثانیاً به علت عدم استفاده از ویبره در این روش عمق تأثیر تراکم توسط ماله محدود بوده و ضخامت انتخاب شده می‌باید محدود به توانایی تجهیزات تراکم انتخاب شود.

۱۰-۱- آزمایش خمشی ۴ نقطه‌ای

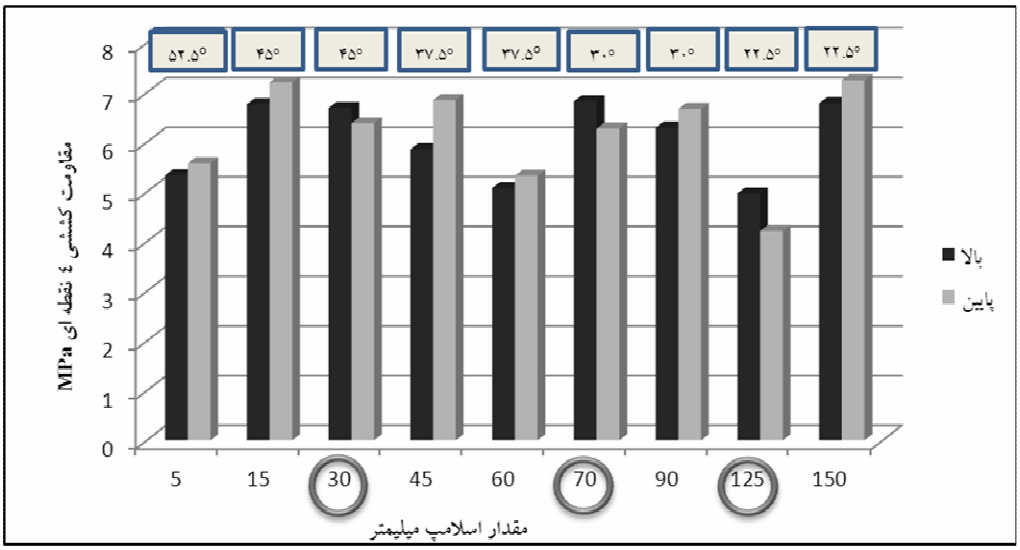
این آزمایش مطابق استاندارد ASTM C78 بر روی نمونه‌های منشوری با سرعت بارگذاری ۰/۲ (KN/S) انجام گردید که نتایج آزمایش نمونه‌های بریده شده در شکل (۱۰) آورده شده است (هر کدام از مقادیر نمودار میانگین ۳ نمونه از قسمت بالا و یا پایین شیب می‌باشند). به دلیل تراکم بهتر بتن در قسمت پایین شیب، طبیعی است که مقاومت کششی در این قسمت بیشتر از بالای شیب باشد. اما همان طوری که در نمودار مشخص شده است در سه شیب، مقاومت کششی قسمت بالا بیشتر از قسمت پایین شده است.

این مسئله به نحوه‌ی بتن‌ریزی مربوط می‌گردد. به طوری که در هر آزمایش، هرگاه بتنی با اسلامپ مشخصی در شیبی پایدار نبود شیب کاهش و عملیات پرداخت مجدداً انجام می‌گردید، حال آن که در اسلامپ‌های زیاد شیب قبلی موجب جداشدگی در بتن شده و دانه‌های درشت را به پایین می‌آورد. این دلیل برای توجیه بیشتر بودن مقاومت خمشی بالا نسبت به پایین برای اسلامپ‌های ۷۰ و ۱۲۵ میلی‌متر قابل قبول می‌باشد؛ ولی برای اسلامپ‌های ۳۰ میلی‌متر پذیرفته نیست. زیرا مقدار اسلامپ پایین بوده و همچنین طبق جدول (۵) در پروسه‌ی اجرای آن، شیب تغییر نکرده است.

باید توجه کرد که بتن با اسلامپ ۳۰ میلی‌متر در سری اول بتن‌ریزی، یعنی با افزایش ۰/۰۵ درصدی فوق روان‌کننده در هر مرحله، تهیه نشد و بعد از رسیدن به اسلامپ ۱۵۰ میلی‌متر، این اسلامپ با درصدی از فوق روان‌کننده مابین دو اسلامپ ۱۵ و ۴۵ میلی‌متر ایجاد گردید (جدول (۵)). با وجود سُر خوردن بتن در شیب ۴۵ درجه، به دلیل اهمیت این شیب در کارهای اجرایی با کمی ممارست سعی در نگهداری بتن در این شیب شد که کاهش مقاومت کششی را می‌توان به آن نسبت داد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰- نتایج آزمایش خمش ۴ نقطه‌ای نمونه‌های منشوری بریده شده از پانل

از این دلایل می‌توان نتیجه گرفت که در صورت شُره کردن (اسلامپ‌های ۷۰ و ۱۲۵ میلی‌متر) یا سُر خوردن (اسلامپ‌های ۳۰ میلی‌متر) بتن در یک شیب و سپس سعی در نگهداری آن، بتن با کاهش مقاومت کششی در قسمت پایین شیب مواجه می‌شود. این مطالب بیانگر اهمیت فراوان انطباق اسلامپ بتن مورد استفاده با شیب بستر محل بتن‌ریزی می‌باشد.

۱۰-۲- آزمایش مقاومت فشاری

از هر سه قسمت فوقانی، میانی و پایین پانل‌های بتنی، سه سری نمونه‌های مکعبی ۱۰۰× ۱۰۰× ۱۰۰ میلی‌متری با برش از پانل‌ها تهیه شد و بر روی نمونه‌ها، آزمایش مقاومت فشاری طبق استاندارد BS 1881:Part 116 با سرعت بارگذاری ۲ (KN/S) انجام گرفت. در این حالت نیز با وجود تراکم بیشتر بتن در پایین شیب، در بتن‌ریزی‌هایی که جداشدگی و یا عدم مطابقت شیب با اسلامپ وجود داشت، مقاومت فشاری نمونه‌های تهیه شده از قسمت پایین شیب کمتر از نمونه‌های مربوط به بالای شیب شده است.

۱۰-۳- آزمایش جذب آب

از بین نمونه‌های مکعبی و از نمونه‌های تهیه شده از بالا و پایین هر پانل، یک نمونه بعد از ۲۸ روز عمل‌آوری از حوض نگهداری خارج و پس از خشک نمودن سطح آن (حالت ssd) توزین می‌گردد و بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در دستگاه گرمکن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد دوباره وزن می‌شود. با توجه به وزن حالت تر و وزن حالت خشک جذب آب نمونه‌های بتنی مشخص می‌شود. در این حالت نیز به دلیل تراکم بیشتر بتن در پایین شیب پانل، جذب آب بتن در پائین شیب (به جز در اسلامپ‌های ۳۰، ۷۰ و ۱۲۵ میلی‌متر) کمتر از بالای شیب شده است.

جدول ۶- مقایسه‌ی نمونه‌های شاهد با نمونه‌های جدا شده از پانل

خواص نمونه	میانگین نمونه‌های شاهد	میانگین نمونه‌های از پانل جدا شده	مقایسه نمونه‌های پانل و شاهد	نمونه شاهد با ضعیف‌ترین مشخصات	نمونه جدا شده با بهترین مشخصات
مقاومت کششی ۲۸ روزه (MPa)	۸/۱۴	۶/۱۳	۲۴/۷ درصد کاهش	۷/۹۷	۷/۲۵
مقاومت فشاری ۲۸ روزه (MPa)	۷۲/۶	۵۰/۷	۳۰/۲ درصد کاهش	۷۱/۷۵	۶۰/۶۲
درصد جذب آب	۲/۷	۳/۶۱	۳۱/۳ درصد افزایش	۲/۸۶	۳/۱۴

www.SID.ir

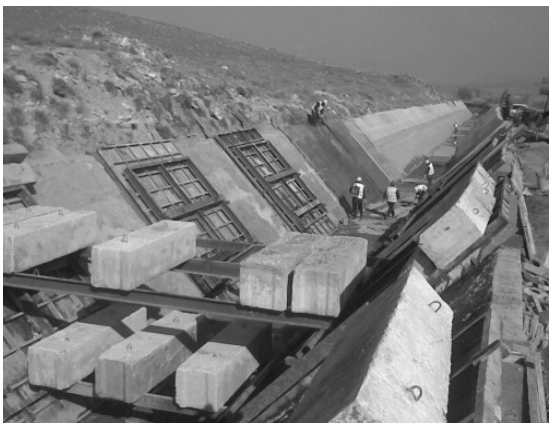
Archive of SID

۱۰-۴- مقایسه نمونه‌های بریده شده با شاهد

در جدول (۶) نیز نمونه‌های شاهد با کل نمونه‌های جدا شده از پانل مقایسه شده است. این جدول بیان کننده‌ی این مطلب است که عدم استفاده از ویبره در ساخت کانال‌ها به چه میزانی خواص مکانیکی بتن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین با مقایسه‌ی ضعیف‌ترین نمونه شاهد و بهترین نمونه جدا شده از پانل متوجه این نکته باید شد که حتی با بهترین شرایط اجرا نیز، هنوز با نمونه‌ی وبیره خورده فاصله‌ی زیادی وجود دارد و باید تمهیداتی اندیشید که بتوان در ساخت کانال‌ها از نوعی ویبره استفاده کرد.

۱۱- پیشنهاد اجرائی

با بررسی‌های صورت گرفته بر روی روش‌های اجرائی کانال‌ها در کشورهای مختلف روشی مشخص شد که شباهت زیادی به روش متداول در کشورمان دارد؛ با این تفاوت که در هنگام بتن‌ریزی روی سطح شیب‌دار، بر روی پروفیل‌های قوطی، قالبی قرار داده شده و به وسیله‌ی وزنه‌هایی مهار شده و سپس بتن‌ریزی به صورت لایه لایه بین قالب و بستر کانال صورت می‌گیرد. بعد از ریختن هر لایه بتنی، ویبره به داخل بتن فرستاده شده و کار تحکیم بتن انجام می‌گیرد. بعد از یک روز قالب‌ها برداشته شده و مراحل عمل‌آوری تکمیل می‌گردد. مزیت این روش جلوگیری از شره کردن بتن و تراکم مناسب آن و خروج کامل هوا نسبت به روش قبل می‌باشد (شکل (۱۱)).



شکل ۱۱- روش جایگزین، اجرای یک درمیان پانل‌های بتنی به وسیله‌ی قالب ثابت

۱۲- نتیجه‌گیری

با استناد به آزمایش‌های انجام یافته می‌توان نتیجه‌گیری‌های زیر را ارائه داد:

۱- پایداری بتن بر روی سطح شیب‌دار به عواملی چون زاویه‌ی اصطکاک داخلی سنگ‌دانه‌ها، چسبندگی ملات سیمان، ضریب اصطکاک بین بتن و سطح تماس زیرین آن، زاویه سطح شیب‌دار، طول و ضخامت پانل بتن‌ریزی بستگی دارد.

۲- در صورت ناپایداری بتنی با اسلامپ کم بر روی یک سطح شیب‌دار، بتن شکل ظاهری خود را حفظ کرده و به سمت پایین سُر می‌خورد. حال آن که ناپایداری بتنی با اسلامپ بالا بر روی سطح شیب‌دار باعث شُره کردن و جداشدگی سنگ‌دانه‌های آن می‌شود.

۳- افزایش اسلامپ به معنای افزایش کارایی بوده که علاوه بر سهولت پرداخت، باعث کاهش خلل و فرج در محل تماس بتن و قالب می‌شود.

۴- در تمام نمونه‌های برش خورده خلل و فرج بتن از پایین به بالا افزایش یافته و در بعضی از نمونه‌ها به علت جداشدگی، در قسمت پایین شیب پانل، از تعداد دانه‌های ریز کاسته شده و حضور دانه‌های درشت بیشتر مشهود می‌باشد.

۵- از مشاهده‌ی نمونه‌های برش خورده می‌توان به این مطلب رسید که در اجرای کانال با این روش حداکثر اندازه‌ی درشت دانه‌ها و ضخامت پوشش بتنی باید محدود شود؛ تا اولاً از ایجاد فضاهای خالی در زیر دانه‌های درشت جلوگیری شود؛ ثانیاً به علت عدم استفاده از ویبره در این روش عمق تـأثیر تراکم توسط

www.SID.ir

Archive of SID

ماله محدود بوده و ضخامت می‌باید محدود به توانایی تجهیزات تراکم انتخاب شود.

۶- در صورت شُره کردن یا سُر خوردن بتن در یک شیب و سپس سعی در نگهداری آن، نمونه بتنی دچار کاهش مقاومت کششی، کاهش مقاومت فشاری و افزایش درصد جذب آب در قسمت پایین خواهد شد. این می‌تواند دلیلی برای تشکیل ترک در $\frac{1}{3}$ بخش پایینی شیب پانل‌ها به هنگام بهره‌برداری باشد.

۷- با مقایسه‌ی نمونه شاهد و نمونه‌های تهیه شده از پانل، این نکته مشهود می‌گردد که حتی با بهترین شرایط اجرا نیز، هنوز با نمونه‌های ویبره خورده فاصله‌ی زیادی وجود دارد و باید تمهیداتی اندیشید که بتوان در ساخت کانال‌ها از نوعی ویبره استفاده کرد.

۱۴- مراجع

[1] Thandaveswara, B. S., "Hydraulics", Chapter 22, Indian Institute of Technology, Madras, 2008.

[2] Yu-Wen L., "Improving the Abrasion Resistance of Hydraulic-Concrete Containing Surface Crack by Adding Silica Fume", Construction and Building Materials, 2007, 2, 972-977.

[3] Metcalf, D., Latin, D. J., "Canal Lining with Fiber Reinforced Shotcrete", Arizona Department of Transportation, Report number: FHWA-AZ-8902, July, 1992.

[۴] کیوانی، ع.، "گزارش نهایی طرح پژوهشی بررسی عملکرد پوشش بتونی کانال‌های آبیاری با توجه به خصوصیات بستر محل"، کمیته‌ی تحقیقات شرکت سهامی آب منطقه آذربایجان شرقی، فروردین ۱۳۸۷.

[5] ASAE: American National Standards Institute, "Concrete Slip-form Canal Linings", FebRURY, 1998.

[6] Hahn, P., "Standard Construction Specifications", County of Sacramento Municipal Services Agency, Chapter 44, March, 2008.

[7] Lauritzen, C. W., "Lining for Irrigation Canals; Irrigation, Engineering and Maintenance", Part 1, Dec.1959, Part 2, Jan. 1960.

[۸] مقررات ملّی ساختمان: مبحث نهم، طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه، "جدول ۹-۶-۳- الف رده‌بندی سولفات‌ها در خاک و تدابیر احتیاطی توصیه شده برای مقاطع بتنی نازک"، نشر توسعه ایران.

[9] Malhotra, V. M., Mehta, P. K., "Pozzolanic and Cementitious Materials, Advances in Concrete Technology, Volume 1, Gordon and Breach Publishers; 1996.

[10] Steven, K. H., Kerkhoff, B., Panarese, W. C., "Design and Control of Concrete Mixtures", PCA: Portland Cement Association, Fourteenth Edition, 2003, Chapter 9, Page 153.

[11] ASTM Standards: C 42/C 42M - 04-" Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete", 2004.

www.SID.ir