

## دوام مصالح ساختمانی سیمانی

### خلاصه

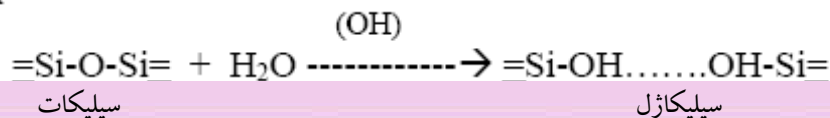
مصالح ساختمانی سیمانی دچار واکنش های شیمیایی مخربی می شوند. در برخی از این واکنش ها آب واکنش دهنده است، ولی در بیشتر واکنش ها آب نقش حلال و واسطه واکنش را ایفا می کند. این مصالح را می توان در مقابل نفوذ آب با استفاده از تکنولوژی های مختلف ضد آب سازی محافظت کرد. انتخاب روش مقاوم سازی که محافظتی طولانی مدت ایجاد می کند از اهمیت خاصی برخوردار است. استفاده از لایه های پوششی و یا فن آوری محافظتی (کوئینگ) بسیار متداول است. با این وجود به علت عوامل جوی و قرار گرفتن در معرض اشعه فرابنفش، محصولات پوششی عمر کوتاهی دارند (۳-۵ سال) و نیازمند تعمیرات دوره ای می باشند. تنها فن آوری بر پایه ارگانوسیلان (Organosilane) برای محافظت طولانی مدت مناسب است.

### معرفی

بیشتر مصالح ساختمانی ساختار سیمانی دارند. از جمله می توان به بتن مسلح، ملات، آستر سیمانی، بلوکه های سیمانی ساختمان، ورقه های سیمانی سقف، لوله های سیمانی و ... اشاره کرد. دوام این مصالح بستگی به عوامل جوی و شرایط محیطی دارد. تجربه میدانی نشان داده است که عامل اصلی تخریب، ماهیت شیمیایی دارد. مصالح سیمانی بعلاوه عوامل جوی و محیطی دچار واکنش های شیمیایی می شوند. این واکنش ها را می توان به شکل زیر خلاصه کرد:

### واکنش سیلیکات های قلیایی (ASR)

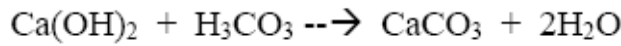
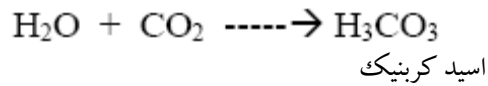
مصالح ساختمانی سیمانی معمولی در طبیعت بسیار قلیایی هستند (با PH بیشتر از ۱۳). علت این مسئله وجود  $\text{Ca(OH)}_2$  است. مؤلفه اصلی ساختار سیمان، پیوند سیلیکاتی (Si-O-Si) است. پیوند سیلیکاتی می تواند در محیط قلیایی قوی با آب واکنش شیمیایی دهد. در نتیجه، پیوند Si-O-Si به دو گروه سیلانول (Si-OH) تبدیل می شود. سیلیکای دارای پیوند Si-OH به سیلیکاژل معروف است. سیلیکاژل چهار برابر پیوند Si-O-Si معمولی حجم داشته و فشار اضافی ایجاد می کند. در نتیجه، سیمان دچار ترک می شود. سیلیکاژل اضافی بیشتر از مصالح اصلی آب جذب کرده و واکنش های ASR را تسریع می کند.



ترک خوردگی بر اثر ASR

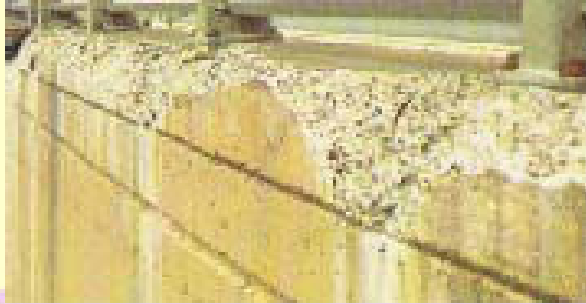
### کربنات شدگی

کربنات شدگی فرآیند طبیعی تخریب مصالح ساختمانی است. هوا دارای دی اکسید کربن است. هنگامیکه آب دی اکسید کربن را در خود حل می کند، بعلاوه تشکیل اسید کربنیک ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) اسیدی می شود. اسید کربنیک می تواند با  $\text{Ca(OH)}_2$  مصالح سیمانی واکنش دهد و  $\text{CaCO}_3$  ایجاد کند. این واکنش PH مصالح را پایین می آورد. وقتی PH به ۸ نزدیک می شود، تقریباً تمامی  $\text{Ca(OH)}_2$  با  $\text{CaCO}_3$  جایگزین می شود.  $\text{Ca(OH)}_2$  ماده کریستالی و مستحکمی است که با  $\text{CaCO}_3$  غیر کریستالی جایگزین می شود. عمر هر سازه سیمانی با سرعت واکنش کربنات شدگی مشخص می شود.



هیدروکسید کلسیم

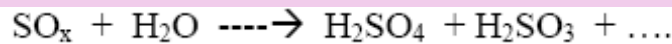
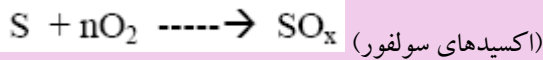
کربنات کلسیم



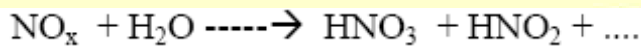
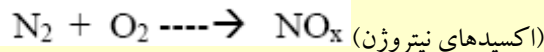
فرسایش سیمان (کربنات شدگی)

### باران اسیدی

باران اسیدی بیشتر به علت عوامل محیطی به وجود می آید. استفاده از سوخت های فسیلی (سوخت های با منشأ نفت طبیعی)، در اتومبیل و نیروگاههای برق می تواند اکسید سولفور و اکسید نیتروژن ایجاد کند. این اکسیدها هنگام ترکیب شدن با آب (در هنگام بارندگی)، اسید سولفوریک و اسید نیتریک ایجاد می کنند که اسیدهایی بسیار قوی می باشند. این اسیدها می توانند با همه مصالح از جمله تمام مصالح سیمانی، ماسه سنگ، آجر و ... واکنش دهند. در مصالح بتنی، واکنش با  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  می تواند  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  و  $\text{CaSO}_4$  تشکیل دهد. این ها نمک هستند و بسیار ضعیف تر، پس از آن ساختار کریستالی  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  تشکیل می شود. باران اسیدی در هندوستان تأثیرات بسیاری دارد. در هندوستان فصل بارانی یکبار در سال است (که تا ۴-۳ ماه ادامه دارد) و بقیه سال کاملاً بی بارش است. این مواد آلاینده در جو جمع می شوند، بنابراین اولین رگبار باران بیشترین میزان اسید و بیشترین تاثیر مخرب را بر ساختمان دارد.



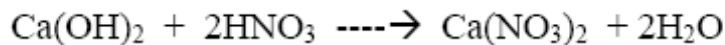
اسیدهای سولفوری قوی



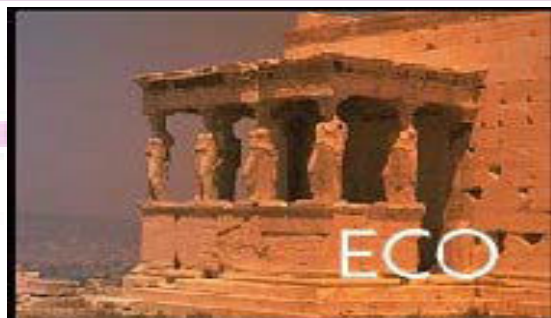
(اسیدهای نیتروژنی قوی)



(سولفات کلسیم)



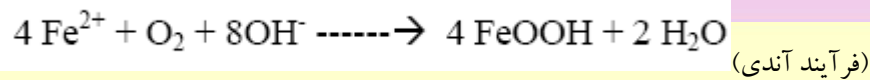
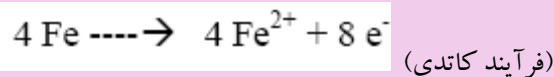
(نیترات کلسیم)



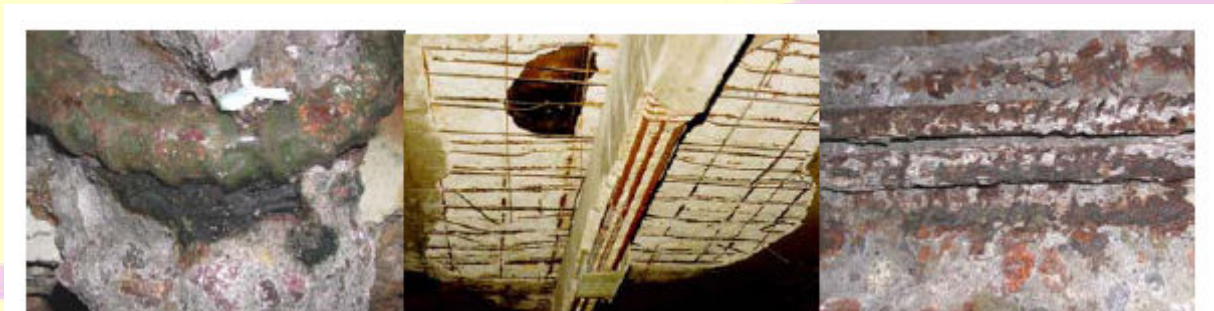
فرسایش مصالح ساختمانی بر اثر باران اسیدی

## خوردگی فولاد در بتن مسلح

خوردگی فولاد در بتن مسلح مشکلات سازه ای متعددی ایجاد می کند. خوردگی فولاد فرآیندی الکتروشیمیایی است. در این واکنش Fe (فولاد) الکترون از دست می دهد و اکسیژن (O<sub>2</sub>) این الکترونها را می گیرد. آهن اکسید می شود و اکسیژن کاهش می یابد. این واکنش ها نیازمند واسطه ناقل الکترون هستند. اگر بتن خیس باشد، آب واسطه انتقال الکترون را فراهم می کند. بنابراین برای آغاز خوردگی به آب نیاز است. عامل مهم دیگر حضور کلرید می باشد. کلرید همیشه در بتن وجود دارد. کلرید اضافی بویژه در مناطق ساحلی با آب باران وارد می شود. میله های فولادی بتن لایه ای از اکسید آهن دارند که به لایه غیر فعال معروف است. این لایه فولاد را در مقابل خوردگی بیشتر محافظت می کند. چنانچه این لایه مرطوب شود، اکسید به اکسید آهن هیدراته تبدیل می شود که از نظر شیمیایی فعال تر است. نفوذ آب به بتن همچنین باعث انتقال کلرید به میله فولادی می شود. این کلریدها با اکسید آهن هیدراته واکنش می دهند و فولاد را در معرض خوردگی بیشتر قرار می دهند. کلرید در فرایند کلی وارد نمی شود بنابراین کلرید نقش کاتالیزور را دارد. کلرید های آزاد به پیشبرد خوردگی ادامه می دهند تا جایی که سازه فولادی کاملاً زنگ بزند.



### فرآیند خوردگی الکتروشیمیایی



خوردگی در فولاد اندود شده با اپوکسی

### خوردگی در بتن مسلح

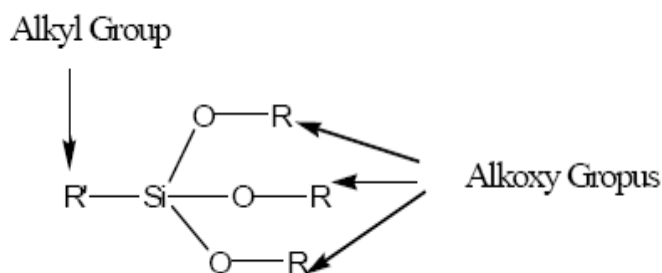
#### نتیجه گیری

دوام سازه های بتونی به میزان واکنش های مخربی که در طول چرخه زندگی سازه اتفاق می افتد بستگی دارد. تمام این واکنش ها به آب بعنوان واکنش دهنده و یا واسطه واکنش نیازمندند. اگر نفوذ آب کاهش پیدا کند، این واکنش ها کاهش می یابند و دوام سازه افزایش می یابد. بنابراین محافظت از مصالح سیمانی در برابر آب حائز اهمیت است.

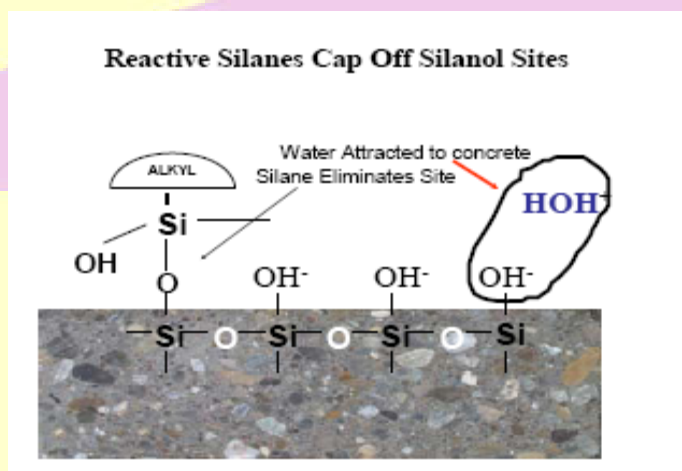
#### راه حل

فن آوری که در برابر آب و نمک محافظت طولانی مدت ایجاد می کند، شیمی ارگانو سیلان (Organosilane) می باشد. ترکیب های ارگانو سیلان تنها مواد واکنش دهنده و نفوذ کننده ای هستند که عمری طولانی برای سازه ها فراهم می کنند. مولکول های سیلان با سطح، گروه های OH، واکنش می دهند و ویژگی های سطح را از هیدروفیلیک (آب دوست) به هیدروفوبیک (آب گریز) تغییر می دهند. بیش از ۴۰ سال از کشف این فن آوری گذشته است. با این وجود از آنجایی که این فن آوری پایه حلالی بوده و نسبتاً گران قیمت است، از آن به شکل گسترده استفاده نشده است.

EXIR SHARGH



ضد آب سازی محصولات با ارگانو سیلان آلکیل آلکوکسی سیلان



زایکوسیل که توسط شرکت زایدکس، واقع در وادودارا در گجرات هند، ساخته می شود محصولی بر پایه ارگانو سیلان و محلول در آب است. علاوه بر این به علت اندازه بسیار ریز ذرات آن (۳-۶ نانومتری) به منافذ لایه های زیرین نفوذ می کند. ماندگاری عملکرد محصول به علت واکنش با لایه های زیرین و عمق نفوذ می باشد.

### محصول زایکوسیل (ZYCOSIL)

زایکوسیل نسل جدیدی از تکنولوژی نانو برای ضد آب کردن است، که در برابر اشعه فرابنفش و گرما مقاوم بوده و بخاطر اندازه بسیار ریز و قدرت نفوذی که دارد در برابر فرسایش باد پایدار است. در ساخت زایکوسیل مسائل زیست محیطی لحاظ شده اند. این محصول اولین فن آوری نانو بر پایه آب است، بدین معنی که با بالاترین استانداردهای VOC مطابقت دارد. زایکوسیل در آب حل می شود و محلولی شفاف مانند آب تشکیل می دهد که می تواند برای سطوح تازه و قدیمی بتنی و بناها بوسیله اسپری، قلم مو و یا غلتک استفاده شود. زایکوسیل با سطح بتن و بنا واکنش شیمیایی داده و پس از خشک شدن در جهت ایجاد ویژگی های محافظت کامل در برابر آب ورودی عمل می کند. پوشش های متداول بر پایه شیمی های پوششی، تمایل به محبوس کردن رطوبت در داخل لایه های زیرین دارند که این امر باعث پوسته شدن لایه رنگ در داخل ساختمان می شود. پیوند شیمیایی زایکوسیل امکان تنفس سازه را فراهم می کند و در نتیجه رنگ، پوسته نمی شود و مقاومت ساختمان برای مدتی طولانی حفظ می شود. زایکوسیل به علت واکنش پذیری با مواد معدنی مصالح ساختمانی در دوره های بارانی متعدد شسته نمی شود. این ماده ساختار ویژه ای دارد که در برابر تخریب اشعه فرابنفش مقاوم است و در غلظت کم نیز آن قدر نفوذ می کند که محافظتی مؤثر و مقرون به صرفه ایجاد نماید.

### نتایج آزمایش ها

(۱) هوازدگی تسریع شده

نمونه ها با زایکوسیل عمل شدند (۱ بخش زایکوسیل و ۱۰ بخش آب).  
آزمایش اثر عوامل جوی با استفاده از محفظه فرابنفش صورت گرفت.

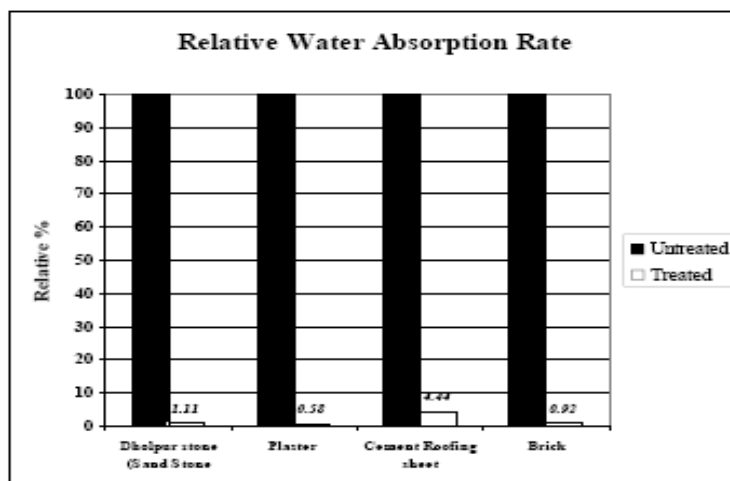
چرخه اثر عوامل جوی: قرار گرفتن در معرض اشعه فرابنفش بر اساس استاندارد ASTM G-154 (به مدت ۲۱ ساعت)، و در پی آن بارش باران (۱ ساعت) و خشک شدن در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد (۲ ساعت).

نمونه ها شامل بلوک های بتنی، آجر، آستر سیمانی، سنگ ماسه و ورقه سیمانی تحت تأثیر بیش از ۹۰ چرخه قرار گرفتند. تمامی نمونه ها بیش از ۹۸٪ آب گریزی اولیه را پس از گذراندن ۹۰ دوره حفظ کردند که این معادل بیش از ۲۰ سال کارکرد می باشد.

### (۲) سرعت جذب آب

نمونه ها با زایکوسیل عمل شدند (۱ بخش آب با ۱۰ بخش آب).

این آزمایش ها با استفاده از روش آزمون RILEM II.4 انجام شد. لوله رایلم روی سطح لایه های زیرین ثابت و سپس آب تا ۵ میلیمتر پر شده و سپس سرعت جذب آب اندازه گرفته شد. فشار هیدرولیکی تولید شده بر سطح لایه های زیرین معادل بورانی با سرعت ۱۴۰ Km/Hr می باشد.



### (۳) آزمایش غوطه وری در آب

آزمایش غوطه وری در آب به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت (ASTM D6489) برای بتن (M-35) ۹۰٪ کاهش در جذب آب را نشان داد. نتایج این آزمایشات توسط آزمایشگاه آزاد (SETSCO) واقع در سنگاپور نیز مورد تأیید قرار گرفته است.

#### کاربرد ها :

#### کاربردهای تجاری و بازرگانی :

- |                           |                        |
|---------------------------|------------------------|
| ساختمان های جدید          | برج های خنک کننده      |
| ساختمان های موجود/قدیمی   | تصفیه خانه فاضلاب      |
| مناطق ساحلی               | لوله های سیمانی و بتنی |
| ورقه های سیمانی سقفی      | پل ها                  |
| محل های فرش شده با بتن    | تراورس های خط آهن      |
| آثار گلی / کاشی / سفال ها | تقاطع های غیر هم سطح   |
| سنگ ها                    | تونل ها                |
| آجرهای بدون حفاظ          | ستون های دریایی        |
|                           | بار انداز ها           |
|                           | کارخانه های کشتی سازی  |

# EXIR SHARGH

تهیه و تنظیم: شرکت اکسیر شرق

مشهد: میدان قائم، بلوار آزادی، بین ۵۸ و ۶۰، مجتمع تجاری صدرا، طبقه پنجم، واحد ۵۵.

تلفن: ۰۵۱۱-۶۵۷۶۰۱۰ ۰۲۱-۲۲۵۸۳۳۶۸

KR13880809