دومین کنفرانس بین المللی
مهندسی عمران، معماری و مدیریت بحران
با مجوز شماره ۱۶/۲۸۰۷۳۸ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
خرداد ماه ۱۳۹۶
2nd International Conference on
Civil Engineering, Architecture & Crisis Management

روند ساخت و تولید شمع های بتنی پیش تنیده

محمدعلی دشتی، اسماعیل نیک ورز
استادیار گروه مهندسی عمران ، واحد یزد ، دانشگاه آزاد اسلامی ، یزد ، ایران
دانشجو کارشناسی ارشد سازه ، واحد یزد ، دانشگاه آزاد اسلامی ، یزد ، ایران

چکیده

ناگفته پیداست که ضعف اصلی بتن مقاومت کششی آن است. منظور از پیش تنیدگی، اعمال نیروی کششی به آرماتور های فولادی قبل از گیرش بتن است که باعث می شود پس از اتمام گیرش اولیه در بتن نیروی فشاری بوجود آید. وجود تنش های فشاری در بتن، باعث خنثی شدن تنش های کششی ناشی از بارگذاری خمشی یا کششی می شود. پیش تنیدگی سختی عضو را افزایش داده و این امکان را به طراح می دهد که از مزیتهای فولاد پر مقاومت استفاده نماید. در شمع های بتنی پیش تنیده عیار بالای سیمان، نسبت پائین آب به سیمان، استفاده از سنگدانه های گرانیتی، خروج آب و تراکم در حین عملیات گریز از مرکز منجر به تولید بتنی با نفوذ پذیری بسیار اندک می گردد. هر چه نفوذ پذیری بتن کمتر باشد، مقاومت آن در برابر نفوذ عوامل مخربی مانند یون کلر و سولفاتها بیشتر بوده و لذا دوام آن بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. امروزه مهمترین شاخص در تعیین دوام و پایائی بتن، نفوذ پذیری آن است. شمع های بتنی لوله ای بدلیل عیار بالای سیمان (بیش از ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب)، نسبت بسیار پائین آب به سیمان (کمتر از ۰,۳۲) و تراکم ایجاد شده در حین عملیات گریز از مرکز، نفوذ پذیری بسیار اندکی داشته و تقریباً می توان گفت که نفوذ ناپذیرند. درجه نفوذ پذیری این شمع ها به حدی پائین است که حتی در شرایط دریائی و در ناحیه جذر و مدی نیز نیازی به پوشش های مرسوم ندارند.

کلمات کلیدی : شمع های بتنی ، پیش تنیده ، گریز از مرکز ، دوام و پایائی

مقدمه

یکی از مهمترین مسائل روز در سازه ها بحث پایداری آنها در طول مدت بهره برداری می باشد که اهمیت این موضوع در سازه های دریایی به دلیل عوامل مخرب دریا و هزینه ساخت و نگهداری بالا، بیشتر جلوه می کند. استفاده از شمع های بتنی پیش تنیده که بصورت پیش ساخته تهیه می شوند از جمله روشهای افزایش طول عمر سازه های دریایی است . شمع های پیش تنیده بیش از ۵۰ سال است که در پروژه های مختلف در ژاپن مورد استفاده قرار می گیرد و از سال ۱۹۷۵ وارد کشور مالزی شده است.در کشور ما در گذشته از این نوع شمع ها استفاده می شده ولی تا مدت ها بکارگیری آنها در کشور به دلایلی چند متوقف بوده است، خوشبختانه هم اکنون مجددا مورد توجه قرار گرفته است.

حمل و نقل شمع ها از مرحله ساخت تا استقرار و همچنین تنش های ایجاد شده در هنگام کوبش از مهمترین عوامل ایجاد تنش های کششی در شمع ها هستند. به دلیل ضعف ذاتی بتن در کشش، وقوع ترک های عرضی در شمع های پیش ساخته معمولی(بدون پیش تنیدگی) بسیار محتمل است. پیدایش ترک در شمع بتنی خصوصا در شرایط خورنده جنوب ایران به معنای از بین رفتن بتن و آرماتور در اثر نفوذ یون کلر ، حمله سولفات، واکنش های قلیائی و ... می باشد. پیش تنیدگی علاوه ب جلوگیری از وقوع ترک های حین نصب ، از باز ماندن ترک های مقطعی ناشی از بیش بارگذاری نیز ممانعت بعمل می آورد.

۱- مراحل ساخت و تولید

۱-۱ برش میلگردها

در شمع های بتنی لوله ای پیش تنیده سه نوع آرماتور مسلح کننده استفاده می شوند:

آرماتورهای طولی پیش تنیدگی

آرماتورهای طولی معمولی

آرماتورهای عرضی اسپیرال

آرماتورهای پیش تنیدگی و نیز آرماتورهای طولی معمولی که به شکل حلقوی انبار شده اند توسط دستگاههای مکانیکی به حالت مستقیم در آمده و به اندازه های موردنظر بریده می شوند.

۱-۲ تغییر شکل انتهای آرماتورهای پیش تنیدگی

یکی از مراحل مهم، کشش آرماتورهای پیش تنیدگی به اندازه مطلوب می باشد. برای ممکن نمودن این گام، تغییر شکل انتهای آرماتورهای پیش تنیدگی ضروری است. بدین منظور انتهای آرماتورهای پیش تنیدگی با استفاده از دستگاههای ویژه ای گرم شده و پس از نرم شدن، تحت فشار گرد می شوند. اندازه برجستگی سر آرماتورها می بایست متناسب با اندازه سوراخهای تعبیه شده در صفحات فولادی انتهائی شمع باشد. این تناسب با استفاده از شابلون های ویژه ای کنترل می گردد.

شکل ۱ : تغییر شکل انتهای آرماتورهای پیش تنیدگی

۱-۳ ساخت قفسه آرماتور

آرماتورهای طولی از داخل دستگاه خودکار ساخت قالب عبور داده می شوند. در این دستگاه که به منظور تسریع عملیات و جلوگیری از خطاهای انسانی طراحی شده، همزمان با حرکت میلگردها کابلهای مسلح کننده عرضی، بطور مارپیچ و خودکار در نقاط مشخص به دور آنها جوش می شوند. همواره حداقل یک نفر بر کیفیت عملکرد دستگاه نظارت می کند. نوع و بعد جوش به گونه ای طراحی می شود که اثری بر عملکرد آرماتورهای طولی نداشته باشد. این موضوع توسط سیستم کنترل کیفیت و از طریق انجام آزمایش های مشخص شده در استانداردها مستمراً کنترل می گردد.

شکل ۲ : ساخت قفسه آرماتور

۱-۴ اتصال صفحات انتهائی به قفسه آرماتور

در این مرحله حلقه های فولادی انتهائی و صفحات مورد استفاده در کشش آرماتور ها به قفسه های تکمیل شده متصل می شوند. حلقه های انتهائی علاوه بر ممکن نمودن عملیات پیش تنیدگی، موجب سهولت و سرعت اتصال شمع ها در کارگاه از طریق جوش می شوند. حلقه های فولادی انتهائی بوسیله پوشش های مناسب در برابر خوردگی محافظت می شوند

شکل ۳ : اتصال صفحات انتهائی به قفسه آرماتور

۱-۵ تمیز کردن قالبها

از آنجا که شمع های بتنی لوله ای پیش تنیده به شیوه گریز از مرکز تولید می شوند استفاده از قالب های فلزی یکنواخت و بادوام با قابلیت استفاده متعدد حائز اهمیت است. از طرفی این قالب ها می بایست به خوبی نگهداری شوند تا در اثر استفاده مجدد کیفیت آنها تحت تأثیر قرار نگیرد. بدین منظور پس از هر مرحله استفاده، قالبها کاملاً از هرگونه قطعات بتنی باقیمانده از بتن ریزی قبلی تخلیه شده و همانگونه که در شکل های زیر دیده می شود با کمک فشار آب کاملاً تمیز می شوند. درصورت بروز تغییر شکل یا هرگونه نقصی که چرخش یکنواخت قالب با سرعت بالا را تحت تأثیر قرار دهد، آن قالب توسط سیستم نظارت از چرخه تولید خارج شده و قالب دیگری جایگزین آن می گردد.

شکل ۴ : تمیز کردن قالبها

۱-۶ قراردادن قفسه آرماتور در نیمه قالب

هر قالب شمع PSC از دو نیم استوانه تشکیل شده که با استفاده از پیچ و مهره به یکدیگر متصل شده و یک استوانه کامل را تشکیل می دهند. در این مرحله قفسه آرماتور بهمراه صفحات انتهائی به کمک جرثقیل سقفی از چند نقطه بلند شده و در داخل نیمه قالب مستقر می گردد.

شکل ۵ : قراردادن قفسه آرماتور در نیمه قالب

۱-۷ بتن ریزی

مواد مصرفی در بتن:

۱.سنگدانه: استاندارد "-" ۸۸۲:۱۹۹۲ BSمصالح با سایز بین ۱۰الی۲۰ "-"mmماسه تمیز رودخانه ای یا شسته

۲.سیمان: استاندارد "-" ASTM C۱۵۰-۷۲ or MS ۵۲۲:۱۹۸۹سیمان معمولی پرتلند

۳.آرماتور پیش تنیدگی :منطبق با استانداردJIS G۳۱۳۷:۱۹۹۴

۴.دیگر آرماتورها: منطبق با استانداردBS ۴۴۴۹ or ASTM A۸۲-۹۷

مقاومت بتن در هنگام تولید باید حداقل ۳۰ نیوتن بر میلیمتر مربع و بعد از ۲۸ روز باید حداقل ۶۰ الی ۷۵ نیوتن بر میلیمتر مربع باشد. بتن دقیقاً منطبق بر مشخصات فنی و طرح اختلاط از پیش تعیین شده در یک بچینگ مدرن با سیستم کنترل رایانه ای ساخته می شود. کیفیت مصالح اولیه، طرح اختلاط و مشخصات بتن ساخته شده بر اساس نمونه های اخذ شده توسط سیستم کنترل کیفیت، بطور مستمر تحت آزمایش قرار می گیرد. همزمان با انتقال نیمه قالب حاوی قفسه آرماتورها به محل بتن ریزی، بتن تازه نیز به یک محفظه تغذیه کننده متحرک قابل برنامه ریزی که در بالای قالب قرار گرفته منتقل می گردد. محفظه تغذیه کننده حاوی بتن تازه با سرعت یکنواختی که متناسب با ابعاد قالب و نوع بتن تعیین شده در طول قالب حرکت کرده و بتن را با دبی مشخص و یکنواختی در قالب تخلیه می کنند. جاگیری مناسب بتن در داخل قالب و آرماتورها توسط گروه بتن ریزی کنترل می شود.

شکل ۶ : بتن ریزی

۸-۱ اتصال دو نیمه قالب به یکدیگر

پس از اتمام بتن ریزی، نیمه قالب محتوی آرماتورها و بتن تازه از طریق سیستم ریلی از محل بتن ریزی خارج شده و نیمه بالائی قالب به کمک جرثقیل سقفی بر روی آن قرار داده می شود. کارگران بلافاصله و با استفاده از ابزار بادی نسبت به محکم کردن پیچ و مهره ها اقدام می کنند. از آنجا که قالب با سرعت بسیار زیاد چرخانده می شود، اتصال مناسب و یکنواخت دو قطعه قالب به یکدیگر بسیار اهمیت دارد.

شکل ۷ : اتصال دو نیمه قالب به یکدیگر

۹-۱ کشش آرماتورهای پیش تنیدگی

پس از اتمام اتصال دو نیمه قالب به یکدیگر و در حالیکه گیرشی در بتن اتفاق نیفتاده، سیستم هیدرولیکی کشش آرماتورها شامل یک میله محور مرکزی و یک صفحه تنش فولادی در انتهای قالب استوانه ای مستقر شده و با نیروی یکسان آرماتور های پیش تنیدگی را به اندازه معین می کشد .میزان پیش تنیدگی متناسب با نوع شمع و کاربری آن توسط طراح تعیین می گردد.

شکل ۸ : کشش آرماتورهای پیش تنیدگی

۱۰-۱ چرخاندن قالب

قالب حاوی بتن و قفسه آرماتورها با استفاده از جرثقیل سقفی برروی دستگاه چرخش قرار داده می شود. این دستگاه قالب را با سرعت های مختلفی که میزان و روند آنها متناسب با ابعاد قالب و نوع بتن طراحی شده، می چرخاند. سرعت چرخش قالب در برخی مراحل به بیش از ۱۵۰۰ دور در دقیقه نیز می رسد .در اثر چرخش با چنین سرعتی، بتن در اثر نیروی گریز از مرکز به

بدنه داخلی قالب چسبیده و مقطع لوله ای یکنواختی تشکیل می گردد. علاوه بر این، چرخاندن با سرعت بالا منجر به فشرده شدن بتن و بیرون زدن آب اضافی از قالب می شود. این امر منجر به کاهش نسبت آب به سیمان، افزایش مقاومت بتن و کاهش نفوذپذیری آن می گردد.

شکل ۹ : چرخاندن قالب

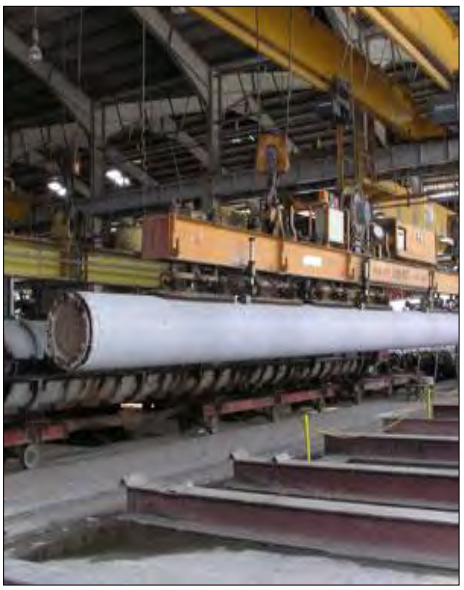
۱-۱۱ عمل آوری با بخار

پس از اتمام مرحله چرخش، قالبها به محفظه های بخار منتقل می شوند. این نوع عمل آوری موجب آزاد شدن سریعتر قالبها می گردد. تنظیم دما و فشار حوضچه بخار بر اساس استاندارد های معتبر تعیین و کنترل می شوند.

شکل ۱۰ : عمل آوری با بخار

۱-۱۲ باز کردن قالبها و بیرون آوردن شمع

پس از جداسازی دو نیمه قالب و انتقال نیمه بالائی، بیرون آوردن شمع از درون قالب و انتقال آن با استفاده از بالابرهای مکشی انجام می پذیرد. هنگام حمل شمع ها برای جابجایی باید از چند نقطه مهار شوند.



شکل ۱۱ : باز کردن قالبها و بیرون آوردن شمع

۲ – مزایای شمع های پیش تنیده بتنی و مقایسه آن با سایر شمع های مورد استفاده در ساختمان

شمع های بتنی لوله ای پیش تنیده از لحاظ مصالح اولیه، مشخصات طراحی وشیوه ساخت، مزایای قابل توجهی نسبت به انواع دیگر شمع ها دارند. این مزایا عبارتند از:

۱-۲ مقاومت بالای بتن

مقاومت فشاری بتن مورد استفاده در ساخت شمع های بتنی لوله ای پیش تنیده در مرحله انتقال تنش از میلگردها به بتن برابر با ۲۵ مگاپاسکال و مقاومت ۲۸ روزه آن برابر با ۷۸,۵ مگاپاسکال می باشد. در نتیجه، این شمع ها تنشهای قابل ملاحظه کششی و فشاری را در شرایط کوبش سخت و حمل ونقل، بدون ایجاد هیچ گونه ترکی، تحمل می کنند.

عواملی که منجر به دستیابی به چنین بتن پر مقاومتی می شوند را می توان بشرح ذیل برشمرد:

- میزان سیمان بیش از ۵۰۰ کیلوگرم در هر متر مکعب بتن می باشد.
- نسبت آب به سیمان کمتر از ۰,۳۲ است.
- در ترکیب بتن از سنگدانه های گرانیتی استفاده می گردد که از با کیفیت ترین سنگدانه ها می باشد. سیلیس موجود در این سنگدانه ها در پروسه اتوکلاو با سیمان واکنش داده و ترکیب بسیار مقاوم و نفوذ ناپذیری را بوجود می آورد.
- در طراحی و اجرای طرح اختلاط از ابزار آزمایشی و کنترلی مطابق با استاندارد های دنیا استفاده می گردد.

۲-۲ پیش تنیدگی

ناگفته پیداست که ضعف اصلی بتن مقاومت کششی آن است. شمع بتنی در هنگام حمل ونقل و کوبش در معرض تنش های کششی قابل ملاحظه ای قرار می گیرد و لذا برای افزایش مقاومت کششی آن روش های مختلفی مورد نظر قرار گرفته است.

یکی از روش ها پیش تنیدگی است. منظور از پیش تنیدگی، اعمال نیروی کششی به آرماتور های فولادی قبل از گیرش بتن است که باعث می شود پس از اتمام گیرش اولیه در بتن نیروی فشاری بوجود آید. وجود تنش های فشاری در بتن، باعث خنثی شدن تنش های کششی ناشی از بارگذاری خمشی یا کششی می شود. این مفهوم، کاربرد اعضای بتنی کوچکتر و سبکتر را ممکن می سازد. پیش تنیدگی سختی عضو را افزایش داده و این امکان را به طراح می دهد که از مزیتهای فولاد پر مقاومت استفاده نماید. بدلیل اینکه در اعضای پیش تنیده بتن در فشار قرار دارد، بارهای قابل اعمال به شمع های پیش تنیده، بزرگتر از بار قابل اعمال به شمع بتن مسلح هم اندازه است. این واقعیت بدان معنا است که احتمال بروز ترک در شمع های بتنی لوله ای پیش تنیده در حین جابجائی یا کوبش، بسیار کمتر از شمع های بتنی معمولی می باشد.

۲-۳ تولید به روش گریز از مرکز و نفوذ ناپذیری

تولید به شیوه گریز از مرکز موجب خروج بیشتر آب بتن و افزایش تراکم مصالح می گردد. این موضوع علاوه بر تأثیر قابل ملاحظه بر مقاومت فشاری بتن، باعث کاهش نفوذ پذیری و افزایش دوام آن می گردد. شمع های بتنی معمولی از لحاظ نفوذپذیری شرایط مطلوبی نداشته و لذا در محیط های شیمیائی بسیار خطرناکی مانند نواحی اطراف خلیج فارس دوام چندانی نخواهند داشت . در حالیکه در شمع های بتنی پیش تنیده عیار بالای سیمان، نسبت پائین آب به سیمان، استفاده از سنگدانه های گرانیتی، خروج آب و تراکم در حین عملیات گریز از مرکز منجر به تولید بتنی با نفوذ پذیری بسیار اندک می گردد. هر چه نفوذ پذیری بتن کمتر باشد، مقاومت آن در برابر نفوذ عوامل مخربی مانند یون کلر و سولفاتها بیشتر بوده و لذا دوام آن بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد.

۲-۴ وزن کم

از آنجا که شمع های بتنی لوله ای بصورت پیش تنیده و با استفاده از بتن مقاومت بالا تولید می شوند، وزن واحد طول آنها در مقایسه با شمع های بتنی پیش ساخته معمولی با باربری یکسان بسیار کمتر است. بعنوان مثال شمع لوله ای با قطر ۴۵ سانتیمتر که تقریباً معادل شمع بتنی مربعی ۴۰*۴۰ است وزنی در حدود ۲۵۰ کیلوگرم (۶۰ درصد سبک تر) دارند. هرچه وزن شمع کمتر باشد به تجیزات سبک تری برای حمل و نقل و کوبش آنها نیاز بوده و لذا هزینه ها و صعوبت اجرا کاهش می یابد.

۲-۵ کنترل دقیق ساخت و تضمین کیفیت

در کارخانه تولید شمع های بتنی لوله ای پیش تنیده علاوه بر آزمایش های دقیقی که به طور مداوم بر روی مصالح اولیه صورت می گیرد، تمامی مراحل ساخت توسط ناظرین ذیصلاح تحت نظر گرفته شده و مصالحی که حداقل کیفیت موردنظر را نداشته باشند برگشت داده می شوند. از طرفی شرکت ICP، در زمینه مصالح مصرفی و روشهای ساخت و کنترل کیفیت، دارای گواهینامه های معتبر بین المللی MS ISO ۹۰۰۱ می باشد.پس از ساخت نیز تعدادی از شمع ها بطور اتفاقی انتخاب شده و تحت آزمایشهائی نظیر بارگذاری محوری و جانبی و آزمایش ضخامت بتن و... قرار می گیرند.

۲-۶ قالب بندی و بتن ریزی

برای تولید شمع های بتنی معمولی از قالب هائی با سه وجه بسته و یک سمت باز استفاده می گردد. بتن از بالا در این قالب ها ریخته شده و تراکم بتن با استفاده از ویبراتورهای معمولی انجام می گیرد. دستیابی به تراکم بتن بالا و تخلخل کم در این روش ممکن نیست. برای تولید شمع های بتنی لوله ای از قالب های استوانه ای استفاده می گردد. پس از بتن ریزی در نیم استوانه

پائینی، قالب بسته شده و با سرعت بسیار بالا حول محور مرکزی خود چرخانده می شود. تولید به شیوه گریز از مرکز موجب خروج بیشتر آب بتن و افزایش تراکم مصالح می گردد. این موضوع علاوه بر تأثیر قابل ملاحظه بر مقاومت فشاری بتن، باعث کاهش نفوذ پذیری و افزایش دوام آن می گردد.

۲-۷ سهولت حمل ونقل ، سرعت و هزینه اجرا

حمل ونقل شمع های بتنی معمولی معمولاً منجر به ایجاد ریز ترک هائی در مناطق کششی می گردد و لذا نقاط ضعیفی را در شمع ایجاد می نماید که در حین اعمال تنش های کوبش کاملاً تخریب می گردند. در مقابل مقاومت بالای بتن و پیش تنیدگی، موجب حفظ سلامت شمع بتنی لوله ای پیش تنیده در حین جابجائی می گردد. لازم به یادآوری است که اصولاً شمع های بتنی لوله ای پیش تنیده بدلیل مقطع توخالی، سبکتر از شمع بتنی معمولی معادل بوده و لذا تنش های فشاری-کششی ایجاد شده در اثر وزن شمع در حین جابجائی آنها، به مراتب کمتر می باشد. وزن واحد طول شمع های لوله ای پیش تنیده کمتر از شمع بتنی معمولی معادل است. لذا برای کوبش شمع لوله ای به تجهیزات سبکتری نیاز است. این مزیت علاوه بر سهولت اجرا، هزینه های ماشین آلات را به شدت کاهش می دهد. از طرفی در برخی شرایط ژئوتکنیکی می توان شمع های لوله ای را بدون ایجاد تغییر در باربری، با انتهای باز کوبید. در چنین شرایطی با چکش سبکتر و در زمان بسیار کوتاهتری می توان شمع را کوبید که چنین امکانی برای شمع های بتنی معمولی، بدلیل بسته بودن مقطع، وجود ندارد.

۲-۸ دوام و پایائی

امروزه مهمترین شاخص در تعیین دوام و پایائی بتن، نفوذ پذیری آن است. شمع های بتنی لوله ای بدلیل عیار بالای سیمان (بیش از ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب)، نسبت بسیار پائین آب به سیمان (کمتر از ۰,۳۲) و تراکم ایجاد شده در حین عملیات گریز از مرکز، نفوذ پذیری بسایر اندکی داشته و تقریباً می توان گفت که نفوذ ناپذیرند. درجه نفوذ پذیری این شمع ها به حدی پائین است که حتی در شرایط دریائی و در ناحیه جذر و مدی نیز نیازی به پوشش های مرسوم ندارند. در مقابل شمع های بتنی معمولی واجد چنین مشخصات فنی خاصی نیستند، نفوذ پذیری آنها به مراتب بیشتر از شمع های بتنی لوله ای پیش تنیده بوده و لذا عمر مفید کمتری دارند. لذا در صورتی که استفاده از شمع های بتنی معمولی در منطقه جنوبی کشور با ترکهای ناشی از حمل و کوبش نیز همراه گردد، قطعاً در مدت کوتاهی از بین رفته و کارائی خود را از دست خواهند داد.

نتیجه گیری

در شمع های بتنی پیش تنیده عیار بالای سیمان، نسبت پائین آب به سیمان، استفاده از سنگدانه های گرانیتی، خروج آب و تراکم در حین عملیات گریز از مرکز منجر به تولید بتنی با نفوذ پذیری بسیار اندک می گردد. هر چه نفوذ پذیری بتن کمتر باشد، مقاومت آن در برابر نفوذ عوامل مخربی مانند یون کلر و سولفاتها بیشتر بوده و لذا دوام آن بطور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. امروزه مهمترین شاخص در تعیین دوام و پایائی بتن، نفوذ پذیری آن است. شمع های بتنی لوله ای بدلیل عیار بالای سیمان (بیش از ۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب)، نسبت بسیار پائین آب به سیمان (کمتر از ۰,۳۲) و تراکم ایجاد شده در حین عملیات گریز از مرکز، نفوذ پذیری بسیار اندکی داشته و تقریباً می توان گفت که نفوذ ناپذیرند.

مراجع

سایت مرجع شمع ایران
omransoft
Engineering Solutions Services

گروه عملیات خاکی و بهسازی خاک کارا