

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- Mehdi@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، بنابر این 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 قرارگیری 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 هوازگی 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.

در این مقاله استفاده از بتن توانمند و جایگزینی آن با عایقکاری در ایستگاه های خط یک قطار شهری اهواز مورد بررسی قرار گرفته 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.

براساس 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 که از ابتدای خط مترو بطول حدوداً ۹ کیلومتر تا ایستگاه مصلی امتداد دارد، 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 آغاجاری گلستنگ تشکیل شده است و تراز آب زیرزمینی در این ناحیه حدود ۲- متر می باشد.

ناحیه دوم: ناحیه میانی پروژه بطول تقریبی ۹ کیلومتر شامل: ایستگاه های واقع شده در مرکز شهر و عبور از زیر رودخانه کارون و رسیدن به تلاقی لایه های آبرفت جوان و ریزدانه آبدارمی 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

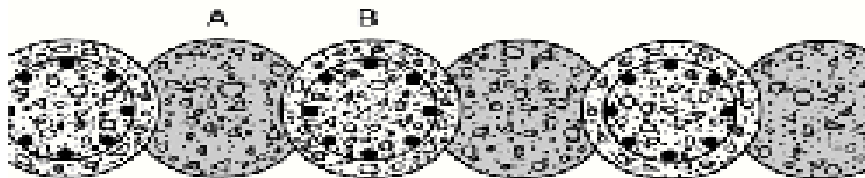
روشهای مختلف برای اجرای تکنیک های شمع های درجا ریز وجود دارد و متداول ترین آنها عبارتند از:

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.

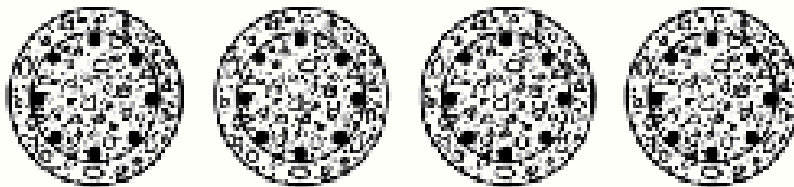


Interlocking

• اجرای دیوار محافظ ناپیوسته

در مواردیکه توده خاک و سنگ دارای چسبندگی زیاد بوده و سطح آبهای زیر پایین بوده می توان از شمع های درجا ریز ناپیوسته و با فاصله استفاده نمود. در این روش بدلیل چسبندگی بین دانه ها خاک بین شمع ها با وجود پدیده قوس خوردگی پایداری جانبی وجود دارد. با در نظر گرفتن شرایط و پارامترهای ژئوتکنیکی خاک معمولاً حداکثر فاصله محور تا محور شمع های اصلی ۲ برابر قطر شمع ها می باشد همچنین در این روش پایداری در برابر نیروهای جانبی نیز مدنظر قرار می گیرد این روش در پایداری های کوتاه مدت کارایی داشته و در اثر مرور زمین احتمال هوازگی بین شمع ها وجود دارد و در دراز مدت نیز تغییرمشخصات خاک و برخی از پارامترهای آن مانند ازدست دادن آب و یا حالت اشباع پیدا نمودن آن باعث ریزش خاک بین شمع ها شده و برای جلوگیری از آن می توان از بتن پاشی (شاتکریت) و با بستن مش پوشش لازم را جهت پایداری ایجاد نمود.

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



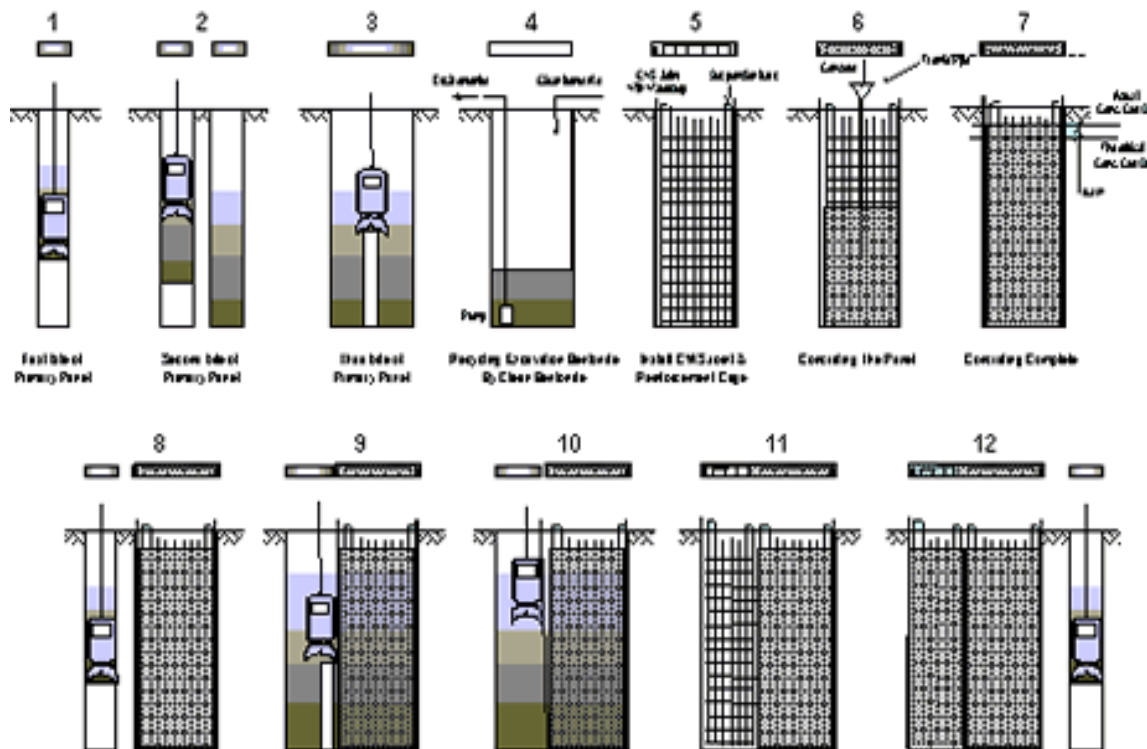
Contiguous

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 دوغابی Slurry Wall می باشد. در این روش ابتدا توسط دستگاههای گراب متناسب با شرایط زمین حفاری قسمتی از دیوار انجام می شود و همزمان با حفاری جهت پایداری جداره دیواره حفاری شده و جلوگیری از ریزشهای موضعی از دوغاب بنتونیت استفاده می شود تشکیل کیک بنتونیت در داخل دیواره حفاری شده و نفوذ در لایه های دانه ای جداره باعث می گردد جداره همواره پایدار بماند و سپس بلافاصله پس از رسیدن به عمق مورد نظر آرماتور گذاری شده و در نهایت بتن ریزی می گردد. 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 ضمناً 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 مضافاً اینکه غلبه بر نیروی بالازدگی ناشی از فشار آب Uplift در زمان ساخت و قرارگیری سازه تا زمان بارگذاری تحت سرویس و نهایی بایستی با اصطحاک 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 ویژگی هایی هستند که موجب گردیده است تا در این پروژه جایگزین بتن معمولی و عایق قرار گیرند.

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. به طور کلی بتن توانمند را میتوان بر حسب مقاومت و دوام آن عنوان نمود. بطور نمونه:

گروهی از محققین بتن توانمند مورد استفاده در روسازی را بر حسب مقاومت، دوام و نسبت آب به سیمان به اینگونه تعریف کرده اند:

۱- این بتن باید خصوصیات مقاومتی زیر را دارا باشد:

مقاومت فشاری ۴ ساعته ی آن بیش از ۱۷.۵ مگاپاسکال باشد و به آن بتن زود سخت شونده گویند.

مقاومت فشاری ۲۴ ساعته ی آن بیش از ۳۵ مگاپاسکال باشد و به آن بتن با مقاومت اولیه ی بالا گویند.

مقاومت ۲۸ روزه ی آن بیش از ۷۰ مگاپاسکال باشد و به آن بتن با مقاومت بسیار بالا گویند.

۲- پس از ۳۰۰ مرتبه یخ زدن و آب شدن دارای ضریب دوام بیش از ۸۰٪ باشد.

۳- نسبت آب به مصالح سیمانی آن کمتر از ۰.۳۵ باشد.

چنانچه بتن با مقاومت بالا دارای خواص دیگری بر حسب نوع کاربرد آن باشد ، می تواند به عنوان بتن توانمند در نظر گرفته شود .
عموما با بالا رفتن مقاومت بتن ، سایر خواص آن نیز بهبود می یابند .

مشخصات بتن توانمند

- کاهش نسبت آب به سیمان
- استفاده از دانه های مناسب
- استفاده حداکثر از میزان مصالح سنگی
- تراکم مناسب بتن
- استفاده از سیمان های مقاوم در برابر حمله سولفات ها
- استفاده از پوزولان های مناسب و میکروسیلیس
- استفاده از الیاف و افزودنیهای شیمیایی

ویژه گی های بتن توانمند

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

مواد تشکیل دهنده بتن توانمند

- سنگدانه های معمولی
- سیمان پرتلند معمولی
- خاکستر بادی و سرباره ی کوره های آهن گدازی
- فوق روان کننده ها
- 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 مقاومت های 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

مواد سیلیس در جریان هیدراتاسیون سیمان با هیدروکسیدکلسیم Ca(OH)_2 آزاد شده از آگیری سیمان ترکیب شده و یک ترکیب جدید بصورت ژل (C-S-H) را می سازد که این ترکیب عنصر اصلی مقاومت اضافی بتن های حاوس میکروسیلیس می باشد همچنین باعث کاهش تخلخل و بهم فشردگی ذرات متشکله می گردد.

• خزش

بطور کلی افزایش مقاومت فشاری بتن سبب کاهش خزش می گردد، تحقیقات نشان می دهد که با افزودن بیش از ۷ درصد دوده سیلیس به بتن خزش در مقایسه با بتن بدون دوده سیلیس و مقاومت مشابه کمتر است. همچنین بتن مقاوم با ده درصد میکروسیلیس دارای ضریب خزش حدود ۲۰ درصد بتن معمولی است.

• مقاومت پیوستگی

میکروسیلیس با کاهش آب انداختن در بتن تازه، تجمع آب آزاد در زیردانه ها و فولاد را کاهش داده و مقاومت پیوستگی را افزایش می دهد. با افزایش مقدار دوده سیلیس، مقاومت بیرون کشیدگی آرماتور از داخل بتن بتحوی قابل توجه افزایش می یابد این پدیده بخاطر کاهش ضخامت و تخلخل منطقه انتقالی بین سیمان و فولاد و بهبود زیر ساختار ناحیه فصل مشترک آنها است.

تاثیر بتن حاوی میکروسیلیس در دوام و پایداری بتن

• اثرات میکروسیلیس در کاهش نفوذپذیری

فعالیت پوزولانی میکروسیلیس در جریان هیدراتاسیون سیمان موجب می شود کریستال های هیدروکسیدکلسیم آزاد به سیلیکات کلسیم آبدار تبدیل شود همچنین خاصیت پرکنندگی میکروسیلیس باعث توزیع یکنواخت و همگن محصولات بدست آمده از هیدراتاسیون در مخلوط می شود و نهایتاً ترکیب هر دو خاصیت پرکنندگی و پوزولانی میکروسیلیس سبب بوجود آمدن جسمی متراکم و کم تخلخل شده و نهایتاً باعث کاهش نفوذپذیری بتن و کاهش درجه قلیائیت آن می گردد.

• اثر استفاده از میکروسیلیس در مقاومت سایشی بتن

مقاومت سایشی مربوط به سختی مقاومت لایه های سطحی بتن است (عمدتاً تا ضخامت چند میلیمتر) و عامل مهمی در تعیین دوام بتن می باشد. همچنین تحقیقات نشان می دهد مقاومت در برابر سایش با مقاومت بتن رابطه نزدیکی دارد. لذا با توجه به اینکه استفاده از میکروسیلیس باعث افزایش مقاومت فشاری بتن شده و از طرفی موجب کاهش نفوذپذیری و کاهش آب انداختن بتن می شود. (این مورد سبب سختی و مقاومت لایه های سطحی می شود) نهایتاً مقاومت سایشی بتن افزایش خواهد یافت.

• مقاومت در برابر سولفات ها (خوردگی شیمیایی)

آسیب پذیرترین قسمت خمیر سیمان در مقابل آب و مواد شیمیایی هیدروکسیدکلسیم است. در محیط های آلوده به سولفات ، واکنش هیدروکسیدکلسیم با سولفات های محلول، تولید گچ می کند که آن بنوبه خود با آلومینات های موجود در خمیر سیمان ترکیب شده و سولفوآلومینات کلسیم آبدار، اترینگایت می دهد چه گچ و چه اترینگایت، متورم شده و باعث تخریب بافت بتن می شود. کاربرد میکروسیلیس در بتن تا حدود ۱۰ درصد علاوه بر این که قابلیت نفوذ بتن را کم می کند سبب می شود که بخش عمده هیدروکسیدکلسیم به سیلیکات کلسیم آبدار که قابل شسته شدن با آب نیست تبدیل شود و باقیمانده آن به شکل بلورهای کوچکتری نسبت به هیدروکسیدکلسیم در خمیر سیمان خالص متبلور شود که دلیل کوچک و دور از هم بودن و احتمال ضعیف نشت آب به سادگی با آب شسته نمی شود. لذا خطر شسته شدن و رفتن مواد با آب کم شده و امکان تشکیل گچ کاهش می یابد. علاوه ، سیلیکات آبدار کلسیم حاصل که می تواند آلومینیم موجود و خمیر سیمان را احاطه نماید. مقدار آلومینیم آزاد را کم کرده و از تشکیل اترینگایت ممانعت بعمل می آورد. به این ترتیب مصرف میکروسیلیس در بتن آن را در مقابل حمله مواد شیمیایی مقاوم می سازد.

• مقاومت در برابر نفوذ یون های کلرید (جلوگیری از خوردگی میلگرد در بتن)

در بتن های معمولی ساخته شده با سیمان پرتلند و یا بعضی پوزولان ها، عوامل متعددی از قبیل کاهش مقدار و اندازه منافذ و افزایش یون های کلر پیوند یافته در کاهش نفوذ کلر و شدت خوردگی آرماتور نقش دارند. ولی در بتن میکروسیلیس ، تحرک کم یونهای کلر کنترل کننده اصلی در نفوذ کلر می باشد به عبارت دیگر وجود میکروسیلیس در بتن سبب می شود که از تحرک یون های کلر کاسته شود و در نتیجه عمق نفوذ کلر نیز کاهش می یابد. یون پتاسیم K از جمله یونهایی است که عامل محرک یون های دیگر بخصوص کلر محسوب می شود در حالی که این یون (K) در بتن دارای میکروسیلیس به مراتب کمتر از بتن معمولی است از طرف دیگر یون سیلیس (Si) از نقطه نظر تحرک در حالت تقریباً کما قرار دارد و از تحرک یون های دیگر بخصوص کلر می کاهد و در بتن میکروسیلیس مقدار یون Si به مراتب بیشتر از بتن معمولی است پس از آغاز خوردگی ، تحرک یون ها نیز عامل مهم در مقدار شدت خوردگی است به عبارت دیگر حتی اگر کلر به سطح آرماتور در بتن میکروسیلیس برسد، دلیل تحرک کم یون ها (مانند OH) از شدت خوردگی کاسته می شود.

دومین عاملی که در کاهش نفوذ کلر و شدت خوردگی در بتن میکروسیلیس نقش دارد وجود پیچ و خمهای زیاد در منافذ است که از تحرک یونها می کاهد.

• کاهش واکنش قلیایی سیمان با سنگدانه ها

با توجه به این موضوع که این پدیده ناشی از واکنش نامطلوب مواد قلیایی موجود در سیمان با سیلیس بی شکل و قابل حل موجود در سنگدانه ها است حضور میکروسیلیس در لعاب سیمان سبب کاهش سریع مواد قلیایی موجود در آب حفره ای لعاب ، شده و این مواد از دسترس خارج ساخته و از واکنش بعدی آنها با سیلیس موجود در سنگدانه ها، که براحتی در آب موجود در بتن حل می شود ممانعت می کند. همچنین میکروسیلیس معمولاً آب اضافی خمیر سیمان را جذب کرده و حل شدن سیلیس موجود در سنگدانه را مشکل می کند به این ترتیب مصرف میکروسیلیس در بتن احتمال بروز پدیده واکنش قلیایی را تا حد نزدیک به صفر کاهش می دهد.

• عملکرد روان کننده در بتن ، چگونگی انتخاب نوع و مقدار آن

بدون استفاده از مواد روان کننده عملاً تولید بتن میکروسیلیس در کارگاه با کارایی مناسب امکان پذیر نمی باشد. استفاده از میکروسیلیس همراه بامواد فوق روان کننده باعث می گردد که دانه های بسیار ریز و کروی شکل میکروسیلیس از هم جدا شده و در حد فاصل دانه های سیمان پراکنده گشته و بنوبه خود همانند ساچمه به حرکت دان ها بر روی هم و روانی مخلوط کمک می کند یک ماده روان ساز به توزیع و پراکندگی بهتر ذرات سیمان و میکروسیلیس کمک خواهد کرد. برای تعیین مقدار مناسب روان کننده جز آزمایش و توسل به روش آزمون و خطا راهی وجود ندارد و معمولاً معیار قضاوت، نسبت آب به مواد سیمان است. اگر منظور دستیابی به بیشترین مقاومت بتن باشد باید کار را با کمترین مقدار ممکن نسبت آب به مواد سیمانی آغاز کرد. که طبعاً بیشترین مقدار فوق روان کننده نیاز خواهد بود. اگر روانی و قوام بتن هدف اصلی باشد، باید بیشترین مقدار نسبت آب به سیمان را که با مقاومت مورد نظر سازگار باشد اختیار نمود و مقدار روان کننده را آنقدر تغییر داد که کارایی مورد نظر بتن بدست آید. لازم به ذکر است که عملکرد روان کننده های مختلف با سیمان های متفاوت حتی اگر سیمان ها از یک نوع مثلاً تیپ I باشد متفاوت است. این تفاوت از یک سوء مربوط به مقدار ناچیز برخی از مواد موجود در سیمان ها است که معمولاً در مشخصات سیمان ها درج نمی شود و از سوی دیگر مربوط به روان کننده ها است که استاندارد پذیرش خیلی مشخصی ندارند. مجموعه این عوامل گاه سبب می شود که یک نوع روان کننده با یک نوع مشخص سیمان، سازگاری نداشته باشند. عدم توجه به این مسئله و مصرف روان کننده بدون انجام آزمایش های لازم ممکن است بروز مشکلاتی را سبب گردد.

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 میباشند 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 ¾	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/a ²			Sample no	location	Penetration (mm)
7 days		28 days			
Min	347.9	461.5	4027	S-05 نادری غربی - پانل	4.3
			4087	S-03 نادری غربی - پانل	2.7
Max	468.6	614.9	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)

Mi x no	Cemen t (kg/m ³)	Wate r (litr)	m-silica (%) c	w/c	sand	Grav el ¾	Grav el ¾	additir		Remak
								type	dos	
Md 381	360	147.7	8	0.37	1110	205	550	Fosroc str335	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



•

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

نتیجه گیری:

Uplift

-
-
-
-
-
-
-
-
-
-

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]

i

[6]