وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه فنی و حرفه ای
**دانشکده دارالفنون پسران بجنورد**

# خرابی و دوام بتن

**بیژن اجتماعی**
**کارشناس ارشد مهندسی عمران و مدرس دانشگاه**

**درس: خرابی و دوام بتن**
**پاییز۹۶**

# دوام بتن

# Durability of Concrete

# مقدمه

- طراحان سازه‌های بتنی بیشتر به مشخصات مقاومتی این ماده توجه دارند.
- خرابی زودرس سازه‌های بتنی در مواردی که مشخصات مقاومت نیز رعایت شده درسهای ارزشمندی را در مورد کنترل عاملهای موثر در عدم دوام سازه‌های بتنی به ما می‌دهند.
- این موضوع پذیرفته شده است که در طراحی سازه‌ها، می‌باید مشخصات دوام مصالح مورد نظر، همانند سایر مشخصات و ویژگی‌های آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

# تعریف

- منظور از دوام سازه عمر خدمت‌دهی طولانی آن است.
- بر طبق تعریف کمیته ۲۰۱ انیستیتوی بتن آمریکا(ACI)، دوام بتن سیمان پرتلند به توانایی آن برای مقاومت در برابر عوامل هوازدگی، حمله شیمیایی، سایش، و یا هر فرآیندی که موجب آسیب‌دیدگی شود، گفته می‌شود.
- بنابراین، بتن بادوام، بتنی است که شکل اولیه، کیفیت و قابلیت خدمت‌دهی خود را در شرایط محیطیش حفظ کند.

# اهمیت

- هیچ مصالحی ذاتاً با دوام نیست؛ یک ماده وقتی به انتهای عمر خدمت‌دهی خود می‌رسد که، خواصش، تحت شرایط مفروض استفاده ار آن، به حدی آسیب دیده باشد که ادامهٔ استفاده از مصالح **ناایمن** یا **غیر اقتصادی** شناخته شود.
- هزینه‌های تعمیر و جایگزینی سازه‌ها، ناشی از خرابی مصالح، بخش عمده‌ای (تا ۴۰٪) از کل بودجه ساختمان سازی را به خود اختصاص می‌دهد.
- حفاظت از منابع طبیعی از طریق بادوام‌تر ساختن مصالح در هر حال یک اقدام **زیست‌محیطی** می‌باشد.

# مشاهدات کلی

- آب، عنصر اولیه به وجود آوردن و تخریب کننده بسیاری از مصالح طبیعی و همچنین منشأ اغلب مسایل مربوط به دوام بتن می‌باشد (عامل تخریب فیزیکی و یا به عنوان وسیله‌ای برای انتقال یونهای مهاجم).
- پدیده‌های فیزیکی- شیمیایی مرتبط با حرکات آب در اجسام متخلخل را نفوذپذیری جامدات کنترل می‌کند.
- میزان آسیب دیدگی، تحت تأثیر نوع و غلظت یونهای داخل آب و ترکیب شیمیایی جسم است.

# اهمیت آب

- بسته به شرایط محیطی و ضخامت قطعه بتنی، به تدریج، اکثر آب قابل تبخیر بتن از بین رفته و منافذ بتن به صورت خالی یا اشباع نشده در می‌آیند.
- از آنجا که این آب قابل تبخیر است، لذا قابلیت یخزدگی دارد و همچنین برای جابه‌جایی داخلی آزادی دارد.
- بنابراین، بتنی که پس از خشک شدن آب قابل تبخیر نداشته و یا کم داشته باشد و منافذ آن دوباره اشباع نشوند، در مقابل رویدادهای مخرب وابسته به آب، آسیب‌پذیر نخواهد بود.

# نفوذپذیری (Permeability)

- نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی خاصیتی است که کنترل کننده نرخ نفوذ یک سیال به داخل یک جسم جامد متخلخل می باشد.
- برای جریان پایا، ضریب نفوذپذیری (K) از معادله دارسی به دست می‌آید.

$$\frac{dq}{dt} = k\frac{\Delta HA}{l\mu}$$

که در آن dq/dt آهنگ جریان مایع، μ لزجت مایع، ΔH گرادیان فشار، A مساحت سطح و l ضخامت جسم می‌باشد.

# نفوذپذیری خمیر سیمان

- در خمیر هیدراته شده، اندازه و پیوستگی منافذ در هر نقطه در حین فرآیند هیدراتاسیون، ضریب نفوذپذیری را کنترل خواهد نمود.
- آب مخلوط به طور غیر مستقیم مسئول نفوذپذیری خمیر سیمان هیدراته شده می‌باشد.
- میزان این آب، در ابتدا نشان دهندهٔ کل فضای خالی است، و پس از انجام هیدراتاسیون، این آب نشان دهندهٔ فضای پرنشده پس از مصرف آب (برای هیدراتاسیون یا تبخیر) است.

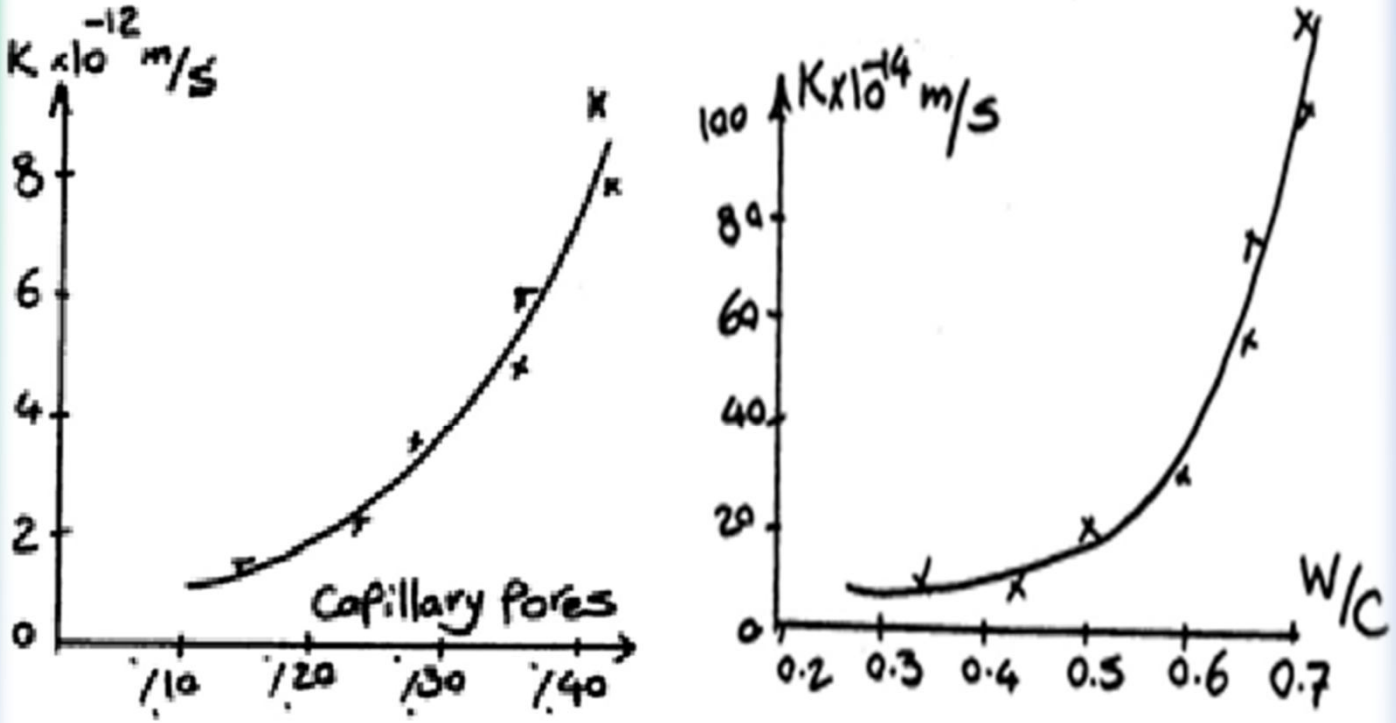
# نفوذپذیری خمیر سیمان

- ضریب نفوذپذیری خمیر سیمان تازه در حدود $10^{-4}$ تا $10^{-5}$ سانتیمتر بر ثانیه می‌باشد.
- در حین فرآیند هیدراتاسیون به تدریج که تخلخل مویینگی کاهش می‌یابد، ضریب نفوذپذیری نیز کمتر می‌شود، ولی تناسب مستقیمی بین این دو وجود ندارد.
- برای مثال هنگامی که تخلخل مویینگی از ۴۰٪ به ۳۰٪ کاهش می‌یابد، نفوذپذیری به مقدار خیلی زیاد (از حدود $10^{-12}$ * ۱۱۰ به $10^{-12}$ * ۲۰ سانتیمتر بر ثانیه) افت می‌کند، در صورتی که بر اثر کاهش بیشتر تخلخل از ۳۰٪ به ۲۰٪، افت خیلی کمی در نفوذپذیری بوجود می‌آید.

# نفوذپذیری خمیر سیمان

- علت این امر آن است که در ابتدا، با پیشرفت فرآیند هیدراتاسیون سیمان، حتی مقدار کم کاهش تخلخل مویینگی کل، با تقسیم قابل توجه منافذ بزرگ همراه است، بنابراین اندازه و تعداد کانالهای جریان در خمیر سیمان به میزان زیادی کاهش میابد.
- به طور متعارف، تخلخل مویینگی در حدود ۳۰ درصد، نشان دهندهٔ آن زمانی است که اتصال زنجیری بین منافذ، بقدری پیچ در پیچ و یا قطع شده است که کاهش بیشتر تخلخل خمیر سیمان تاثیر زیادی در ضریب نفوذپذیری ندارد.

# نفوذپذیری خمیر سیمان



# نفوذپذیری خمیر سیمان

- تاثیر تقسیم شدن موئینه‌ها روی نفوذپذیری نشان میدهد نفوذپذیری تابع ساده‌ای از تخلخل نمی‌باشد (دو جسم با تخلخل یکسان اما نفوذپذیری متفاوت).
- در واقع یک مسیر عبور بزرگ که حفره‌های موئینه را به هم متصل می‌سازد باعث نفوذپذیری زیاد می‌شود، در حالی که ممکن است مقدار تخلخل واقعاً تغییری نکند.
- در خمیر سیمان معمولی، انفصال در شبکه مویینه وقتی اتفاق می‌افتد که تخلخل مویینه در حدود ۳۰ درصد باشد.(برای خمیرهای با نسبت آب به سیمان ۰/۴، ۰/۴۵، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷بعد از ۳، ۷، ۱۴، ۱۸۰و ۳۶۵ روز عمل‌آوری مرطوب).

عمر تقریبی لازم برای تولید بلوغی که در آن لوله‌های موبینه قطعه‌قطعه می شوند

| نسبت جرمی آب به سیمان | زمان لازم |
|---|---|
| ۰/۴۰ | ۳ روز |
| ۰/۴۵ | ۷ روز |
| ۰/۵۰ | ۱۴ روز |
| ۰/۶۰ | ۶ ماه |
| ۰/۷۰ | ۱ سال |
| بیش از ۰/۷۰ | غیر ممکن |

# نفوذپذیری سنگدانه

- در مقایسه با تخلخل موییننگی ۳۰٪ تا ۴۰ ٪ در خمیرهای سیمان، حجم منافذ در اغلب سنگدانه‌های طبیعی معمولاً زیر ۳٪ بوده و بندرت از ۱۰٪ تجاوز می‌کند.
- بنابراین انتظار می رود نفوذپذیری سنگدانه از نفوذپذیری خمیر سیمان خیلی کمتر باشد.
- اما نتایج نشان می دهد ضریب نفوذپذیری سنگدانه‌ها هم به همان نسبت خمیرهای سیمان هیدراته شده با آب به سیمانهای در محدوده ۰/۳۸ تا ۰/۷۱ متغیر می‌باشند.

# نفوذپذیری سنگدانه

- دلیل اینکه نفوذپذیری بعضی از سنگدانه‌های با تخلخل پایین (حدود ۱۰٪) ممکن است خیلی بیشتر از خمیرهای سیمان باشد این است که اندازه منافذ موبینه در این سنگدانه ها در مقایسه با خمیر سیمان بسیار بزرگتر است.
- ابعاد منافذ موبینه خمیر سیمان عمل‌آوری شده در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ نانومتر است، در صورتی که اندازه منافذ سنگدانه‌ها بطور متوسط بزرگتر از ۱۰μ می‌باشند.
- اما در بعضی سنگ‌های آهکی، منافذ از نظر اندازه، شامل مقدار بسیار زیادی منافذ ریز می‌شوند و در نتیجه نفوذپذیری آنها کم است.

# نفوذپذیری بتن

- انتظار می‌رود که اضافه کردن ذرات سنگدانه با نفوذپذیری کم به خمیر سیمان، نفوذپذیری کل سیستم را کاهش دهد.
- این بیان در مورد خمیرهای با نسبت زیاد آب به سیمان و در سنین اولیه آن، که تخلخل مویینگی زیاد است صادق است، چراکه ذرات سنگدانه‌ها کانالهای جریان داخل ماتریس خمیر سیمان را قطع می نمایند.
- اما داده‌های حاصل از آزمایشها دلالت بر آن دارند که در عمل اضافه نمودن سنگدانه به خمیر سیمان یا ملات، نفوذپذیری را در حالت کلی به میزان زیادی افزایش می‌دهد.

# نفوذپذیری بتن

- به طور متعارف، ضرایب نفوذپذیری بتن با مقاومت متوسط (آب به سیمان ۰/۵، سنگدانه ۳۸ mm و عیار $kg/m^2$ ۳۵۶) و بتن با مقاومت کم (آب به سیمان ۰/۷، سنگدانه ۱۵۰ mm و عیار $kg/m^2$ ۱۴۸) به ترتیب در حدود $1*10^{-10}$ و $30*10^{-10}$ cm/sec می باشند.
- هر چه که اندازه سنگدانه بزرگتر باشد، ضریب نفوذپذیری بیشتر می‌شود.

# نفوذپذیری بتن

- نفوذپذیری بتن را می‌توان با استفاده از آزمایشهای متعددی بدست آورد، لیکن نتایج بیشتر نسبی می‌باشند.
- در اغلب این آزمایشها اطراف نمونه بتنی پوشانده می‌شود و آب تحت فشار به سطح بالایی آن اعمال می‌شود.
- وقتی شرایط جریان پایدار پدید آمد، که این امر در بتن‌های کم نفوذ ممکن است چندین روز طول بکشد، مقدار آبی را که از ضخامت معینی بتن در مدت زمان مشخص عبور می‌کند، اندازه‌گیری می‌کنند.
- نفوذپذیری بتن در مقابل آب بصورت ضریب نفوذپذیری با قرار دادن مقادیر اندازه‌گیری شده در رابطه دارسی محاسبه می‌گردد.

# نفوذپذیری بتن

- نفوذپذیری بتن را می‌توان با استفاده از آزمایشهای متعددی بدست آورد، لیکن نتایج بیشتر نسبی می‌باشند.
- در اغلب این آزمایشها اطراف نمونه بتنی پوشانده می‌شود و آب تحت فشار به سطح بالایی آن اعمال می‌شود.
- وقتی شرایط جریان پایدار پدید آمد، که این امر در بتن‌های کم نفوذ ممکن است چندین روز طول بکشد، مقدار آبی را که از ضخامت معینی بتن در مدت زمان مشخص عبور می‌کند، اندازه‌گیری می‌کنند.

# نفوذپذیری بتن

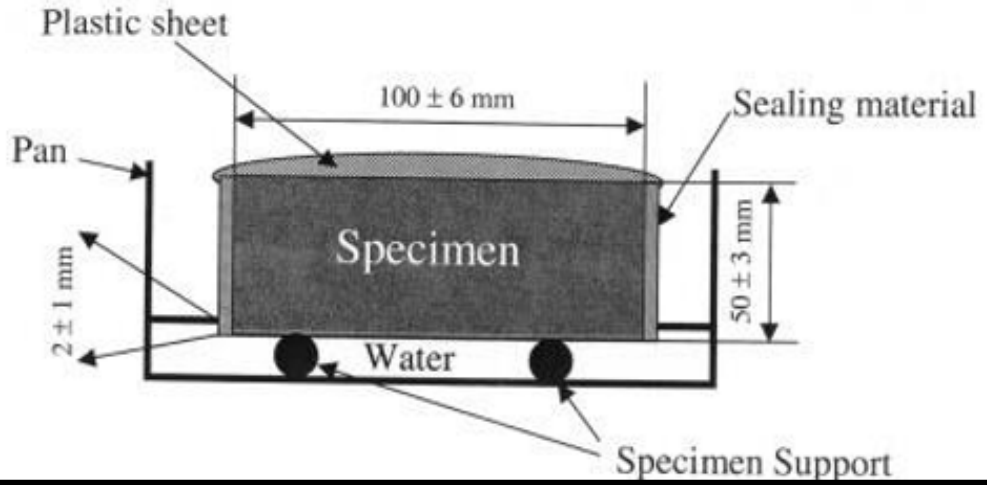
- آزمایش دیگری جهت تعیین **جذب آب سطحی** ارائه شده است (ISAT)
- جذب آب سطحی به صورت مقدار جریان آب در واحد سطح بتن، بعد از زمانی معین و تحت اثر بار ثابت و دمای مشخص تعریف می‌گردد.

# نفوذپذیری بتن

- در روش دیگری مقدار **جذب آب حجمی** بتن اندازه گیری می شود.
- بدین منظور نمونه بتنی ابتدا خشک شده و سپس در داخل آب کاملا غوطه ور می شود.
- مقدار آب جذب شده توسط نمونه از روی تغییر در وزن آن در فواصل زمانی مشخص اندازه گیری می شود.
- دمای خشک کردن نمونه، طول مدت خشک کردن، و فواصل زمانی اندازه گیری در استانداردهای مختلف متفاوت است.

# نفوذپذیری بتن

- در روش **جذب آب مویینه** نمونه بتنی ابتدا خشک شده، سپس همه وجوه آن بجز یکی کاملا پوشانده شده و وجه آخر تا ۳ میلیمتر داخل آب قرار داده می شود.
- مقدار آب جذب شده توسط نمونه از روی تغییر در وزن آن در فواصل زمانی مشخص اندازه گیری می شود.



# نفوذپذیری بتن

- بدلیل آنکه آب بر روی ریزساختار بتن تاثیر گذاشته و آنرا تغییر می دهد، لذا آزمایشهای تعیین نفوذپذیری به وسیله آب ذاتا دارای خطا هستند.
- بدین منظور در بعضی آزمایشهای تعیین نفوذپذیری از سیالات دیگر نظیر هوا یا گاز نیتروژن استفاده می شود.
- یکی از روشهای متداول برای اندازه گیری نفوذپذیری و تخلخل خمیر سیمان یا بتن روش تخلخل سنجی نفوذ جیوه (MIP) است.

# نفوذپذیری بتن

- در روش MIP جیوه با فشار بالا به داخل فضاهای موییِنه داخل بتن وارد می شود.
- ابعاد و اندازه فضاهای خالی از روی فشار لازم برای وارد کردن مقدار مشخصی جیوه به داخل آنها و نیز کشش سطحی جیوه تعیین می شود.

# خرابی بتن

- در یک تقسیم بندی کلی، عوامل خرابی بتن به دو دسته **عوامل فیزیکی** و **عوامل شیمیایی** تقسیم می شوند.
- تمایز بین علل فیزیکی و شیمیایی آسیب‌دیدگی بتن کاملاً اختیاری است و در عمل، این دو اغلب مکمل هم می‌شوند.
- مثلا فرسودگی سطحی و ترک‌خوردگی، نفوذپذیری بتن را افزایش می‌دهد که علت اصلی یک یا چند فرآیند آسیب‌دیدگی شیمیایی می‌شود و یا نشتی مایعات اسیدی به درون اجزای خمیر سیمان سخت‌شده، موجب افزایش تخلخل بتن شده و بنابراین مصالح را در برابر سایش و فرسایش، بیشتر آسیب‌پذیر می‌سازد.

# خرابیهای فیزیکی

- در یک تقسیم‌بندی علل **فیزیکی** آسیب‌دیدگی بتن به دو گروه طبقه‌بندی شده است.

– **فرسودگی سطحی یا کاهش جرم** : ناشی از سایش، فرسایش و خلأزایی

– **ترک‌خوردگی** : ناشی از گرادیان معمولی دما و رطوبت، فشارهای ناشی از تبلور نمکها در منافذ، بارگذاری سازه‌ای، و قرارگیری در معرض شرایط دمایی شدید، نظیر یخزدگی و آتش‌سوزی

# فرسودگی سطحی

- **سایش** (Abrasion): ساییدگی اصطکاکی خشک، مانند سایش روسازیها و کفهای صنعتی بر اثر عبور و مرور وسایل نقلیه
- **فرسایش** (Erosion) : فرسودگی ناشی از عملکرد سایشی مایعات محتوی ذرات جامد معلق در سازه‌های هیدرولیکی، مانند روکش کانالها، سرریزها ولوله‌های انتقال آب یا فاضلاب
- **خلأزایی** (Cavitation) : کاهش جرم ناشی از تشکیل حبابهای بخار و گسیختگی متعاقب آن بر اثر تغییر جهت ناگهانی در آبهای با جریان سریع

# سایش

- خمیر سیمان مقاومت زیادی در برابر ساییدگی ندارد و مخصوصا اگر خمیر سیمان دارای تخلخل زیاد یا مقاومت کم بوده و سنگدانه‌ها مقاومت سایشی کمی داشته باشند منجر به خرابی می شود.
- بر طبق رابطه کمیته دوام (ACI) برای تهیه سطوح بتنی مقاوم در مقابل سایش، مقاومت فشاری بتن هیچ‌گاه نباید کمتر از ۲۸ MPa شود.
- روشهای دستیابی به مقاومتهای مناسب عبارتند از : استفاده از نسبت کم آب به سیمان، دانه‌بندی سنگدانه، حداقل روانی تراکم مناسب و حداقل هوای محبوس شده متناسب با شرایط محیطی.

خمیر سیمان مقاومت چندانی در مقابل ساییدگی ندارد خصوصا زمانی که نسبت به آب به سیمان زیاد و تخلخل خمیر زیاد باشد .

طبق ACI201 برای رسیده به بتنی با مقاومت سایشی مناسب باید موارد زیر رعایت شود:

- مقاومت بتن نباید کمتر از 28MPa باشد و برای سایش بسیار زیاد کمتر از 41MPa نباشد .
- بزرگترین اندازه سنگدانه به ۲۵ میلیمتر محدود شود .
- حداکثر اسلامپ به ۷۵ میلیمتر محدود گردد .
- عمل آوری حداقل ۷ روز بعد از پرداخت ادامه پیدا کند .استفاده از افزودنی های کاهنده آب و افزودنیهای معدنی (میکروسیلیس ، سرباره و...) سبب کاهش تخلخل سطح میگردد.

# سایش

- تا زمانی که بتن آب انداختگی سطحی خود را از دست نداده ، عملیات پرداخت با ماله به تعویق افتد .

# فرسایش

- هنگامی که مایعی محتوی ذرات جامد معلق در تماس با بتن است، تصادم، لغزش یا غلتیدن ذرات باعث فرسایش سطح بتن می‌گردد.
- میزان فرسایش سطح، به تخلخل یا مقاومت بتن و نیز به مقدار، اندازه،شکل،چگالی، سختی و سرعت ذرات در حال حرکت بستگی دارد.
- وقتی که شرایط فرسایش شدید وجود دارد پیشنهاد شده است که علاوه بر مصرف سنگدانه‌های سخت، مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن باید حداقل ۴۱ MPa باشد و نیز قبل از در معرض محیط مهاجم قرار گرفتن به طور مناسبی عمل آورده شود.

# فرسایش

# خلأزایی (Cavitation)

- در سرعتهای بیش از ۱۲ متر در ثانیه (۷ متر در ثانیه در مجرای بسته)، جریان غیرخطی ممکن است سبب فرسایش شدید بتن بر اثر خلأزایی بشود.
- در مقایسه با فرسایش یا سایش، یک بتن قوی ممکن است لزوماً برای جلوگیری از آسیب‌دیدگی ناشی از خلأزایی مؤثر نباشد.
- بهترین راه‌حل برای مواجهه با این شکل از خرابی، از بین بردن علل بوجود آمدن خلأزایی، مانند ناترازی سطح و یا تغییرات ناگهانی شیب می‌باشد.

# فرسودگی سطحی

- عمل ساییدگی فیزیکی بتن، بر روی سطح آن اتفاق می‌افتد ← لایه سطحی با کیفیت بالا
- برای کاهش میزان تشکیل سطح ضعیف (شیره بتن) تا زمانی که بتن آب انداختگی سطحی خود را از دست نداده است، ماله‌کشی آن با مالهٔ فلزی و تخته ماله به تعویق انداخته شود.
- طراحی کفهای صنعتی یا روسازیهای با مقاومت زیاد برای لایه رویی: نسبت کم آب به سیمان و سنگدانه‌های سخت، مواد افزودنی لاتکس یا روان‌کننده
- همچنین مصرف مواد جایگزین سیمان مرغوب، مانند دوده سیلیسی متراکم و مواد پوزولانی ویژه با عمل‌آوری مرطوب مفید است

# تبلور نمک ها (Salt Crystallization)

- تحت شرایط محیطی خاص تبلور نمکهای مختلف در داخل منافذ بتن، می‌تواند باعث آسیب بسیار زیادی در بتن بشود.
- تبلور نمکهای حاصل از محلولهای فوق اشباع در داخل حفره‌های مصالح متخلخل می‌توانند موجب ایجاد تنشهای فشارهای بشود که باعث ترک‌خوردگی گردد.
- مثال: وقتی که یک طرف یک دیوار حایل یا یک دال بتنی با محلول نمک در تماس باشد و طرف دیگر آن تحت تبخیر قرار گیرد، یا خرابی ناشی از تبلور نمکهای موجود در آب دریا (سولفات و کلرید) در پای بسیاری از ستونها و دیوارهای بتنی سازه‌های نزدیک دریا

# خرابی ناشی از یخ زدگی

# خرابی ناشی از یخ زدگی

- در اقلیمهای سرد، آسیب‌دیدگی رو سازیهای بتنی، دیوارهای حایل، عرشه‌های پل‌ها و نرده‌ها، که به عمل یخزدگی (دوره‌های یخزدن و آب شدن) نسبت داده می‌شوند، یکی از مشکلات اصلی است.
- در هر حال، تأثیرات زیان‌آور، نه تنها به مشخصات بتن، بلکه به شرایط محیطی ویژه آن نیز بستگی دارد.
- بنابراین، بتنی که تحت یک شرایط یخزدگی و آب‌شدگی مشخص در برابر یخزدگی مقاوم باشد می‌تواند تحت شرایط دیگر تخریب گردد.

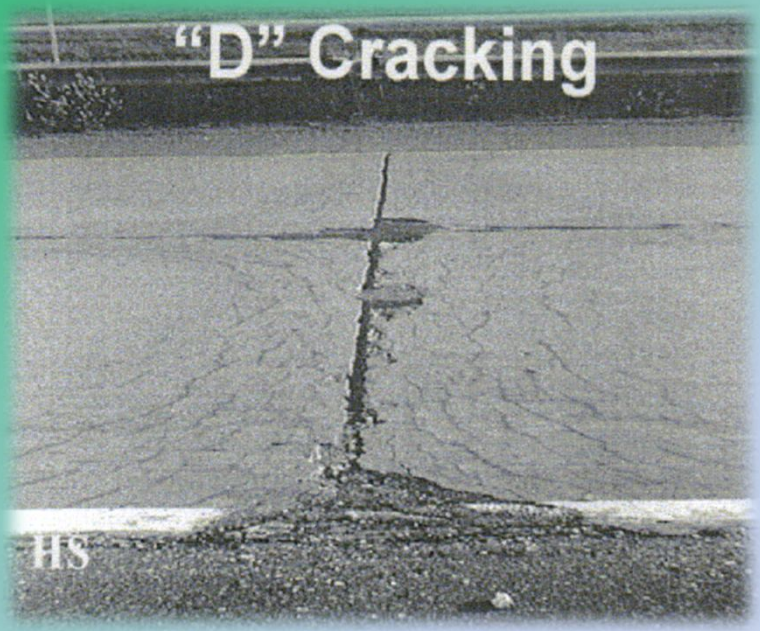
# خرابی ناشی از یخ زدگی

- آسیب ناشی از یخزدگی در بتن می‌تواند به چند شکل بوجود آید:

– عمومی‌ترین نوع آن ترک خوردگی بتن در اثر انبساط پیشرونده ماتریس خمیر سیمان بر اثر دوره‌های یخزدن و آب‌شدن مکرر است.

– پوسته شدن (ورقه ورقه شدن سطح پرداخت شده): در دالهای بتنی‌ای که در معرض یخزدن و آب‌شدن همراه با حضور رطوبت و مواد شیمیایی یخزدا قرار می‌گیرند

# "D" Cracking

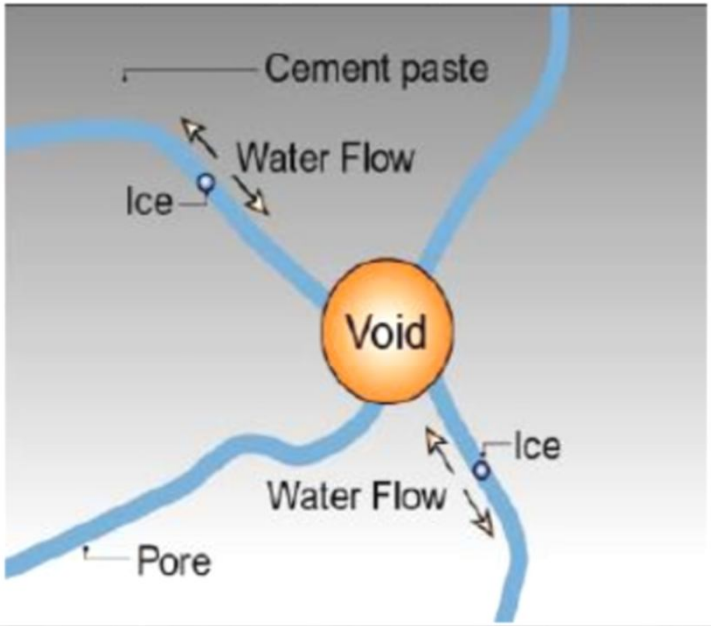


# مکانیزم خرابی ناشی از یخ زدگی

- وقتی آب یخ می زند، افزایش حجمی برابر ۹٪ پیدا می کند.
- یخ زدن آب در یک حفره موییِنه و افزایش حجم همراه با یخ‌زدگی آب، نیاز به انبساط حفره و یا نیاز به بیرون راندن مقدار آب اضافی از سطوح مرزی نمونه، و یا نیاز به هر دو اثر دارد.
- در ضمن این فرآیندها، فشار هیدرولیکی تولید می‌شود و مقدار این فشار بستگی به نرخ یخ زدگی، نفوذپذیری مصالح، و فاصله تا «سطح مرزی فرار» دارد.

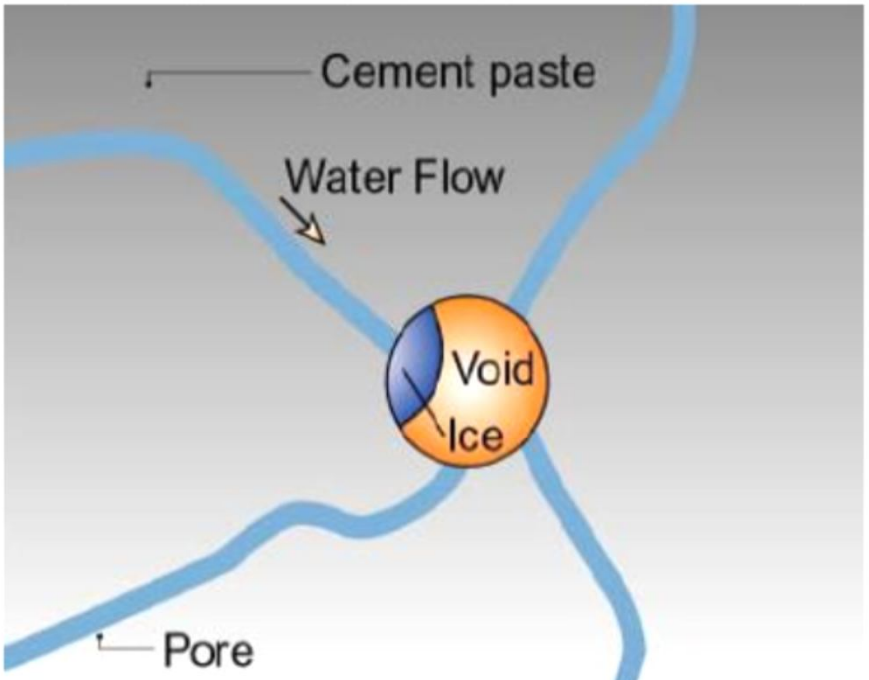
# مکانیزم خرابی ناشی از یخ زدگی

- فشارهای گسیختگی در نمونه اشباع شده خمیر توسعه خواهند یافت مگر آنکه تمام حفرات مویینه از نزدیکترین سطح مرزی فرار بیش از یک دهم تا هفت صدم میلیمتر فاصله نداشته باشند.



# مکانیزم خرابی ناشی از یخ زدگی

- این چنین سطوح مرزی نزدیک به هم، از طریق استفاده صحیح از موا هوازای مناسب میسر می‌شود.



# یخ زدگی سنگدانه ها

- بسته به اینکه سنگدانه‌ها چطور در مقابل یخزدگی واکنش نشان دهند، بتنی که در ماتریس خمیر سیمان آن حباب هوا ایجاد شده باشد هنوز هم می‌تواند آسیب‌پذیر باشد.
- مکانیزمی که در توسعه فشار داخلی ناشی از یخزدگی خمیر سیمان اشباع شده حاکم است، برای سنگدانه‌های متخلخل نیز صادق است.
- رفتار سنگدانه در دوره‌های یخزدن و آب‌شدن اساساً بستگی به اندازه، تعداد و پیوستگی منافذ (یعنی به توزیع اندازه منافذ و نفوذپذیری) آن دارد.

# عوامل موثر در مقاومت یخ زدگی

- مقاومت یک بتن در مقابل آسیب‌دیدگی ناشی از عمل یخ زدگی بستگی به مشخصات هم خمیر سیمان و هم سنگدانه‌ها دارد:
  - محل سطح‌های مرزی فرار ( فاصله‌ای که آب برای آزاد شدن فشار باید بپیماید )
  - ساختمان منفذی سیستم ( اندازه، تعداد و پیوستگی منافذ )
  - درجه اشباع ( مقدار موجود آب قابل یخ زدن )
  - نرخ سردشدگی
  - مقاومت کششی مصالح

# حباب های هوا

- با اضافه کردن مقدار کمی افزودنی حباب هوازا (مثلاً پنج صدم درصد وزنی سیمان) می‌توان حبابهای ۰/۰۵ تا یک میلیمتر را در خمیر بوجود آورد.
- برای یک حجم مشخص هوا، **تعداد حفره‌های خالی** و **فاصله آنها** و در نتیجه درجه محافظت در مقابل عمل یخزدگی می‌تواند به مقدار زیادی تفاوت کند.

# حباب های هوا

- با آنکه حجم هوای بتن، ملاک کافی برای محافظت بتن در برابر عمل یخزدگی نمی‌باشد، ولی حجم هوای بتن راحت‌ترین معیار بمنظور کنترل کیفیت مخلوطهای بتنی می‌باشد.
- از آنجا که کلاً مقدار سیمان به حداکثر اندازه سنگدانه‌ها ارتباط دارد، لذا بتنهای کم‌عیار با سنگدانه‌های بزرگ، دارای خمیر سیمان کمتری نسبت به بتن‌های پرعیار با سنگدانه‌های کوچک می‌باشند.
- بنابراین بتنهای پرعیار دارای سنگدانه‌های کوچک نیاز به حباب هوای بیشتری برای کسب درجه مقاومت یکسان در برابر یخزدگی، دارند.

# حباب های هوا

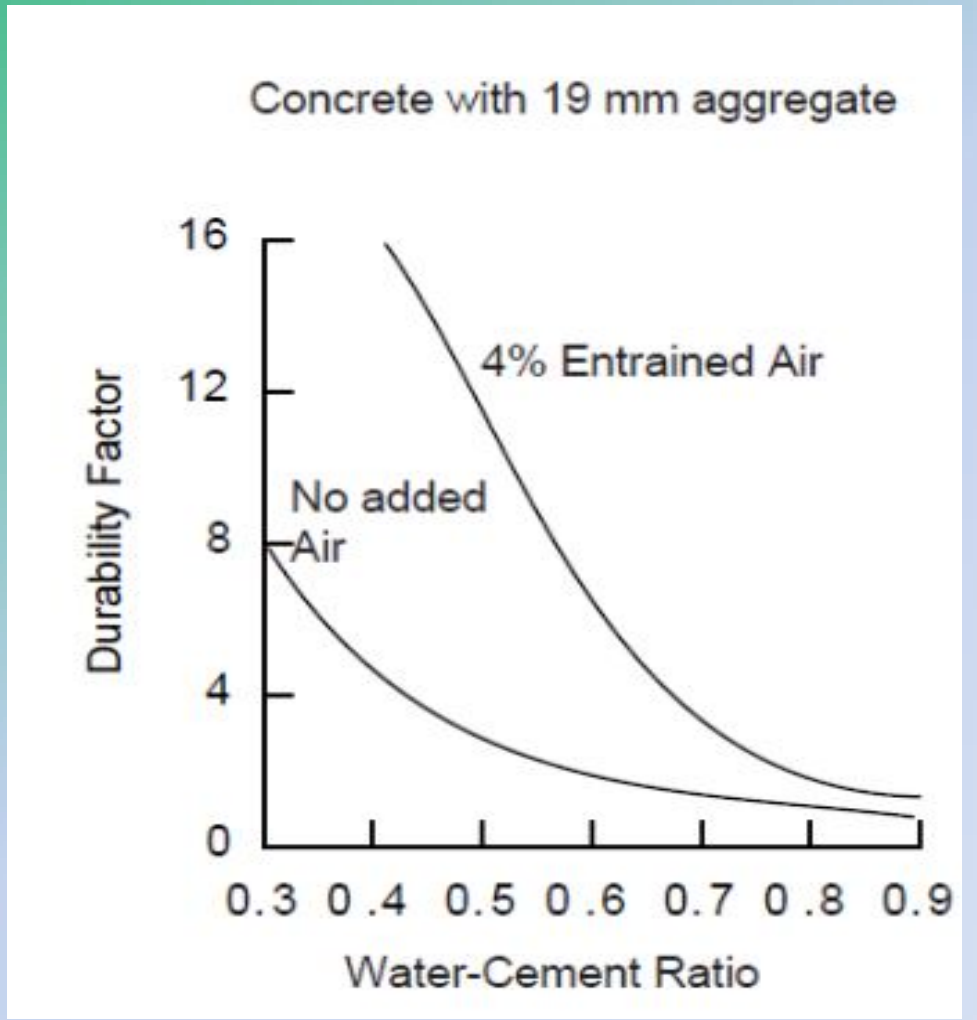
| حداکثر اسمی اندازه سنگدانه | درصد هوای لازم (٪) | |
|---|---|---|
| | شرایط محیطی شدید | شرایط محیطی معتدل |
| ۹ | ۷/۵ | ۶ |
| ۱۲/۵ | ۷ | ۵/۵ |
| ۱۹ | ۶ | ۵ |
| ۲۵ | ۶ | ۴/۵ |
| ۳۷/۵ | ۵/۵ | ۴/۵ |
| ۵۰ | ۵ | ۴ |
| ۷۶ | ۴/۵ | ۳/۵ |

# حباب های هوا

- دانه‌بندی سنگدانه‌ها همچنین بر روی حجم حباب هوا، تأثیر می‌گذارد. (ماسه خیلی ریز ← کاهش حباب هوا)
- اضافه کردن مواد افزودنی معدنی مثل خاکستر بادی، یا استفاده از سیمان خیلی ریز آسیاب شده نیز تأثیر مشابهی دارد.
- مخلوط کردن ناکافی یا بیشتر از حد مخلوط کردن، زمان زیادتری صرف جابه‌جایی یا حمل و نقل بتن تازه کردن و ارتعاش بیش از حد دادن، موجب کاهش یافتن مقدار هوای بتن می‌شود.

# تاثیر آب به سیمان

- برای یک درجه هیدراتاسیون مشخص هرچه که نسبت آب به سیمان بیشتر باشد و یا برای یک نسبت مشخص آب به سیمان هرچه که درجه هیدراتاسیون کمتر باشد، حجم منافذ بزرگ در خمیر سیمان هیدراته بیشتر می‌شود.
- از آنجا که آب قابل یخ زدن به آسانی در منافذ بزرگ ته‌نشین می‌شود، بنابراین در یک دمای یخزدگی مشخص، مقدار آب قابل یخ زدن برای نسبتهای آب به سیمان بالاتر و در زمانهای اولیه عمل‌آوری بیشتر خواهد بود.
- آیین‌نامه‌ها حداکثر نسبت نسبت آب به سیمان برای بتنهایی که در معرض یخزدن و آب شدن در شرایط مرطوب قرار می‌گیرند مشخص کرده اند.


Concrete with 19 mm aggregate
Durability Factor
16
12
8
4
0
4% Entrained Air
No added
Air
0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9
Water-Cement Ratio

# اثر مقاومت

- رابطه مستقیمی بین مقاومت و دوام بتن در برابر یخ‌زدگی صادق نیست.
- بتن بدون حباب هوا از بتن با هوا مقاومت بیشتری داشته اما دوام بهتری در مقابل عمل یخ‌زدگی از خود نشان نمی دهد.
- به دلیل بهتر شدن کارآیی در نتیجه هوازایی، می‌توان مقاومت کاهش یافته در اثر هوا را از طریق کم کردن جزیی نسبت آب به سیمان جبران نمود.
- داشتن **حداقل مقاومت** پیش از قرارگیری در معرض یخ زدگی ضروری است.

# با تشکر از توجه و همراهی شما