



# تکنولوژی بتن

دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب

دانشکده فنی و مهندسی

کارشناسی مهندسی عمران

## خرابی بتن

مدرس: دکتر فرزین صمصامی

# انواع خرابیهای بتن

- شیمیایی:

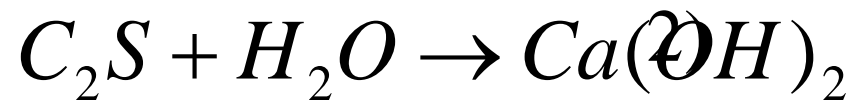
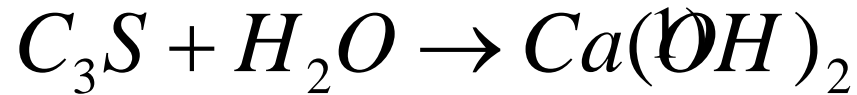
- (۱) تهاجم سولفات
- (۲) تهاجم کلراید
- (۳) کربناتاسیون
- (۴) واکنش قلیایی سنگدانه ها

- فیزیکی:

- (۱) یخ زدن و آب شدن

- مکانیکی:

- (۱) سایش
- (۲) فرسایش
- (۳) خلأزایی



# تهاجم سولفات

- این محصول را اترینگایت یا میکرب سیمان می نامند.
- ویژگی اترینگایت: افزایش حجم زیاد (حتی تا ۱۵ برابر حجم اولیه)
- نتیجه: افزایش حجم تدریجی و نهایتاً خرد شدن بتن
- سولفات اساساً بر روی بتن تأثیر منفی دارد.
- گچی که به سیمان اضافه می کنیم موجب می شود که کمی اترینگایت تشکیل شود، ولی میزان آن کنترل شده است.
- اترینگایت ناشی از گچ پراکنده است ولی اترینگایت ناشی از سولفات ه شدن گسترده در تمام سطح است.

# روشهای تشخیص خرابی سولفاتی

- (1) سفیدک (ناشی از تشکیل آهک) (غیردقیق و احتمالاتی) (مشکل آن است که انواع سفیدکها، از جمله کلروری داریم).
- (2) تشخیص اترینگایت از طریق میکروسکوپ الکترونی (SEM) (بلورهای آن سوزنی شکل است)
- (3) مشاهده ترک ظاهری (پس از ۱۵-۵ سال)
- (4) آزمایش شیمیایی سطح بتن

# روشهای پیشگیری از تبعات منفی تهاجم سولفات

- (1) کنترل مصالح بتن (سنگدانه، آب،...) از نظر میزان سولفات
- (2) استفاده از بتن با کیفیت بالا ( $W/C$  پایین، تراکم زیاد)؛ تأخیر و کندی خرابی
  - عمل آوری کافی و مناسب (کامل شدن فعل و انفعالات، پر شدن فضای خالی، تشکیل شدن ژل به میزان کافی)
  - مصرف سیمان نوع ۵ (مشروط به عدم حضور کلراید)
  - مصرف سیمان نوع دو (تهاجم کم سولفات، یا تهاجم توأم سولفات و کلراید)
  - مصرف پوزولانهای طبیعی و مصنوعی
  - کاهش مصرف سیمان

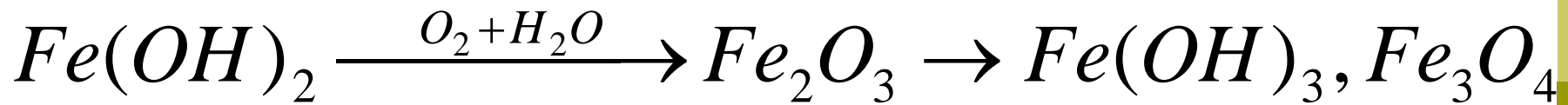
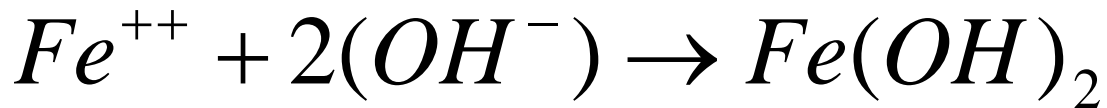
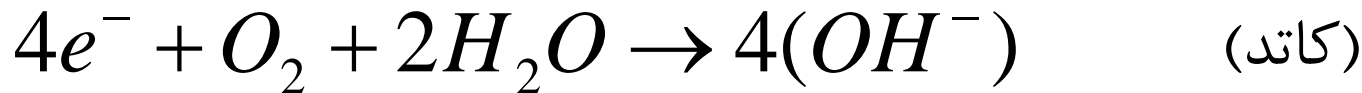
# آزمایشهای خرابی سولفات

- (1) آزمایش درازمدت
- (2) آزمایشهای کوتاه مدت: محلول ۴ درصد سولفات سدیم

## موارد کنترلی در آزمایشها:

- (الف) مقاومت
- (ب) انبساط نمونه
- (پ) وضع ظاهری و بررسی ترکها
- (ت) تعیین میزان سولفات در عمق نمونه
- (ث) میکروسکوپ الکترونی

## تهاجم کلراید



- تشکیل پیل الکتروشیمیایی
- یون کلراید  $Cl^{-}$  ، همچنین امر را با شدت بسیار زیاد انجام می دهد و موجب تشدید خوردگی می شود.





# SHAHID RAJAIE Port

**Damage to Berthing Face**



# KISH ISLAND







## Damage to Pier Beam/Foundation Pile





# BANDAR ABBAS







**Damage to Pier Beam/Foundation Pile**

**BANDAR ABBAS**



# Shahid Rajaei Port

## Damage to Rail Foundation





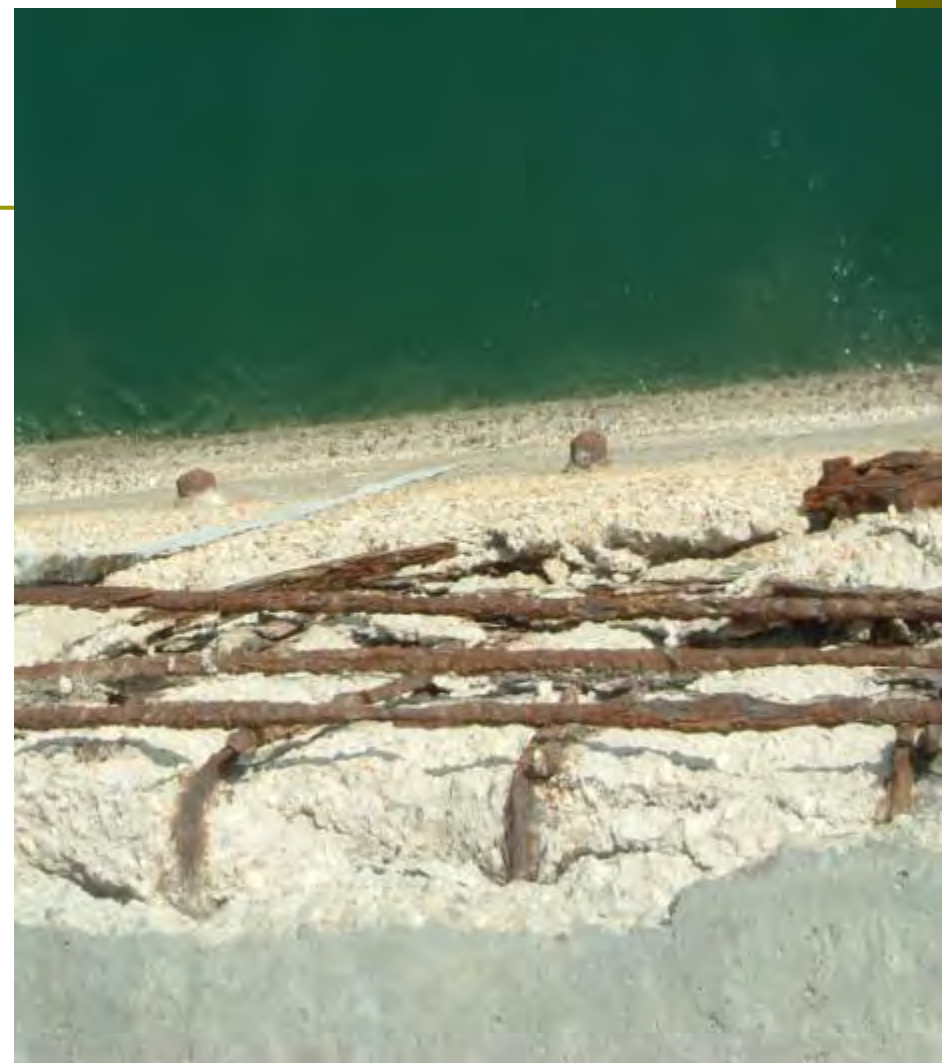
**Jetty in QESHM Island**



# **SHAHID RAJAIE Port**

**Damage to Berthing Face**





# SHAHID BAHONAR Port

**Damage to Berthing Face**

# نمونه هایی از خرابی سازه‌های بتنی در سواحل خلیج فارس ( بندر بوشهر)



# نمونه هایی از خرابی سازه های بتنی در سواحل خلیج فارس ( بندر بوشهر)

---





# نمونه هایی از خرابی سازه های بتنی در سواحل خلیج فارس ( بندر بوشهر)



# نمونه هایی از خرابی سازه های بتنی در سواحل خلیج فارس ( بندر بوشهر)

---



# نمونه هایی از خرابی سازه های بتنی در سواحل خلیج فارس ( بندر بوشهر )

---



# تهاجم کلراید

- موجب خوردگی موضعی و چال افتادگی می شود.
- افزایش حجم آرماتور به علت زنگ زدگی؛ در نتیجه ترک خوردن بتن
- مهمترین نوع خرابی است.
- فقط در بتن مسلح است.
- موجب از بین رفتن محیط قلیایی و پاسیویته بتن می شود.  
(همین امر در تهاجم اسیدها و کربناتاسیون نیز اتفاق می افتد)
- در بتن پیش تنیده چون فولاد تحت تنش است خوردگی هم شدیدتر است و هم خطرناکتر.
- $C_3A$  در اینجا عامل مثبت است زیرا موجب تشکیل نمک فریدل می شود.
- منشأ کلراید: کلراید همراه مصالح، آب دریا، مواد یخ زدا، سوختن پی وی سی

# روش تشخیص خرابی کلرایدی

- (1) بازدید ظاهری (ایجاد ترک، علائم و لکه های زنگ،...)
- (2) آزمایش شیمیایی، تعیین مقدار یون کلراید در سطح و در اعماق بتن
- (3) استفاده از دستگاه نیم پیل
- (4) استفاده از دستگاه گالواپالس

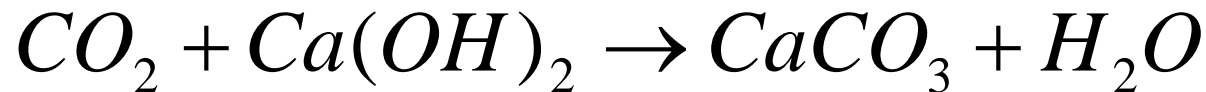


# روشهای پیشگیری از تبعات منفی یون کلراید

- (1) کنترل مقدار یون کلراید در سطح بتن
  - (2) عدم مصرف کلرورکلسیم (به عنوان زودگیرکننده) در بتن آرمه
  - (3) بتن با کیفیت مناسب: W/C پایین، نفوذپذیری کم و تراکم زیاد، عمل آوری مناسب
  - (4) شستشوی مصالح از املاح
  - (5) استفاده از آب شیرین
  - (6) پوشش کافی بتن روی آرماتور
  - (7) استفاده از پوزولان
  - (8) عدم استفاده از سیمان نوع پنج
  - (9) استفاده از آرماتور با پوشش اپوکسی
  - (10) استفاده از فولاد زنگ نزن
  - (11) حفاظت کاتدیک (مکانیزم: برقراری جریانی برخلاف جریان پیل خوردگی)
- یکی از مکانیزمهای حفاظت کاتدیک: برقراری جریانی برخلاف جریان پیل خوردگی (ولتاژ ضعیف در حدود ۶-۵ ولت)
- در حفاظت کاتدیک، یک آند قربانی ایجاد می کنیم که آرماتور سالم بماند.

# کربناتاسیون

$CO_2$  در جو وجود دارد.



- قلیائیت بتن کم می شود، لذا پاسیویته کم می شود، لذا زمینه برای خرابیهای دیگر (زنگ زدن، تهاجم کلراید) فراهم می شود.
- شدیدترین حالت واکنش، در رطوبت نسبی ۶۰ تا ۷۰ درصد است.

# روش تشخیص کربناتاسیون

(1) فنل فتالئین (محیط کربناته شده بیرنگ، وگرنه ارغوانی)  
- از محلول فنل فتالئین (۲درصد، حل شده در الکل اتیلیک استفاده می کنیم).

روشهای پیشگیری از تبعات منفی کربناتاسیون

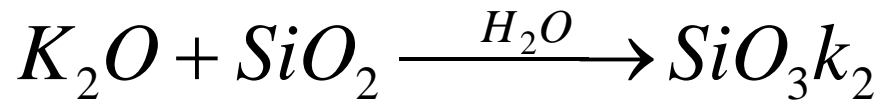
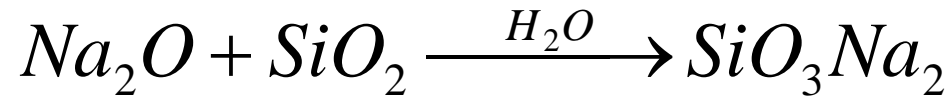
(1) استفاده از بتن با کیفیت بالا ( W/C ، تراکم، عمل آوری)

(2) پوشش مناسب

(3) عدم استفاده از بخاریهای احتراقی در محیطهای بسته

(4) استفاده از پوزولان

# واکنش قلیایی سنگدانه ها



- دو محصول اخیر، ژل منبسط شونده هستند و با افزایش میزان آنها بتن دچار ترک خوردگی می شود.
- این واکنش را سرطان بتن می گویند.
- در فرمول فوق، سیلیس باید فعال یا آمورف باشد.

# واکنش قلیایی سنگدانه ها

---

- به جای سیلیس، کربنات فعال نیز می تواند باشد.

-  $AAR =$  واکنش قلیایی سنگدانه ها

(1)  $ASR =$  واکنش قلیایی سنگدانه های سیلیسی

(2)  $ACR =$  واکنش قلیایی سنگدانه های کربناتی

# شناسایی واکنش قلیایی سنگدانه ها

---

(1) ترک های پوست سوسماری یا نقشه ای یا موزاییکی

(2) مشاهده در زیر میکروسکوپ یا نور پلاریزه

(هاله ای از واکنشهای جدید، بیشتر به رنگ سفید، در اطراف سنگدانه ها)

# آزمایشهای پیشگیرانه

- (1) آزمایش پتروگرافی سنگدانه ها  
- نیاز به تخصص بالا دارد.
- (2) آزمایش تسریع شده ASTM C289 (بر روی سنگدانه)  
- دوسه روزه است.  
- سنگدانه مستقیماً در سود قرار می گیرد.  
- انبساط نمونه را اندازه می گیرند.
- (3) نمونه منشوری ملات ASTM C227  
- دو هفته ای است.  
- اندازه گیری انبساط (بیش از ۱/۰ درصد غیرمجاز)
- (4) نمونه منشوری بتن  
- یک ماهه، سه ماهه، شش ماهه است.

# روشهای مقابله با تبعات منفی واکنش قلیایی سنگدانه ها

---

- (1) آزمایش سنگدانه ها، نمونه های ملات و بتن ساخته شده قبل از ساخت بتن.
- (2) استفاده از سیمان با قلیائیت کم  
- قلیائیت معادل سیمان ( $Na_2O + 0.658K_2O$ ) کمتر از ۶/۰ درصد وزن سیمان
- (3) خشک نگهداشتن بتن
- (4) مصرف سیمانهای پوزولانی (خاکستر بادی، سرباره، میکروسیلیس)



# سایش (abrasion)

---

- در بتن های در معرض رفت و آمد و عبور و مرور (کارخانه ها، کفهای بتنی، پیاده روها، روسازی های بتنی)

# روشهای پیشگیری از تبعات منفی سایش

- (1) W/C پایین
- (2) عمل آوری مناسب و خوب بویژه در روزهای اول (حداقل ۷ روز)
- (3) مقاومت زیاد ( $> 420 \frac{kg}{cm^2}$ )
- (4) جلوگیری از آب انداختگی (bleeding)  
- پرداخت صحیح لازم است.  
- پاشیدن سیمان باری صاف کردن سطح، مناسب نیست، بلکه روش صحیح این کار استفاده از بتن پرعیار برای بتن خارجی و پاشیدن سنگدانه های ریز است.
- (5) استفاده از سنگدانه های سخت  
- عدد لُس آنجلس کمتر از ۴۰ درصد
- (6) استفاده از میکروسیلیس و سایر پوزولانها

# فرسایش (erosion)

- سایش در کانالها و سازه های آبی، بر اثر جریان آب توأم با مواد جامد.
- مشابه پدیده سایش است.
- به مدلها و دستگاههای دقیقتری برای آزمایش پدیده نیاز است از جمله سایش همراه با جریان آب، ماسه پاشی، و نظایر آن
- روشهای مقابله نظیر سایش است.

# خلأزایی (cavitation)

- در سازه های هیدرولیکی پیش می آید.
- بر اثر سرعت و تغییر سرعت، و سرعت زیاد بیش از  $40\text{ m/s}$ ، حبابهایی به وجود می آید.
- فشار کم می شود، خلأ ایجاد می شود، حباب ایجاد می شود.
- بر اثر از بین رفتن و شکسته شدن حبابها، بتن قلوه کن می شود.
- در سرریز سدها بسیار اتفاق می افتد.

# روشهای پیشگیری از تبعات منفی خلأزایی

- (1) استفاده از بتن با مقاومت بالا
- (2) W/c پایین
- (3) ایجاد پیوستگی (bonding) بیشتر بین خمیر و سنگدانه
- (4) استفاده از میکروسیلیس
- (5) استفاده از بتن های پلیمری
- (6) استفاده از بتن با الیاف فولادی و پلیمری
- (7) عمل آوری خوب
- (8) ایجاد سطح صاف و صیقلی (زیرا سطح ناصاف و ناهموار موجب ایجاد تغییرات فشار و سرعت می شود)؛ (بتن پلیمری در این زمینه مناسب عمل می کند)؛ (در تعمیرات، می باید به این امر توجه بسیار جدی بشود و گرنه مشکل بیشتر می شود).

# یخ زدن و آب شدن (freez-thaw)

---

- مکانیسم: افزایش تدریجی منافذ، و لذا کاهش مقاومت و دوام.

# روشهای پیشگیری از تبعات منفی یخ زدن و آب شدن

- (1) رعایت ضوابط بتن ریزی در هوای سرد.
  - (2) کاهش نفوذپذیری و کاهش منافذ (نتیجه: کاهش لوله های مویینه)
  - (3) عمل آوری و مواظبت و مراقبت مناسب، بویژه در سنین اولیه بتن
  - (4) کاهش w/c
  - (5) مصرف مواد حباب هوازا
- نقش آنها، کنترل انبساطهای ناشی از یخ زدن و آب شدن است.

# آزمایش یخ زدن و آب شدن

- ساخت نمونه، سپس اندازه گیری موارد زیر:

(1) کاهش وزن

(2) میزان انبساط

(3) کاهش مدول الاستیسیته دینامیکی

(4) مقاومت فشاری

(5) مدول گسیختگی (مقاومت کششی حاصل از آزمایش خمشی)

- از جمله پارامترهایی که در این آزمایشها تعیین می کنند، ضریب دوام (F) است.