

استفاده از بتن توانمند (H P C) در آب بندی ایستگاه های مترو اهواز و حذف عایق

۱- خشایار باقری نیا ۲- بهروز قراپنجه ۳- مهدی جوانمردی

شرکت کیسون - پروژه خط یک قطار شهری اهواز

۱- khashayarb@kayson-ir.com

۲- Behrouzg@kayson-ir.com

۳-Mehdij@kayson-ir.com

چکیده

با توسعه و پیشرفت روزافزون پروژه های ریلی مگا و بخصوص پروژه های ریلی در سطح کشور، ضرورت استفاده از سازه های مقاوم در برابر انواع عوامل مخرب و تاثیر گذار در عمر سازه ها (به جهت لزوم عمر بالای سازه در شرایط محیطی خورنده)، ایجاب می نماید تا از مصالح با دوام در برابر عوامل فوق مقاومت نموده تا بتواند عمر مفید سازه ها و در نهایت پروژه را تضمین نماید.

بیشترین عنصر مخرب بر سازه ها آب به همراه املاح مخرب مانند سولفات ها و یون های کلر مخرب میباشد، بنابراین چنانچه بتوان بنحوی از نفوذ آن به داخل سازه جلوگیری بعمل آورده شود و این کار در طی سال های بهره برداری از سازه تداوم داشته باشد، میتوان از عمر سازه در برابر عوامل مخرب جلوگیری بعمل آورد و اطمینان حاصل نمود. سازه در طول مدت زمان بهره برداری در برابر عوامل خورنده دوام کافی داشته باشد. برای جلوگیری از نفوذ املاح فوق به همراه آب راه حلهایی وجود دارد که برای سازه های زیر زمینی (ایستگاه های قطار شهری) در شرایط محیطی دارای خوردگی شدید طبق آیین نامه های رایج بایستی مورد استفاده قرار گیرند.

در پروژه خط یک قطار شهری اهواز با توجه به شرایط محیطی و الزامات طرح و همچنین استفاده از مهندسی ارزش با بکار گیری روش های اجرایی بهینه و اجبار عبور مسیر از مرکز شهر و قرار گیری ایستگاه ها در معابر اصلی و تجاری شهر موجب شد تا با رویکرد حذف سازه های موقت، نگهدارنده، قیود فشاری و همچنین حذف روشهای متداول عایقکاری، استفاده از بتن توانمند در سازه ها مورد استفاده قرار گیرد و از ویژه گی های مثبت آن بنحو کارآ و موثر بهره گرفت.

یکی از روش های منحصر بفرد در اجرای سازه ایستگاه ها بکارگیری روش اجرا از بالا به پایین (Top Down) بوده است. استفاده از این روش بدون بکارگیری بتن توانمند جهت اجرای آبنده سازه و جلوگیری از هجوم کلر و سولفات محیط های شدیداً خورنده میسر نبوده است و همواره پایایی بتن در طول مدت زمان بهره برداری مد نظر بوده است.

واژه های کلیدی: بتن توانمند، HPC، مهندسی ارزش، روش Top Down

مقدمه:

سالیهای زیادی است که بتن بعنوان یک ماده ساختمانی مهم در ساخت و سازه های بتنی چون ساختمانها، سدها، پلها، تونلها، راهها، اسکله ها و برجها و سازه های خاص دیگر کاربرد دارد. در اکثر موارد به بتن بعنوان ماده ای مقاوم در برابر نیروهای فشاری نگریسته می شده است. انجام پروژه های وسیع تحقیقاتی بر روی مواد مختلف تشکیل دهنده بتن و آزمایش بتن های مختلف با مواد جدید در سالهای آخر قرن اخیر منجر به پیدایش بتن هایی شده است که علاوه بر تأمین مقاومت خواص دیگری از این ماده نظیر دوام، کارایی، نرمی و مقاومت در برابر عواملی چون آتش و محیط و هواز دگی را دستخوش تغییرات اساسی نموده است. علاوه بر دگرگونی و تحول در مواد تشکیل دهنده بتن، افزودن مواد دیگری به بتن همچون افزودنیهای مختلف، انواع الیاف ها و حتی مواد زائدی که ارزش خاصی نداشته و باعث آلودگی محیط زیست نیز می شوند، موجب پیدایش بتن های جدید با خواص جدید و بهبود یافته شده است.

در سال های اخیر با احداث پروژه های مترو در کلانشهرهای کشور و در نظر داشتن شرایط زمین شناسی ساختگاه و سطح تراز آبهای زیر زمینی سازه های ایستگاه ها، موجب شده است تا روشهایی را برای جلوگیری از ورود و نفوذ آب و همچنین حمله سولفات ها و یون کلر اتخاذ نمایند.

متداولترین روشها استفاده از عایقکاری و بکارگیری ژئوممبرین ها در سال های اخیر در این پروژه ها بوده است.

شرایط ساختگاه پروژه خط یک قطار شهری اهواز:

پروژه خط یک قطار شهری اهواز بطول ۲۴ کیلومتر و ۲۳ ایستگاه زیر زمینی که توسط دو تونل بقطر داخلی ۵,۹۰ متر و قطر حفاری ۶,۸ متر که بیکدیگر وصل میشوند، از شمال شرقی اهواز با عبور از مرکز شهر و زیر رودخانه کارون و در نهایت به جنوب غربی شهر ختم میگردد در حال احداث میباشد.

بر اساس مطالعات و بررسی های سطحی و زیرسطحی و آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، شرایط ژئوتکنیکی و لایه بندی خاک، به سه ناحیه برای ایستگاه ها تقسیم بندی شده اند.

ناحیه اول: ناحیه شمالی پروژه ، شامل لایه اول تا عمق حدود ۲ متر خاک دستی، تا عمق ۹ الی ۱۳ متر خاک ریزدانه همراه با لنزهای ماسه ای و سپس به لایه های فوقانی سازند آجاجاری گلسنگ تشکیل شده است و تراز آب زیرزمینی در این ناحیه حدود ۲- متر می باشد.

ناحیه دوم: ناحیه میانی پروژه شامل: ایستگاه های واقع شده در مرکز شهر و عبور از زیر رودخانه کارون و رسیدن به تلاقی لایه های آبرفت جوان و ریزدانه آبدار می باشد. در این ناحیه لایه اول تا عمق حدود ۲ متر خاک دستی بوده و سپس تا عمق ۳۵ متری که گمانه زنی انجام شده است، لایه های متناوبی از رس و سیلت و ماسه می باشد. سطح آب در این ناحیه در عمق ۲- متری بوده و به علت وجود لایه های ماسه ای نشت آب و نفوذپذیری بسیار بالا می باشد.

ناحیه سوم: ناحیه جنوبی پروژه بطول تقریبی ۶ کیلومتر از محل تلاقی دولایه آبرفت جوان و ماسه ای آبدار شروع شده و تا انتهای پروژه ادامه می یابد. در این قسمت خاک تا عمق حدود ۲ متر خاک دستی بوده و سپس یک لایه خاک ریزدانه رسی تا عمق ۴ تا ۶ متر می باشد، پس از آن تا عمق ۳۵ متری که گمانه زنی انجام شده است، خاک ماسه ای ریزدانه بوده که در برخی قسمت ها لنز و لایه هایی از سیلت و رس نیز مشاهده می گردد. در این ناحیه نفوذپذیری بسیار بالا بوده و در برخی قسمت ها پتانسیل جوشش ماسه وجود دارد. از نظر آزمایشات شیمی آب و خاک، در هر سه ناحیه درصد سولفات (SO_4^{--})، بین ۰.۳ الی ۰.۵ درصد و کلر بین ۰.۱ الی ۰.۸ درصد متغیر می باشد.

شرایط محیطی ساختگاه در سه ناحیه:

با توجه به شرایط خاک و آب اهواز و همچنین قرارگیری سازه در مجاورت دائم با خاک و آب زیرزمینی، و بر اساس ویژگیهای شرایط محیطی مختلف ذکر شده در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، شرایط محیطی شدید در پروژه حاکم می باشد و لازم است الزامات آیین نامه برآورده گردد.

روشهای اجرایی اتخاذ شده در پروژه برای احداث ایستگاه ها:

انتخاب روش و اجرای سازه ایستگاه ها متناسب با شرایط و پارامترهای ژئومکانیکی توده خاک و سنگ در ساختگاه پروژه انجام شده است و بکارگیری هر روش منوط به موقعیت ایستگاه و قرارگیری در هر کدام از سه ناحیه میباشد.

روش اجرایی در بخشی از ناحیه اول:

اجرای شمع های درجا

یکی از روشهای متداول در پایداری و حفاظت جداره ها با شرایط متنوع اعم از زمین سخت و سست و نرم استفاده از شمع های درجا می باشد و در برخی موارد علاوه بر ایفای نقش حفاظت جانبی نقش آب بندی را نیز انجام می دهد و همواره در صورت نیاز بار قائم نیز تحمل می کند. مهار بندی جداره ها توسط شمع های درجا در موارد زیر بعنوان گزینه برتر برای سیستم های حفاظت جانبی گود مطرح می باشند:

- در مواردیکه امکان اجرای سپر فولادی (کوبیدن و نصب) وجود ندارد و یا سختی و تراکم زمین بیش از حد توان سپر کوبی و با دشواری زیادی مواجهه می باشد.
- در شرایطی که بدلیل وجود آبهای زیر زمینی و بالا بودن سطح آن نیاز به آب بند بودن جداره می باشد
- در مواردیکه امکان ایجاد مهارهای جانبی (کششی) در زیر ساختمانهای مجاورناشی از گود برداری وجود ندارد و یا در تلاقی با تاسیسات زیر بنایی شهری و مستحذات زیرزمینی (تونل) باشد.
- در مواقعیکه امکان استفاده از سیستم حفاظت گود بعنوان بخشی از سازه اصلی و باربری وجود داشته باشد

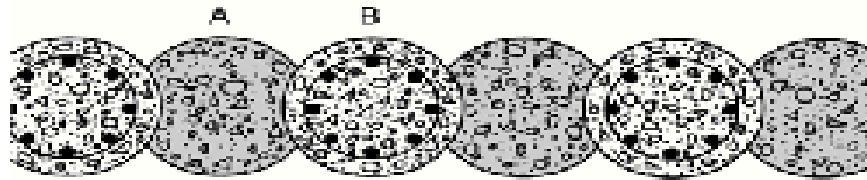
روشهای مختلف برای اجرای تکنیک های شمع های درجا ریز وجود دارد و متداول ترین آنها عبارتند از:

(الف) اجرای دیوار محافظت پیوسته (آب بند)

(ب) اجرای دیوار محافظت ناپیوسته

• اجرای دیوار محافظ پیوسته

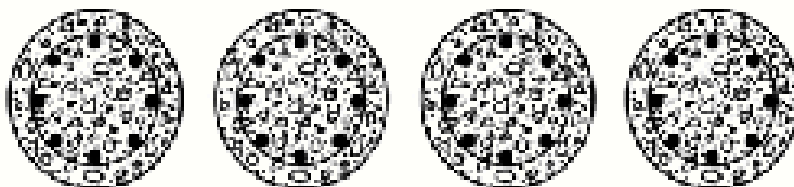
در این روش ابتدا شمع هایی با بتن پلاستیک یک درمیان حفاری و اجرا می گردد و سپس با رعایت هم پوشانی شمع های اصلی و سازه ای با رعایت احداث جداره زنجیره ای و پیوسته اجرا می گردد.



Interlocking

• اجرای دیوار محافظ ناپیوسته

در این روش با حفاری شمع های مسلح درجا به عمق ۲۰ متر و به قطر ۸۰ سانتیمتر بصورت پیوسته و ناپیوسته بنا به شرایط نفوذ آب های زیر سطحی اجرا شده است و جداره محافظ را برای جلوگیری از نفوذ و هجوم خاک و آب تشکیل داده است. در این فضای محافظت شده تلفیقی از شمع درجا و قیود افقی فشاری (استرات) سازه اصلی ایستگاه زیر زمینی از پائین به بالا از فونداسیون تا سقف نهایی اجرا شده است



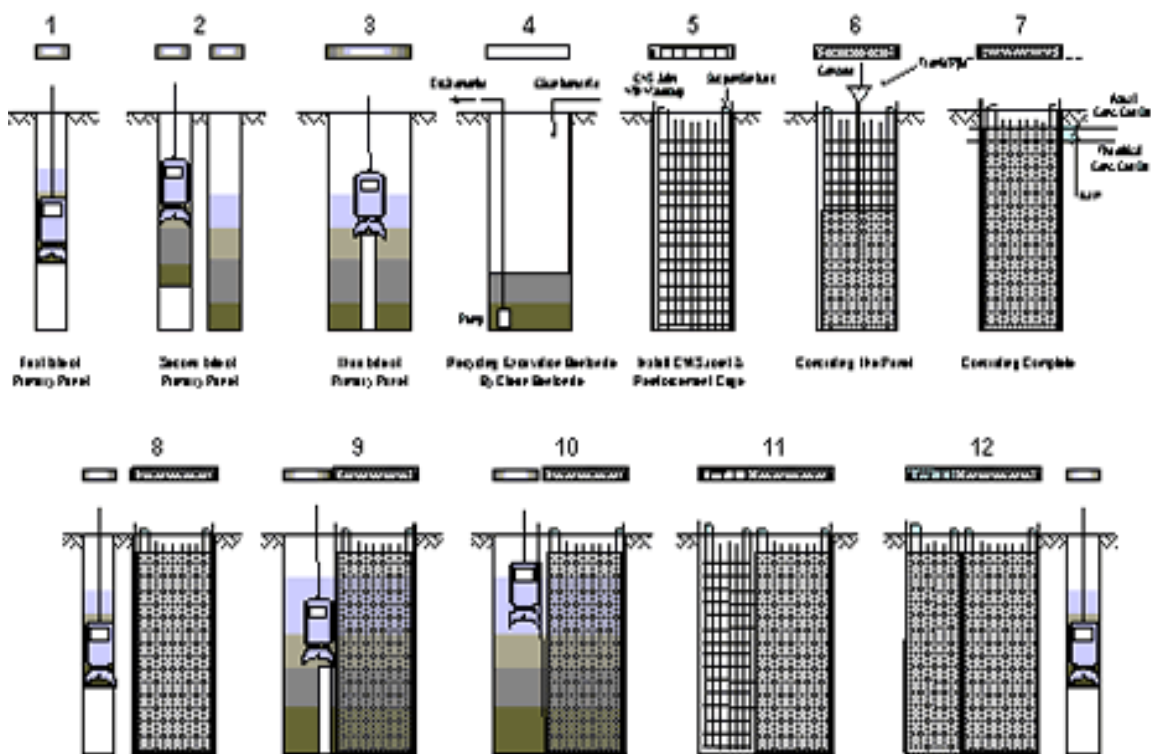
Contiguous

نکته: حد فاصل فضای بین جداره شمع ها و دیوار اصلی سازه در پروژه های دیگر از سیستم عایقکاری و با بکارگیری ژئوممبرین ها استفاده شده است.

روش اجرایی در ناحیه دوم و سوم:

اجرای دیوار دیافراگمی

یکی دیگر از روشهای محافظت از جداره گود احداث دیوار دیافراگمی و یا دیوار دوغایی Slurry Wall می باشد. این روش در زیر هسته سدهای خاکی نیز کاربرد بسیار دارد و جلوگیری از هرگونه نشستی را می نماید. استفاده از این تکنیک در مناطق شهری نیز با محدودیتهای نظیر استفاده از روش مهار بندی افقی و مایل و المانهای کششی دارا می باشد.



با بکارگیری این روش دیگر امکان استفاده از سیستم های عایقکاری و ژئوممبرین ها وجود ندارد و برای آبیندی سازه بایستی تدابیر دیگری اتخاذ گردد.

روش از بالا به پایین Top Down و استفاده از سقف های سازه به عنوان ساپورت نگهدارنده دیوار دیافراگمی

با توجه به موقعیت ایستگاه ها و مشخصات خاک در محل ساخت ایستگاه، هرکدام از روشهای فوق استفاده گردید. در قسمتهای مرکزی و جنوبی، به علت قرارگیری ایستگاه در مرکز شهر و مناطق تجاری و اداری، و همچنین به علت فاصله کم این سازه ها با سازه ایستگاه و ضمنا به دلیل نفوذپذیری بالای خاک، بایستی روشی انتخاب می شد که خطر نشست و تخریب سازه های اطراف به حداقل برسد، که این امر مستلزم این است که ساخت ایستگاه، کمترین تاثیر را در شرایط خاک و آب زیرزمینی منطقه ایجاد نماید مضافا اینکه غلبه بر نیروی بالادگی ناشی از فشار آب Uplift در زمان ساخت و قرارگیری سازه تا زمان بارگذاری تحت سرویس و نهایی بایستی با اصطحکاک بدنه بتن دیوار دیافراگمی و خاک تامین گردد. در این راستا جهت تامین کلیه موارد فوق و بخصوص جلوگیری از نفوذ آب و حمله سولفات ها از روش بالا به پایین و استفاده از دیوار دیافراگمی با بتن توانمند اجرا گردید. تا کنون و با توجه به ساخت چندین ایستگاه در مناطق مرکزی و مجاور ساختمانهای چندین طبقه، هیچگونه نشست و یا جابجایی در این سازه ها گزارش نشده است.

با توجه به تراز بالای سطح آب های زیر زمینی و وجود یون کلر و در معرض قرار داشتن حمله سولفات ها و بدلیل صرف هزینه های گزاف بابت عایقکاری ایستگاه ها و جلوگیری از نفوذ آب بداخل سازه از بتن توانمند بجای بتن معمولی و استفاده از سیستم های عایقکاری بررسی و اجرا شده است. بتن توانمند در صورت اجرای صحیح نسبت به بتن های معمولی دارای ویژه گی هایی هستند که موجب گردیده است تا در این پروژه جایگزین بتن معمولی و عایق قرار گیرند.

روش های محافظت در برابر خوردگی:

- استفاده از بتن نفوذناپذیر
- استفاده از مواد شیمیایی بازدارنده خوردگی
- پوشش محافظ روی آرماتور (اپوکسی یا فولاد گالوانیزه)
- استفاده از فولاد مقاوم در برابر خوردگی (فولاد ضد زنگ)
- مسلح کردن بتن با استفاده از مصالح غیر فولادی (فیبرهای پلاستیک)
- پوشش سطح در معرض بتن به وسیله پوشش های محافظ
- حفاظت کاتدیك
- ترکیبی از روش های فوق

با توجه به تراز بالای سطح آب های زیر زمینی و وجود یون کلر و در معرض قرار داشتن حمله سولفات ها پس از بررسی روش های فوق، استفاده از بتن توانمند مناسب ترین و مطمئن ترین روش تشخیص داده شد.

بتن توانمند (HPC (High Performance Concrete

بتن توانمند بتنی است که بتواند خواص مورد نیاز را برای عمر سازه در شرایط بهره برداری حفظ کند. همچنین بتنی است که در برابر نیازهای ناشی از شرایط محیطی خورنده توانایی پایایی داشته باشد در صورتی که بتن پرمقاومت، می بایستی نیازهای مقاومتی سازه را برآورده سازد. سطوح عمل کردی متفاوتی استفاده از بتن توانمند را اجتنابناپذیر می نمایند.

این سطوح، در هشت دسته زیر تقسیم می شوند:

- دوام در برابر سیکل های یانجماد-ذوب
- مقاومت پوسته شدگی در برابر نمک ها
- مقاومت در برابر سایش
- نفوذ یون کلر ناشی از نمک ها
- مقاومت فشاری
- الاستیسیته
- جمع شدگی
- خزش

مشخصات بتن توانمند

- کاهش نسبت آب به سیمان
- استفاده از دانه های مناسب
- استفاده حداکثر از میزان مصالح سنگی
- تراکم مناسب بتن

- استفاده از سیمان‌های مقاوم در برابر حمله سولفات‌ها
- استفاده از پوزولان‌های مناسب و میکروسیلیس
- استفاده از الیاف و افزودنیهای شیمیایی

ویژه گی های بتن توانمند

- قابلیت جایگیری و تراکم بسیار خوب، بدون جداشدگی بتن
- بهبود خواص مکانیکی در دراز مدت
- دوام و عمر مفید بسیار زیاد، در شرایط مهاجم
- نفوذناپذیری، مقاومت در برابر سایش و سیکل ذوب و یخ
- کارایی بالا.
- قابلیت پمپاژ بالا.
- قابلیت پرداخت بالا.
- کنترل کامل هیدراسیون بتن
- تداکم بدون جداشدگی

مواد تشکیل دهنده بتن توانمند

- سنگدانه های معمول در ساخت بتن
- انواع سیمان
- خاکستر بادی و سرپاره ی کوره های آهن گدازی
- فوق روان کننده های ممتاز (Super Plastizer)
- الیاف و دیگر افزودنیهای شیمیایی
- میکرو سیلیس

استفاده از میکروسیلیس در طرح اختلاط بتن توانمند

استفاده از میکروسیلیس در بتن مشخصه های فیزیکی خمیر تازه سیمان و همچنین ریز سازه ای خمیر فوق پس از گیرش و سخت شده را اصلاح کرده و موجبات اصلاح بهبود خواص مهندسی بتن از جمله چسبندگی و یکنواختی و خواص مکانیکی آن نظیر مقاومت‌های فشاری، کششی و خمشی، مقاومت پیوستگی با آرماتور، خزش و جمع شدگی و علی الخصوص دوام و مقاومت بتن در مقابل خرابی های ناشی از حملات شیمیایی، سایش، فرسایش و سیکل های یخ زدن و ذوب شدن را فراهم می نماید. ولیکن علیرغم داشتن تمامی این مزایا استفاده از آن مستلزم بکار بستن تکنیک های خاص و استفاده از تجربیات و آزمایشات کارگاهی و رعایت برخی از ملاحظات ضمن و پس از اجرا بوده زیرا که نادیده گرفتن آنها ممکن است خسارات جبران ناپذیری را بکار وارد نماید.

دوده سیلیس بسیار نرم و بصورت پودر می باشد و مرکب از مواد غیر بلوری با قطرهای بین ۰/۱ تا ۰/۲ میکرون است. جرم مخصوص آن ۲/۲ گرم بر سانتی متر مکعب و دارای بزرگترین سطح مخصوص با مقدار تقریبی 20m²/g می باشد سطح مخصوص سیمان 0.3m²/g تا 0.4 می باشد که حدوداً سطح مخصوص دوده سیلیس ۶۰ برابر سطح مخصوص سیمان می باشد چگالی ظاهری این ماده 200kg/m³ می باشد میزان سیلیس در دوده سیلیس ۸۵ تا ۹۸ درصد می باشد که بستگی به نوع محصول، کوره و کارخانه سیلیس دارد.

خواص مکانیکی بتن حاوی میکروسیلیس

- مقاومت فشاری
- خزش
- مقاومت پیوستگی

تاثیر بتن حاوی میکروسیلیس در دوام و پایایی بتن شامل:

- کاهش نفوذپذیری
- مقاومت سایشی بتن
- مقاومت در برابر سولفاتها (خوردگی شیمیایی)
- مقاومت در برابر نفوذ یون های کلرید (جلوگیری از خوردگی میلگرد در بتن)
- کاهش واکنش قلیایی سیمان با سنگدانه ها

- عملکرد روان کننده در بتن ، چگونگی انتخاب نوع و مقدار آن
- استفاده از ژل میکروسیلیس در تهیه بتن توانمند:

از آنجایی که سطح ویژه میکروسیلیس بسیار زیاد می‌باشد، استفاده از آن نیاز به آب آزاد بتن را افزایش می‌دهد. برای جلوگیری از افزایش شدید آب مورد نیاز بتن و جلوگیری از افزایش نسبت آب به سیمان، نیاز به استفاده از فوق روان کننده می‌باشد. همچنین به دلیل ذرات بسیار ریز میکروسیلیس، پخش و توزیع یکنواخت آن در بتن بسیار دشوار است و احتمال کلوخه شدن آن در تمامی مراحل ساخت بتن وجود دارد. لذا توصیه شده است که از طریق مخلوط نمودن آب و میکروسیلیس و فوق روان کننده، ژل میکروسیلیس ساخته شود و پس از اطمینان از یکنواختی ژل تولید شده، در مخلوط بتن استفاده گردد. لذا این مهم در پروژه قطار شهری اهواز مورد توجه قرار گرفت و سیستم تولید ژل میکروسیلیس راه اندازی گردید. لازم به ذکر است با توجه به حساسیت‌های بالای بر کیفیت بتن، استفاده از ژل‌های آماده (که اطمینانی بر نوع میکروسیلیس مورد استفاده در آنها وجود ندارد) استفاده نشده است.

نمونه هایی از استفاده ی بتن توانمند پروژه های عظیم عمرانی

پروژه ی میانگذر دریاچه ارومیه و همچنین پروژه ی تصفیه خانه سد بانه از جمله نمونه هایی با بکارگیری بتن توانمند در پروژه های کشور میباشد.

طرح اختلاط بتن توانمند

در تهیه طرح اختلاط بتن علاوه بر مقاومت فشاری ، دوام بتن بسیار مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به وجود سولفات و یون کلر موجود در آب و خاک شهر اهواز اهمیت نفوذناپذیری بتن به عنوان مهمترین پارامتر دوام جهت جلوگیری از حمله شیمیایی به بتن محدودیتهایی در تعیین نسبت آب به سیمان و مقدار مواد سیمانی موجود در بتن بوجود آورد. بنابراین از ابر روان کننده و میکروسیلیس در طرح اختلاط ها استفاده گردید. پس از آزمایشهای بسیار و بررسی نتایج بدست آمده ، طرح اختلاط هایی مطابق جدول زیر حاصل شد.

کلیه بتن های ایستگاهها شامل ۳ طرح اختلاط میباشد و ۲ طرح مربوط به بتن هایی است که با خاک و آبهای زیر زمینی در تماس می باشند.

۱- دیوارهای دیافراگمی

Mix no	Cement (kg/m ³)	Water (litr)	m-silica (%) c	w/c	sand	Gravel ⅔	Gravel ¾	additiv		remak
								type	dos	
Md 318	390	154	7%	0.37	1060	201	566	Fosroc sp2000	107	مقدار ۱ درصد جهت تهیه دوغاب میکروسیلیس و ۰٫۷ درصد جهت در محل بتن ریزی اضافه می شود

مقاومت فشاری بدست آمده در آزمایشگاه 449.5 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (۷روزه) و 611.8 و 605.1 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (۲۸ روزه) بوده و میزان نفوذ پذیری 3 میلیمتر می باشد.

در شرایط کارگاهی نیز نتایج بدست آمده حاصل از نمونه برداری ها بطور نمونه به شرح ذیل می باشد.

	Compressive stress kg/cm ²		Sample no	location	Penetration (mm)
	7 days	28 days			
Min	347.9	461.5	4027	S-05 نادری غربی - پانل	4.3
Max	468.6	614.9	4087	S-03 نادری غربی - پانل	2.7
			1054	S.34 پل ششم - پانل	5.3

۲- بتن های در تماسی با خاک و آب های زیر زمینی (فونداسیون - دیوارهای جانبی - سقف نهایی)

Mix no	Cement (kg/m ³)	Water (litr)	m-silica (%) c	w/c	sand	Gravel 3/8	Gravel 3/4	additir		Remak
								type	dos	
Md 381	360	147.7	8	0.37	1110	205	550	Fosrostr335	0.7	مقدار ۰.۵ درصد در جهت تهیه دوغاب میکروسیلیس و باقی ۰.۲ درصد در محل بتن ریزی به بتن اضافه می گردد.

مقاومت فشاری بدست آمده در آزمایشگاه 457 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (۷روزه) و 702 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع (۲۸ روزه) بوده و میزان نفوذ پذیری 5 میلیمتر می باشد.

در شرایط کارگاهی نیز نتایج بدست آمده حاصل از نمونه برداری ها به طور نمونه به شرح ذیل می باشد.

Sample no	location	Penetration (mm)
3879	مرکز فرهنگی - فونداسیون پارت ۲۲ و ۲۳ و ۲۴	2.5
3930	مصلی - دیوار پارت های ۱۱ و ۱۷ و ۲۰ شرقی لیفت سوم	3.5
4092	شهید بندر - دیوار پارت ۳ شرقی - لیفت آخر	2
4098	مصلی - دیوار پارت ۳ شرقی لیفت دوم	3
1073	سه راه فروردین - فونداسیون بین محور ۱۴ تا ۱۶	3

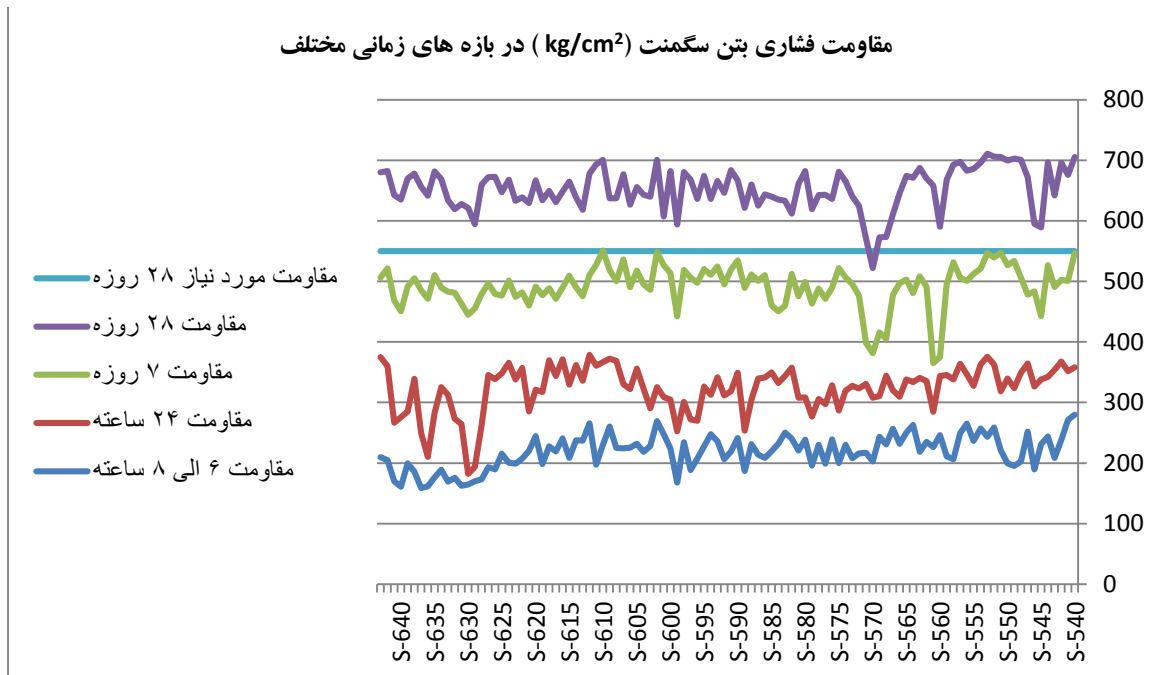
	Compressive stress kg/cm ²	
	7 days	28 days
Min	271.6	383
Max	456.1	614.8
Ave	366.8	484.4

همانطور که ملاحظه می گردد نتایج مقاومت فشاری های بدست آمده میزان مقاومت فشاری طرح را تامین نموده ضمن اینکه نفوذ پذیری نیز در محدوده low عبارتی پائین ترین نفوذ پذیری بتن (مطابق آئین نامه بتن های با نفوذ پذیری تا 10 میلیمتر جزء بتن های نفوذ ناپذیر می باشند) اندازه گیری و حاصل شده است.

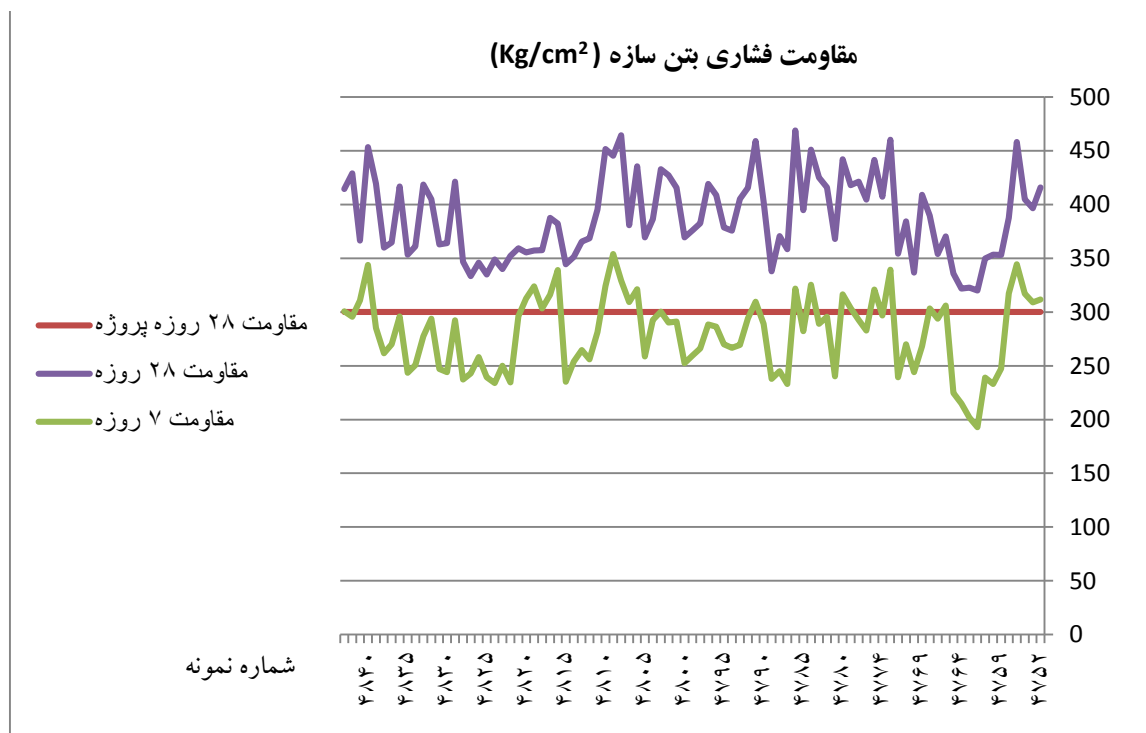
بررسی مقاومت فشاری نمونه های بتنی ریخته شده

نتایج حاصل از شکستن نمونه های تهیه شده از دو نوع طرح اختلاط مورد استفاده در کارگاه با مقاومت مشخصه های مورد نظر مطابق گراف های زیر میباشند.

الف : در تمامی موارد مقاومت فشاری بدست آمده از حد مورد انتظار بالاتر بوده است .

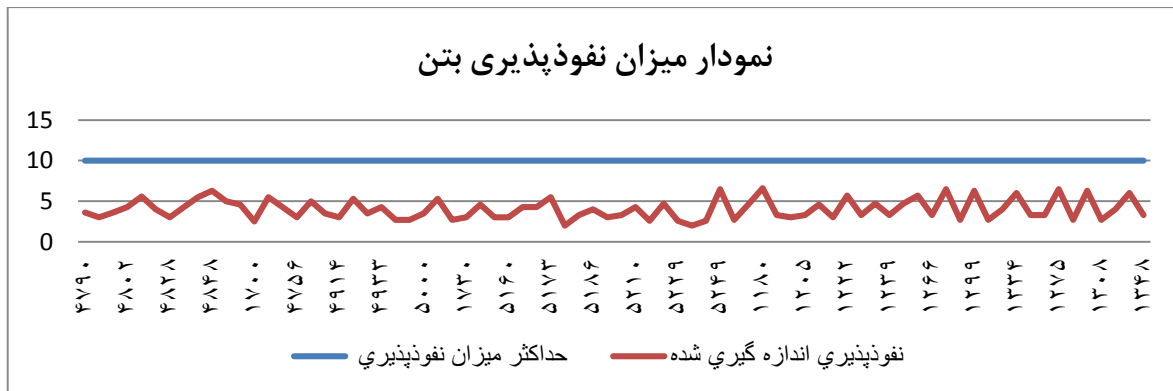


ب: در تمامی موارد مقاومت فشاری بدست آمده از حد مورد انتظار بالاتر بوده است .





-
-



نتایج آزمایش نفوذ پذیری بر روی بتن های توانمند ساخته شده در پروژه

مقایسه بتن توانمند حاوی میکروسیلیس و بتن معمولی و سازه عایق شده.

با توجه به این موضوع که در طرح های اختلاط مورد استفاده در این پروژه و مقاومت خواسته شده برای انواع بتن ها و در اثر استفاده از میکروسیلیس به میزان ۷ درصد وزنی سیمان و ساخت بتن توانمند، بطور متوسط کاهش ۱۰۰ کیلوگرمی در مقدار سیمان قابل ملاحظه بوده است، همچنین با عنایت به استفاده فوق روان کننده در طرح های یاد شده، مابه التفاوت هزینه ساخت یک متر مکعب بتن میکروسیلیس و بتن معمولی بطور متوسط در طول دوره اجرا قابل مقایسه بوده است .

نتیجه گیری:

- با استفاده از بتن آب بند با بکارگیری از بتن توانمند وعدم استفاده از عایق، اصطکاک بین دیوار دیافراگمی و خاک تامین شده و غلبه بر فشار بالازدگی آب (Uplift) بطور چشمگیری افزایش یافته است.
- در صورت استفاده از عایق، چنانچه عایق از محلی نامعلوم در زمان اجرا دچار سوراخ و پارگی شود یا به هر دلیلی نشستی داشته باشد، لزوماً محل نشست آب از بتن با محل نشست از عایق منطبق نخواهد بود و لذا رفع عیب با مشکلات زیادی همراه می باشد در صورتیکه محل نشست بتن آب بند در صورت وجود در محل ضعف بتن بوده قابل شناسایی بوده و با تزریق قابل رفع می باشد.
- بلحاظ استفاده از روش دیوار دیافراگمی و روش از بالا به پائین روش عایق بندی دیواره های بتنی در پروژه اهواز به مراتب بسیار گران تر از بتن آب بند با استفاده از بتن توانمند میباشد زیرا حد فاصل دیوار دیافراگمی و عایق دیوار دیگری بایستی برای پوشش عایق احداث شود که خود مستلزم صرف هزینه و زمان خواهد بود. درحالیکه با استفاده از بتن توانمند می توان عمر و دوام سازه را افزایش داده و جلوی آسیب رسیدن به میلگردهای درون بتن را گرفتند.
- بتن توانمند میکروسیلیس دار به علت خاصیت (قلیایی) باعث جلوگیری از خوردگی میلگرد و دوام بتن میشود. استفاده از میکروسیلیس سبب کاهش مصرف سیمان و در نتیجه افزایش دوام و بهبود خواص بتن می شود. محیط قلیایی شروع خوردگی میلگردها را به تأخیر می اندازد.
- آزمایشات نشان داده است خوردگی در بتن های حاوی میکروسیلیس در زمانی طولانی تر از بتن های معمولی شروع می شوند و علاوه بر این، شدت خوردگی نیز بسیار کمتر از بتن های عادی است .
- شدت خوردگی بتن حاوی میکروسیلیس نیز ۰.۳٪ در مقابل ۳.۶۵ میکرو آمپر متر بر سانتیمتر مربع برای بتن معمولی است. بنابراین به طور کلی میکروسیلیس پایایی بتن را در مقابل خوردگی افزایش داده و باعث کاهش احتمال خوردگی میلگرد در داخل بتن می شود، که این عمل در نتیجه کاهش نفوذپذیری بتن در برابر انتشار یون کلر و افزایش مقاومت الکتریکی بتن صورت می گیرد .
- افزایش مقاوت الکتریکی بتن از تحرک و انتقال یون ها می کاهد و این موجب کاهش شدت خوردگی می شود. به طور کلی مقاوت الکتریکی تنها خاصیت بتن است که با تمام عوامل کنترل شدت خوردگی ارتباط دارد. هر چند ممکن است این طور به نظر برسد که مقدار و چگونگی توزیع اندازه منافذ عامل مهم کنترل شدت خوردگی باشد، اما ظاهراً نوع، مقدار و قدرت تحرک یون ها، در بتن حاوی میکروسیلیس عامل اصلی کنترل شدت خوردگی است .
- مقاوت الکتریکی بتن های حاوی ۱۰ درصد میکروسیلیس بیش از ۳ برابر بتن های معمولی به دست آمده است . اصولاً به دلیل تحرک کم یون ها در بتن های دارای مقاوت الکتریکی زیاد، این بتن ها از نظر خوردگی دارای عمر طولانی تری می باشند .
- عایق نمودن ایستگاه به روش های سنتی و با استفاده از ژئوممبرین ها مستلزم ساخت یک باکس بیرونی و سپس عایقکاری روی دیوارهای آن می باشد و سپس ساخت باکس داخلی، چگونگی حفاظت باکس بیرونی در مقابل عوامل مخرب بتن و دوام باکس بیرونی و عمر آن بایستی مد نظر قرار گیرد.
- بتن توانمند موجب افزایش عمر سازه بتنی شده و مدت زمان بهره برداری از پروژه را افزایش می دهد ضمناً اصلاح و تعمیر و نگهداری بتن توانمند بسیار سهلتر و کم هزینه تر از روش های عایق بندی خواهد بود.

مراجع:

- [1]Carino, Nicholas J., and Clifton, James R., "High-Performance Concrete: Research Needs to Enhance Its Use," Concrete International, V. 13, No. 9, September 1991, pp. 70-76.
- [2]Neville, A., and Aitcin, P. C., "High Performance Concrete-An Overveiw," Materials and Staructures, V. 31, March 1998, pp. 111-117.
- [3]Zia, P., Leming, M. L., and Ahmad, S. H., "High Performance Concrete, A State-of-the-Art Report," SHRF-C/FR91-103, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1991.
- [4] Nawy, E.G., "Fundamentals of High-Performance Concrete," Second Edition, John Wiley & Sons, 2001, pp. 123-136.

- [5] علی اکبر رمضانپور، منصور پیدایش، "میکروسیلیس و ضریب بازده آن در مقابل بتن"، سمینار بین المللی کاربرد میکروسیلیس در بتن، اردیبهشت ۱۳۷۸ - تهران
- [6] صدر ممتاز، علی، "ارزیابی دوام بتن با مقاومت زیاد (حاوی دوده میکرو سیلیس در برابر یخبندان"، اولین سمینار بین المللی بتن و توسعه، اردیبهشت ۱۳۷۸ - تهران