



دانش بتن را کاربردی بیاموزیم

چی، چرا و چگونه؟

بخش ۶ – ترک‌های حرارتی در بتن

اهمیت ترک‌خوردگی در بتن حجیم

معمولاً در زمانی که حداقل بُعد یک عضو بتنی $1/3$ متر یا بیشتر باشد، آن بتن را بتن حجیم در نظر می‌گیرند (طبق آیین‌نامه ACI301). برخی استانداردها از نظر نسبت حجم به سطح یک بتن را بتن حجیم در نظر می‌گیرند. حتی برای مقاطع کوچکتر نیز اگر بتن، حرارت‌زایی زیادی داشته باشد – مثل مخلوط‌هایی با سیمان بیشتر یا مخلوطی با سرعت هیدراتاسیون بالاتر – باید مثل بتن حجیم با آن برخورد کرد.

اهمیت ترک‌خوردگی در سایر سازه‌ها

ترک‌های ناشی از دما می‌توانند در سازه‌هایی که بتن حجیم نیستند نیز رخ دهد. سطح بالای روسازی‌ها و دال‌ها در معرض دامنه وسیعی از دما قرار دارند، در حالی که سطح پایین نسبتاً محافظت شده است. اختلاف دمای قابل توجه بین سطح و سطح انبساط حرارتی شده می‌تواند باعث ترک شود. ضریب انبساط حرارتی بتن در محدوده 5×10^{-6} تا 15×10^{-6} است. به طور مثال یک روسازی بتنی که در تابستان در منطقه بیابانی با دمای 35°C درجه سلسیوس ریخته شود، ممکن است به دمای حداکثر 70°C درجه سلسیوس برسد و در زمستان به دمای حداقل -5°C درجه سلسیوس کاهش یابد، که یک چرخه دمای سالانه 75°C درجه سلسیوس ایجاد می‌کند. در این شرایط، درز انبساط و فاصله بین درزها باید به گونه‌ای طراحی شوند که تغییرات انبساط و انقباض ناشی از دما را تحمل کنند و از ترک‌خوردگی جلوگیری شود.

چگونه ترک حرارتی را تشخیص دهیم؟

ترک‌های حرارتی که به دلیل اختلاف دمای زیاد در بتن حجیم ایجاد می‌شوند، به شکل ترک‌های تصادفی روی

ترک‌خوردگی حرارتی چیست؟

ترک‌خوردگی حرارتی وقتی اتفاق می‌افتد که داخل یا اطراف یک سازه بتنی اختلاف دمای زیادی وجود داشته باشد. قسمت سردتر بیشتر منقبض می‌شود اما چون به قسمت گرم‌تر متصل است، این انقباض محدود می‌شود. وقتی این محدودیت باعث ایجاد تنش کششی‌ای که از مقاومت کششی بتن بیشتر بشود، ترک به وجود می‌آید. این نوع ترک حتی می‌تواند در اعضای که جزء بتن حجیم حساب نمی‌شوند هم رخ دهد. کنترل دما و جلوگیری از بروز تنش‌های حرارتی در بتن حجیم اهمیت ویژه‌ای دارد تا از ترک‌خوردگی و کاهش دوام سازه جلوگیری کند.

چرا ترک‌خوردگی حرارتی رخ می‌دهد؟

پس از بتن‌ریزی، واکنش هیدراتاسیون سیمان چند روز حرارت تولید می‌کند. درمقاطع نازک این حرارت سریع از دست می‌رود اما مشکل اصلی زمانی رخ می‌دهد که در مقاطع ضخیم، دمای داخل بالا رفته و به آهستگی پایین می‌آید، در حالی که سطح سریع‌تر شروع به سرد شدن می‌کند و منقبض‌تر می‌شود، چون دمای داخل بتن هنوز بالا است و کمتر منقبض می‌شود، این اختلاف باعث ایجاد تنش کششی و در نتیجه ترک سطحی می‌شود. بیشتر وقت‌ها این ترک‌ها در روزهای ابتدایی عمر بتن اتفاق می‌افتد. گاهی هم ممکن است وقتی سطح بتن ناگهانی در برابر سرما یا گرمای شدید قرار بگیرد، دچار ترک شود. اعضای بتنی وقتی در برابر گرما قرار بگیرند منبسط و در مقابل سرما منقبض می‌شوند. وجود قید می‌تواند باعث شود که این تمایل به تغییر حجم کلی، منجر به ترک شود. گاهی به این اتفاق ترک‌خوردگی ناشی از دما نیز گفته می‌شود که بیشتر در سنین بالاتر بتن دیده می‌شود.

این تمهیدات را برای کاهش ترک‌های حرارتی رعایت کنید:

مخلوط بتن: حرارت ناشی از هیدراتاسیون را با بهینه‌سازی مواد سیمانی کاهش دهید، مثلاً استفاده از مواد سیمانی مکمل مانند خاکستر بادی یا سرباره، یا استفاده از سیمان پرتلند با حرارت‌زایی کمتر. از تعیین نسبت آب به سیمان بسیار پایین خودداری کنید. افزودنی‌های شیمیایی کندگیر کننده ممکن است زمان رسیدن به دمای اوج را به تأخیر بیندازند اما آن را کاهش نمی‌دهند. کاهش دمای اولیه بتن می‌تواند دمای حداکثر عضو را کاهش دهد، اما باید با امکان‌پذیری عملی و هزینه‌های آن بررسی شود.

بتن حجیم: برای بتن حجیم، باید اقدامات کنترل حرارتی در جلسه پیش از ساخت توافق شود. برخی موارد مهم شامل - روش و جزئیات بتن‌ریزی، تعیین دمای بتن هنگام تحویل و پایش دمای بتن درجا، روش‌ها و مدت عمل‌آوری که اختلاف دما را افزایش ندهد، استفاده از عایق حرارتی و زمان و روش برداشتن آن، استفاده از لوله‌های خنک‌کننده در صورت نیاز، بتن‌ریزی به صورت چند لیفت مجزا و زمان‌بندی اجرای آن‌ها می‌تواند دمای حداکثر و مدت زمان کنترل حرارتی را کاهش دهد، اما باید با آماده‌سازی درزهای اجرایی و الزامات طراحی همراه شود. عمل‌آوری با آب سطح بتن را خنک می‌کند و گرادیان حرارتی را تشدید می‌کند، در نتیجه عمل‌آوری عایقی ممکن است مناسب‌تر باشند. بر خلاف قالب‌های فلزی قالب‌های چوبی عایق هستند. پوشاندن قالب‌ها با پتوهای عایق ممکن است ضروری باشد. برداشتن قالب یا عایق باید بر اساس دمای پایش شده درجا، برنامه‌ریزی شود و از شوک حرارتی سطح جلوگیری گردد. میلگردهای بیرون زده از مقاطع حجیم پرمیلگرد می‌توانند به عنوان رسانای حرارتی عمل کرده و حرارت داخل تیر را بیرون بکشند. در صورت نیاز، می‌توان لوله‌های خنک‌کننده، به‌طور معول پلاستیکی، را در بتن به فاصله حدود ۱ متر قرارداد تا دمای حداکثر داخلی کاهش یابد.

روسازی‌ها و دال‌ها: جذب گرما از تابش خورشیدی را می‌توان با مه‌پاشی روی دال‌ها و روسازی‌ها یا ایجاد ایجاد سایه برای کار کاهش داد. بتن‌ریزی در اوایل صبح ممکن است به شرایط بحرانی‌تری منجر شود،

روی سطح عضو ظاهر می‌شوند. ترک‌های شطرنجی ناشی از اثرات حرارتی معمولاً چند روز پس از بازکردن قالب ظاهر می‌شوند. ترک‌های ناشی از تغییرات دما در روسازی‌ها و دال‌ها شبیه ترک‌های جمع‌شدگی ناشی از خشک شدن هستند. این ترک‌ها معمولاً عمود بر طولانی‌ترین محور بتن رخ می‌دهند و ممکن است هر زمان پس از بتن‌ریزی ظاهر شوند، اما اغلب در سال اول یا در چرخه تابستان-زمستان رخ می‌دهند.

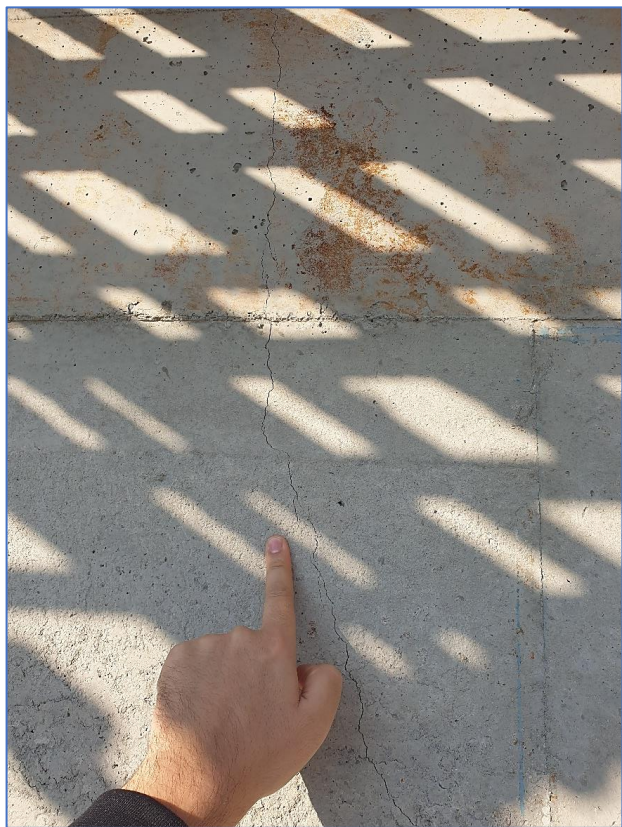
چگونه می‌توان ترک‌های حرارتی را به حداقل رساند؟

کلید کاهش ترک‌خوردگی‌ها یکی از الزامات افزایش دوام بتن می‌باشد. کلید کاهش ترک‌های حرارتی یا ناشی از دما، شناخت زمان احتمالی وقوع ترک و اقدام برای پیشگیری از آن است. توصیه می‌شود یک طرح کنترل حرارتی مطابق با نیازهای مشخصات پروژه تدوین شود.

مشخصات معمول برای بتن حجیم شامل حداکثر دما و حداکثر گرادیان دما است. حداکثر دما زمان رسیدن عضو بتنی به دمای پایدار را مشخص می‌کند و دوره مورد نیاز برای اقدامات حفاظتی را تعیین می‌کند. دمای داخلی بیش از حد بالا نیز بر دوام بتن تأثیر منفی دارد. محدودیت حداکثر گرادیان دما سعی می‌کند ترک‌های ناشی از اختلاف تغییر حجم را کاهش دهد. برای حداکثر گرادیان معمولاً محدودیت ۲۵ درجه سلسیوس استفاده می‌شود، هر چند بتن ممکن است در گرادیان دمای کمتر یا بیشتر هم ترک بخورد. اختلاف دما با استفاده از ترموکوپل‌هایی که در مرکز و سطح بتن قرار می‌گیرند اندازه‌گیری می‌شود. محاسبات مربوط به حداکثر دما و گرادیان حرارتی را می‌توان با مدل‌های عددی دقیق بر پایه المان محدود یا مدل‌های تقریبی تجربی انجام داد.

بخش زیادی از مسئولیت کاهش ترک حرارتی بر عهده طراح و پیمانکار است. اقدامات شامل: طراحی مخلوط بتن، محدودیت‌های دما برای بتن هنگام تحویل و در سازه، عایق‌بندی حرارتی سازه و پاقدامات حفاظتی، و در شرایط بحرانی، پس‌سرمایش پس از ساخت اعضای سازه‌ای است.

با مراجعه به مشاورین حوزه بتن آماده و توجه به تولیدکنندگان آشنا به این مسائل می‌توان از ایجاد چنین ایرادات اجرایی جلوگیری کرد.



ترک حرارتی در دیواره فونداسیون به دلیل عدم ایجاد عایق



اجرای لوله‌های پس‌سرمایش در فونداسیون

اگر اوج دمای ناشی از هیدراتاسیون با اوج دمای محیط هم‌زمان شود. استفاده از بادشکن‌ها در صورتی که مانع خنک‌شدن تبخیری بتن شوند، می‌تواند باعث افزایش جذب گرما شود. در شرایط هوای سرد، پتوهای عمل‌آوری می‌توانند اتلاف حرارت از دال‌ها و روسازی‌ها را کاهش دهند.

ارتباط خوب بین مشاور بتن، پیمانکار و تولیدکننده بتن بسیار مهم است.

چگونه ترک‌خوردگی را تعمیر کنیم؟

تعمیر سازه‌های بتنی باید با مشورت و تأیید طراح انجام شود. روش‌های نامناسب تعمیر می‌توانند آسیب بیشتری ایجاد کنند. روسازی‌ها و دال‌ها را می‌توان با مواد تعمیر سازگار و قابل قبول، یا برش نواحی ترک‌خورده و جایگزینی با مواد پرکننده تعمیر کرد. تعمیر اعضای بتن حجیم بسته به عرض ترک و شرایط سرویس سازه دارد. ترک‌های ریز و موئی معمولاً صرفاً از نظر زیبایی مشکل‌ساز هستند و ممکن است نیاز به تعمیر نداشته باشند، اما ممکن است در آینده روی دوام اثر بگذارند. ترک‌های وسیع‌تر ممکن است با تزریق اپوکسی و سپس اعمال پوشش تعمیر شوند. پیشنهادات و دستورالعمل‌های تعمیر ترک در ACI224.1R و توسط مؤسسه بین‌المللی تعمیر بتن (ICRI) ارائه شده است (سایت www.icri.org)



عایق‌کاری حرارتی فونداسیون حجیم به ضخامت ۳ متر به منظور محدود کردن مقدار گرادیان حرارتی

کارخانه سنگ شکن غرب



بزرگترین تولیدکننده بتن آماده در ایران