چگونه می‌توان از فونداسیون در برابر خاک زیرین و آب‌های زیرزمینی محافظت کرد؟

پی‌ها بخش ضروری سازه‌ها هستند و تأثیرات زیادی بر یکپارچگی سازه‌ها دارند. سازه‌های پی معمولاً به شکل‌های مختلفی مورد تهاجم آب‌های زیرزمینی و خاک‌ها قرار می‌گیرند و به همین دلیل نیازمند تدابیر محافظتی هستند.

در این مقاله در مورد ملاحظات مرتبط با حملات مختلف به پی که ناشی از ساخت آن روی خاک‌های خطرناک و سفره آب‌های زیرزمینی هستند، بحث خواهد شد.

- دلایل حمله‌ها
- بررسی خاک و آب زیرزمینی
- حفاظت سازه‌های پی بتنی در برابر حملات خاک و آب زیرزمینی
- حفاظت شمع‌های فولادی در برابر خوردگی
- حفاظت شمع‌های چوبی

دلایل حمله‌ها به سازه‌های پی

سه نوع مختلف حمله وجود دارد که ممکن است پی‌های مختلف در معرض آن‌ها قرار گیرند. در جدول زیر به دلایل حمله‌ها به انواع مختلف پی یعنی پی‌های بتنی، شمع‌های فولادی و شمع‌های چوبی و همچنین آسیب‌های وارده به آن‌ها اشاره می‌شود.

جدول ۱: انواع پی و دلایل حملات به آن‌ها

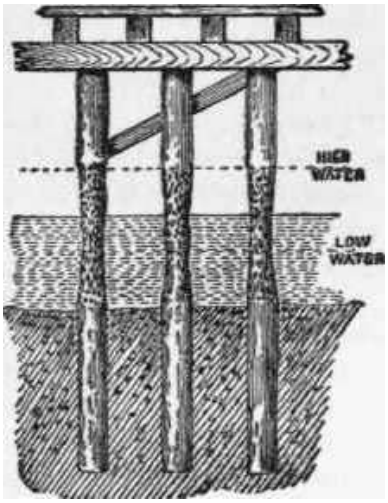
انواع پی‌ها	دلایل حمله‌ها
سازه بتنی	زباله‌های شیمیایی و سولفات‌ها در زمین، خوردگی و سایش مکانیکی، شکل ۱
شمع‌های فولادی	شرایط محیطی خاص می‌تواند به خوردگی منجر شود، شکل ۲
شمع‌های چوبی	ارگانیسم‌های موجود در خاک و آب می‌تواند به فروریختن شمع‌های چوبی منجر شود، کشتی‌ها و یخ و دیگر اشیاء شناور باعث ساییدگی می‌شوند، آسیب‌های جدی ممکن است به دلیل حرکت کوبشی در صورت وجود پی در مجاورت موج ایجاد شود، شکل ۳ و ۴

مقدار حمله‌ها به پی تنها به غلظت اجزای مخرب در خاک بستگی ندارد، بلکه به شرایط اقلیمی و تغییرات در سطح سفره آب‌های زیرزمینی هم‌بستگی دارد.

شکل ۱. حمله سولفات به پی‌های بتنی

شکل ۲. خوردگی شمع‌های فولادی

شکل ۳. شمع‌های چوبی استفاده شده در ساخت پل



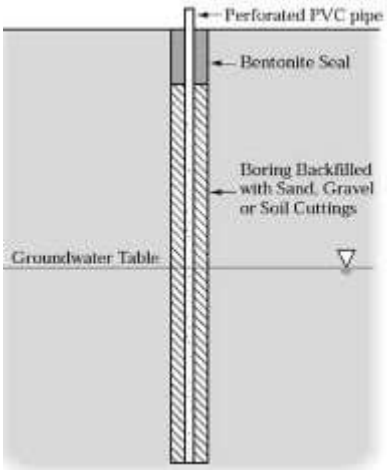
شکل ۴. شمع چوبی فروریخته

بررسی خاک و آب‌های زیرزمینی

برای اتخاذ تدابیر محافظتی از پی‌ها، تعیین سفره آب‌های زیرزمینی، نوسانات آن و وجود عناصر مهاجم در خاک بسیار حائز اهمیت است.

معمولاً از خاک دست‌نخورده، دست‌خورده و آب‌های زیرزمینی برای تحلیل شیمیایی نمونه گرفته می‌شود. ممکن است لوله‌هایی در چاه‌های گمانه تعبیه شوند تا در زمان کافی داده‌های لازم جمع‌آوری و سطح آب‌های زیرزمینی نیز تعیین شود. با این روش نه‌تنها نوسانات آب‌های زیرزمینی را می‌توان تعیین کرد، بلکه می‌توان سطح میانگین آب‌های زیرزمینی را هم به دست آورد.

لازم است برای تعیین مقدار سولفات و مقدار تغییرات آن با افزایش عمق داده‌هایی وجود داشته باشد. این کار به این دلیل انجام می‌شود که تدابیر محافظتی غیراقتصادی به دلیل کم بودن داده‌ها اتخاذ نشود.



شکل ۵. تعیین سطح آب زیرزمینی

محافظت سازه‌ی پی بتنی در برابر حملات خاک و آب‌های زیرزمینی

عامل اصلی که به خرابی پی بتنی منجر می‌شود حمله‌ی سولفات موجود در خاک و آب‌های زیرزمینی است. به‌جز حمله‌ی سولفات، زباله‌های شیمیایی، اسیدهای ارگانیک، سنگ‌دانه‌های مخرب خاص، خوردگی آرماتورها و واکنش‌های دریایی منجر به آسیب‌دیدگی پی بتنی می‌شوند.

در بخش‌های آینده تدابیر حفاظتی مناسبی که می‌توان برای حفاظت ازپی بتنی در برابر حملات خاک و آب‌های زیرزمینی به کار گرفت، توضیح داده خواهند شد.

حفاظت در برابر حمله‌ی سولفات‌ها

روش‌های زیادی وجود دارد که می‌توان برای حفاظت از پی بتنی در برابر حملات به کار گرفت. بر اساس دسته‌بندی ASTM، سیمان پورتلند نوع ۲ مقاومت خوبی در برابر حمله سولفات و سیمان پورتلند نوع ۵ نیز مقاومت بالایی در برابر حملات سولفاتی دارد.

از جدی‌ترین حملات سولفاتی می‌توان با استفاده از سیمان پر آلومین و سوپر سولفات جلوگیری کرد. علیرغم اینکه سیمان پر آلومین ممکن است دچار تغییر شود و خود را به شکل افت ناگهانی مقاومت فشاری بتن نشان دهد اما این مشکل را می‌توان به‌واسطه مقاومت پسماند چنین بتنی حل کرد. یک نشانه تغییر سیمان پرآلومین، کاهش مقاومت بتن در برابر سولفات است.

راه اجتناب از تغییر سیمان پر آلومین، پرهیز از استفاده از درصد بالای سیمان، دور نگه داشتن بتن از حرارت، اجتناب از عمل‌آوری با بخار و حفاظت از شمع‌های بتنی در برابر آفتاب با ایجاد سایه‌ی مناسب است.

در مورد پی‌های معمولی، تراکم مناسب سیمان مقاوم در برابر سولفات برای استفاده در مناطقی با غلظت بالای سولفات کافی است، اما باید در مواردی که غلظت سولفات به‌شدت بالا است از لایه محافظ استفاده کرد.

توصیه می‌شود که از ورق‌های پلاستیکی یا قیری دور پی‌های منفرد و نواری استفاده شود.

از ورق‌های پلاستیک سنگین می‌توان برای حفاظت شمع‌های درجا و کوبیدنی استفاده کرد. ممکن است این لایه‌ی محافظ به‌وسیله‌ی بست‌ها پاره شود. پس به‌جای آن می‌توان از ورق‌های چین‌دار گالوانیزه شده، ورق‌های فولادی یا لوله‌های PVC صلب استفاده کرد که البته هزینه‌ی بالاتری خواهد داشت.

حفاظت از پی بتنی در برابر حملات اسیدهای آلی خاک و آب‌های زیرزمینی

ممکن است اسیدهای طبیعی در خاک‌های آلی و آب وجود داشته باشند. اسید سولفوریک آزاد هم ممکن است در نتیجه‌ی اکسیداسیون پیریت یا مارکازیت تولید شود. مورد اول در صورت نفوذناپذیر بودن بتن قدرت حمله‌ی کمتری دارد، در حالی که مورد دوم برای بتن بسیار خطرناک است.

مقدار سولفات بالا و pH کم به‌عنوان نشانه‌های وجود سولفوریک آزاد شناخته می‌شوند. ملاحظات حفاظتی وابسته به مقدار pH هستند؛ مثلاً اگر مقدار pH برابر با ۶ یا بزرگ‌تر باشد، هیچ کاری لازم نیست انجام دهیم، اما برای مقادیر کمتر استفاده از سیمان مقاوم در برابر سولفات، سیمان زود سخت شونده به همراه خاکستر بادی یا سرباره؛ حفاظت مطلوبی را فراهم خواهد کرد.

حفاظت از پی بتنی در برابر مواد شیمیایی و زباله‌های صنعتی

مواد شیمیایی خطرناک هم ممکن است در زباله‌های تخلیه شده وجود داشته باشد. مقابله با این مواد بسیار سخت است زیرا غلظت آن‌ها متفاوت بوده و شناسایی آن‌ها هم به‌شدت سخت است.

بنابراین اگر محل ساخت دارای مواد شیمیایی مهاجم مانند زباله‌های اسیدی باشد، توصیه می‌شود که از پی‌های شمعی استفاده شود که جداره آن از بتن پیش ساخته باشد. این شمع‌ها باید توخالی باشند تا بتوان درون آن‌ها لوله‌های PVC قرار داد و داخل آن را بتن‌ریزی کرد. در این شمع‌ها پوسته‌ی بیرونی از قسمت داخلی در برابر خاک‌های حاوی زباله‌های شیمیایی محافظت می‌کند.

حفاظت از شمع‌های فولادی در برابر خوردگی

شمع‌های فولادی ممکن است تحت تأثیر خوردگی در خاک‌ها و آب زیرزمینی قرار بگیرند، زیرا هوا و آب موجب خورده شدن شمع‌های فولادی می‌شوند. معمولاً مناطق خاصی از شمع فولادی به‌عنوان آند و سایر مناطق آن به‌عنوان کاتد عمل خواهند کرد. در نتیجه زنگار در مناطق کاتد شکل خواهد گرفت و حفره‌هایی هم در مناطق آند ایجاد خواهد شد.

خوردگی شمع‌های فولادی در خاک و آب‌های زیرزمینی یک مشکل جدی است و باید با آن مقابله کرد. در بخش‌های آینده تدابیر پیشنهادی لازم برای حفاظت از شمع فولادی در خاک و آب‌های زیرزمینی در برابر خوردگی به‌صورت مختصر توضیح داده خواهند شد.

حفاظت از شمع فولادی با رنگ

در این روش، ابتدا عملیات سند بلاست انجام شده و سپس پوشش اولیه‌ی زینک سیلیکات باضخامت ۵۰ تا ۷۵ میکرومتر بر سطح فلز تمیز اعمال می‌شود. در نهایت از رنگ اپوکسی یا وینیل به‌عنوان پوشش نهایی استفاده می‌شود. به خاطر داشته باشید که پوشش اولیه باید هماهنگ با پوشش خارجی باشد.

در نهایت باید در نظر داشته باشیم که رنگ‌آمیزی در طولانی مدت نمی‌تواند از سازه محافظت کند؛ بنابراین توصیه می‌شود از صفحات فولادی برای حفاظت از سازه استفاده شود و یا ضخامت شمع‌های فولادی را افزایش داد.

شکل ۶. خوردگی شمع فولادی در شرایط دریایی

حفاظت کاتدی شمع‌های فولادی

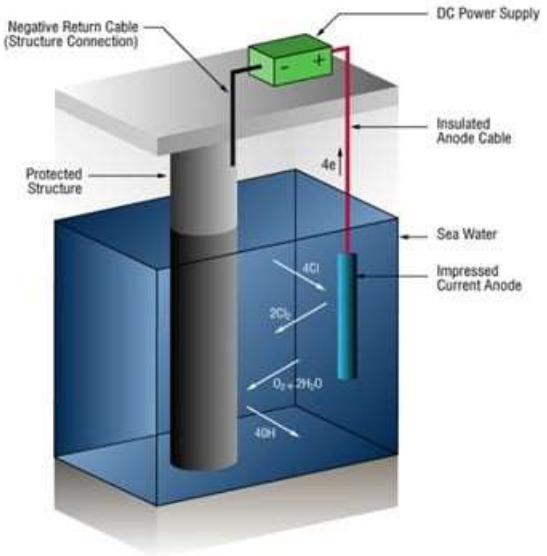
استفاده از خواص پتانسیل الکتروشیمیایی فلزات، اساس سیستم حفاظت کاتدی است. در این روش سازه به کاتدی تبدیل می‌شود که از انتقال فلزات از سازه به خاک و آب‌های زیرزمینی یا هر محلول دیگری جلوگیری می‌کند.

از سیستم منبع برق یا آند محافظ می‌توان در روش حفاظت کاتدی استفاده کرد. در حالت اول آند به شکل توده‌های کربن بسیار بزرگ است. از مولد A.D.C یا دیگر وسایل مناسب برای ایجاد جریان D.C مورد نیاز برای جریان از آند به کاتد استفاده می‌شود.

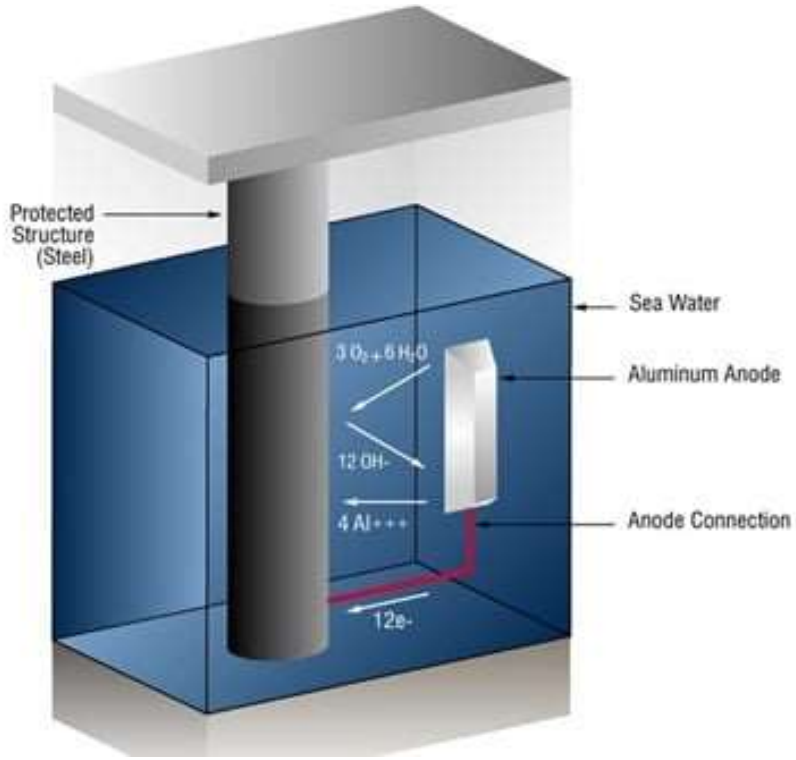
باید توجه داشت که با نگه داشتن سطح در معرض سازه به‌اندازه‌ی حداقل ممکن، اتلاف آند کاهش پیدا کرده و تأمین برق مورد نیاز هم راحت‌تر خواهد بود.

آند از توده‌های بسیار بزرگ فلزات تشکیل شده است که خوردگی در آن ایجاد می‌شود و از این طریق از سازه در برابر خوردگی محافظت می‌کند.

بنابراین این آندها بعد از مدتی به‌خصوص در محیط‌های دریایی باید تعویض شوند. به‌علاوه آندهای برقی باید بزرگ‌تر از سازه‌ای باشند که قرار است از آن محافظت شود.



شکل ۷. حفاظت کاتدی از شمع فولادی با استفاده از منبع برق



شکل ۸. آند به کار رفته برای شمع فولادی در آب

حفاظت از شمع‌های چوبی

چوب به‌عنوان شمع، مهاربند و حصار در سازه‌های دریایی به کار می‌رود، پس احتمال خراب شدن چوب به دلیل ارگانیسم‌های بیولوژیکی بسیار است. با این وجود وقتی چوب در خاک فرو می‌رود و همیشه خیس باقی می‌ماند، به‌ندرت تحت تأثیر چنین عوامل مخربی قرار می‌گیرد.

اگر چوب در معرض خیس و خشک شدن نسبی قرار بگیرد، به‌سرعت خراب خواهد شد. این اتفاق در مناطقی که سطح آب‌های زیرزمینی تغییر می‌کند، به وقوع می‌پیوندد.

محافظت از شمع چوبی با استفاده از کریوزوت

استفاده از کریوزوت و آغشته کردن پی چوبی راه بسیار مؤثری در جلوگیری از تخریب چوب به دلیل عوامل بیولوژیکی و دیگر عوامل مخرب بوده است.

آغشته کردن به کریوزوت مقاومت شمع‌های چوبی را افزایش خواهد داد. اثربخشی کریوزوت در چوب‌های نرم در مقایسه با چوب‌های سخت بیشتر است. دلیل این است که کریوزوت می‌تواند تا عمق بیشتری در چوب‌های نرم نفوذ کند.

چوب‌های نرم معمولاً تا عمق ۷۵ میلی‌متر آغشته به این ماده می‌شوند. در مورد چوب‌های سخت این کار سخت‌تر است و باید این چوب‌ها را تحت فشار آغشته به این ماده کرد.

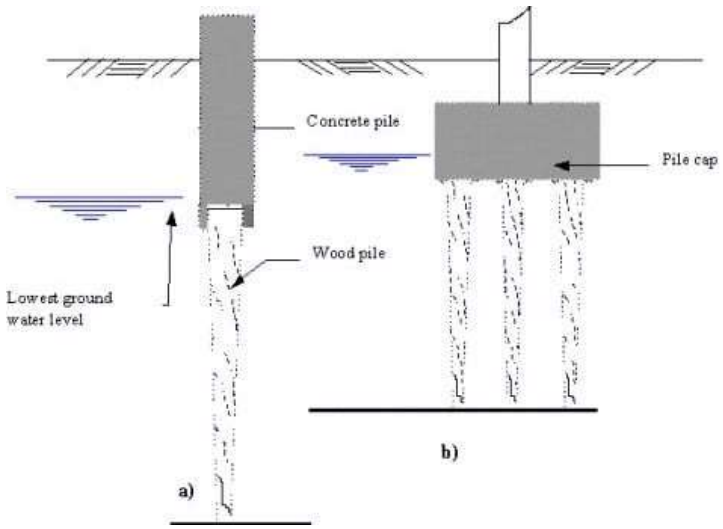
در نهایت به دلیل اینکه نمی‌توان چوب سخت را به‌صورت مناسب آغشته کرد، توصیه می شو که روزنه‌هایی در آن برای نفوذ کریوزوت ایجاد شود.

شکل ۹. چوب آغشته شده به کریوزوت

حفاظت از شمع‌های چوبی با استفاده از بتن

این روش را زمانی استفاده می‌کنیم که استفاده از کریوزوت نتیجه‌ی مدنظر را نمی‌دهد؛ مثلاً کریوزوت را نمی‌توان در مواردی که در آن سطح سفره آب‌های زیرزمینی تغییر می‌کند، استفاده کرد.

اگر عمق سفره آب‌های زیرزمینی بسیار پایین باشد، توصیه می‌شود که از شمع کامپوزیت استفاده شود. به این صورت قسمت تحتانی شمع که کاملاً در آب است از چوب و قسمت فوقانی از بتن خواهد بود. شکل ۷ استفاده از بتن برای حفاظت از شمع‌های چوبی و افزایش عمر سرویس‌دهی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. استفاده از بتن برای جلوگیری از آسیب در شمع چوبی. a) در حالتی که سطح سفره‌ی آب زیرزمینی خیلی پایین است و b) در حالتی که سفره‌ی آب زیرزمینی کم‌عمق وجود دارد.

حفاظت از شمع‌های چوبی در برابر موریانه‌ی دریایی

پیشنهاد می‌شود از چوب‌هایی استفاده شود که می‌توانند در برابر موریانه‌های دریایی استقامت کنند تا اینکه از شمع‌های چوبی استفاده شود و سپس برای حفاظت از آن در برابر چنین خطراتی تدابیری اندیشیده شود. چوب‌های زیادی وجود دارد که به‌صورت طبیعی در برابر موریانه مقاومت می‌کنند، مثلاً پداوک آفریقایی (شکل ۱۱)، afromosia (شکل ۱۲) و بسیاری دیگر از شمع‌های چوبی.

شکل ۱۱. چوب پداوک آفریقایی مقاوم در برابر حمله موریانه

شکل ۱۲. شمع afromosia مقاوم در برابر حمله موریانه

لازم به ذکر است که قسمت نرم و زنده چوب چنین الوارهایی باید کنده شود، در غیر این صورت نیاز به فرآوری با کریوزوت است. دلیل این است که این قسمت از چوب چنین الوارهایی در برابر حمله‌ی موریانه آسیب‌پذیر است.

مترجم: علی‌اکبر خلیلی

منبع:

https://theconstructor.org/practical-guide/protect-foundation-structures-attacks/۱۷۵۶۴