ترک های حرارتی در سد های بتنی

ضیاءالدین ایدی، دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور×
مصطفی جلال، دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور
z_aidi2000@yahoo.com

چکیده

دامنه ترک در سد های بتنی از یک عارضه سطحی کوچک تا تخریب جدی بتن در نوسان است. در این میان ترک های حرارتی از اهمیت ویژه ای بر خوردارند.

یکی از ویژگی های مهم که بتن حجیم را از سایر بتن های سازه ای مجزا می کند رفتار حرارتی آن است. ابعاد نسبتا بزرگ سازه ای بتن حجیم باعث ایجاد گرادیان حرارتی بین داخل و سطح خارجی بتن میشود. در اثر این گرادیان تغییر حجم متفاوت ایجاد خواهد شد که به همراه قیدی که وجود دارد، کرنش و تنش کششی بوجود آمده که می تواند منجر به ترک خوردگی شود.

در این مقاله به بررسی مکانیسم بروز این نوع ترک ها و روش آنالیز کرنش کششی پرداخته شده و در آن روش های پیشگیری از ترک های حرارتی مورد بحث قرار گرفته است. در نهایت نیز روش های ترمیم ترک در سد های بتنی معرفی شده اند.

کلید واژه ها: *بتن حجیم، ترک حرارتی، کرنش کششی، تنش کششی*

۱- مقدمه

ترک عبارت است از تقسیم بتن به دو یا چند قسمت و معمولا نشانه اولیه وضع نابسامانی بتن می باشد.[۱]

بتن تحت تاثیر تنش های فشاری رفتار بسیار خوبی را از خود نشان میدهد ولی در کشش، بسیار ضعیف است و نظر به عدم کاربرد آرماتور در جسم سد های بتنی جهت تحمل کشش، لذا ترک های ایجاد شده در بدنه سد ها از نوع ترک های کششی هستند. عوامل دیگر نظیر اثرات شیمیایی، حرارتی، تمرکز تنش، عدم پیوستگی سطوح، تغییر مقطع و نفوذ پذیری از عوامل دیگر ترک در سد ها هستند.[۲]

ترک های ایجاد شده در مقاطع بتن را می توان به انواع زیر تقسیم کرد:[۲]

۱-۱- ترک ها پس از سخت شدن بتن(یا در حین سخت شدن)

- ترک های فیزیکی
- ترک های شیمیایی
- ترک های حرارتی
- ترک های سازه ای

۱-۲- ترک های پیش از سخت شدن بتن:

- ترک های ناشی از یخ زدگی اولیه بتن
- ترک های پلاستیک

ترک های حرارتی که در طبقه بندی ترک های پس از سخت شدن یا در حین سخت شدن قرار می گیرند، در ادامه مورد بحث قرار گرفته اند.

۲- علل ایجاد ترک

علل بروز ترک را می توان در سه بخش طبقه بندی نمود:

دسته اول عللی می باشند که در اثر طراحی ممکن است ایجاد شوند مثل درز ها، ایجاد حرارت در اثر هیدراسیون بتن، قطعات بتن ریزی، شرائط گیرداری، تغییر ناگهانی در مقطع، احتمال نشست پی و درجه حرارت. همچنین عواملی را که در ترکیب بتن در زمان حفاری باید در نظر گرفت عبارتند از نوع و میزان سیمان و بزرگترین اندازه سنگدانه و دانه بندی سنگدانه ها، میزان آب و نوع و میزان مواد افزودنی. [۱]

دسته دوم عواملی می باشند که در زمان اجرا در ایجاد ترک دخیل می باشند مثل دمای اولیه بتن، تبرید و یا حرارت بتن در سد، سرعت بتن ریزی، ابعاد و عمق لایه بتن، دمای هوا و سرعت باد. [۱]

و دسته آخر عللی هستند که در زمان بهره برداری در ایجاد ترک نقش دارند برخی از آنها عبارتند از بارهای هیدرولیکی، سرعت آب اندازی مخزن، فشار برکنش، ذوب و انجماد و اثر زلزله. [۱]

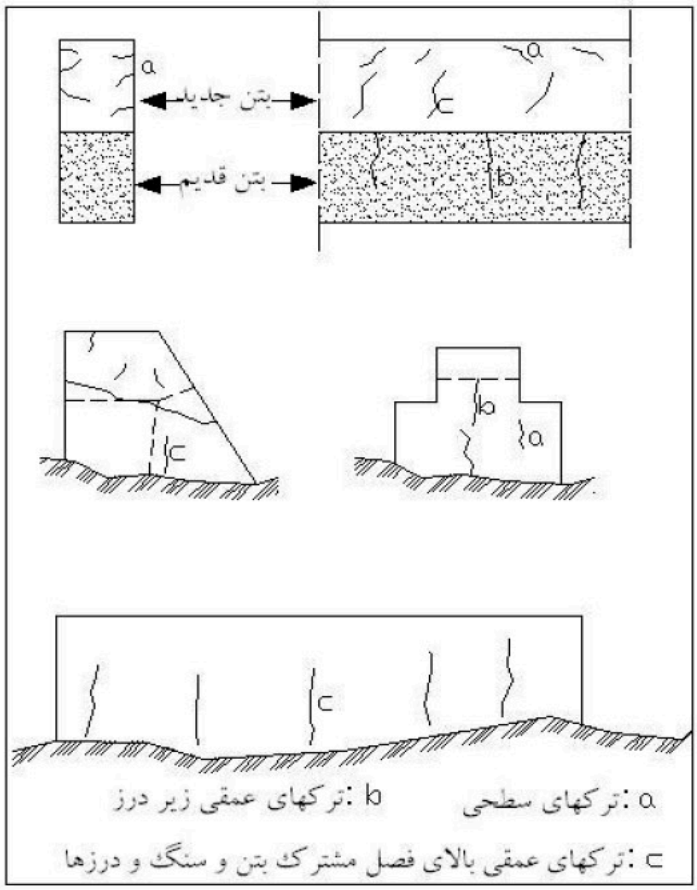
۳- ترک های حرارتی

سیمان به هنگام هیدراسیون حرارت ایجاد می کند. تا زمانی که روند حرارت ایجاد شده بیش از آهنگ انتقال حرارت به محیط اطراف باشد، دمای بتن افزایش می یابد. با ازدیاد دما، به حجم اولیه بتن نیز افزوده می شود. بعد ها بتن به هنگام خنک شدن، منقبض شده و حجم آن کاهش می یابد.

به هنگام افزایش دما تغییر حجم بتن کم است زیرا که در مراحل اولیه، بتن نسبتا خمیری بوده و در نتیجه تنش فشاری که در اثر حرکت سازه ایجاد می شود کم می باشد. بعدا در زمان خنک شدن، مدول بتن بیشتر است و در نتیجه مقاومت در برابر انقباض می تواند با عث ایجاد تنش های کششی شود. اگر چنانچه تنش کششی بالاتر از مقاومت کششی بتن باشد، سازه ترک می خورد. در صورتی که مدول در هر دو مقطع زمانی یکسان باشد و سازه تا دمای اولیه خنک شود، در سازه تنشی بوجود نمی آید. [۱]

شرایط گیرداری سازه، خواص مکانیکی بتن(مخصوصا در روز های اولیه) و تغییرات دما، میزان خطر ترک خوردگی را تعیین می کند. [۱]

در شکل(۱) انواع تر ک های ناشی از تنش حرارتی نشان داده شده اند:



شکل(۱): *انواع ترک های ناشی از تنش حرارتی*

برای آنالیز ترک خورد گی در بتن حجیم دو روش وجود دارد، روش کنترل تنش کششی و روش کنترل ظرفیت کرنش کششی. [۳]

در اینجا به روش دوم یعنی کنترل ظرفیت کرنش کششی پرداخته شده است.

ظرفیت کرنش کششی همان کرنش گسیختگی در اثر کشش است. معمولا اعتقاد بر این است که گسیختگی بتن در بارگذاری تک محوری فشاری یک گسیختگی کششی است. همچنین شواهدی است که در بارگذاری استاتیک شکست بدلیل محدودیت مقاومت فشاری نبوده بلکه محدودیت کرنش کششی باعث شکست بتن می شود. در مورد کنترل ترک خوردگی به دلیل جمع شدگی حرارتی در سازه های بتن حجیم، بعضی از طراحان عقیده دارند که راه حل مناسب تر کنترل ظر فیت کرنش کششیc می باشد. روش اندازه گیری، آزمایش خمش تیر به ابعاد(۳۰×۳۰×۱۶۰) سانتی متر و غیر مسلح است، در این آزمایش کرنش نهایی در آخرین تار تیر اندازه گیری می شود. [۳]

مقادیر اندازه گیری شده برای c در جدول(۱) ارائه شده است. به طور کلی ظرفیت کرنش کششی برای خمیر سیمان بیشتر از ملات و یا بتن، با همان نسبت آب به سیمان است. مقدار c با افزایش عمر بتن و کاهش نسبت آب به سیمان افزایش یافته و با افزایش بعد بزرگترین دانه کاهش می یابد. استفاده از مصالح با بافت سطحی زبر نسبت به بافت سطحی صاف تا ۱۵۰ درصد مقدار c را افزایش می دهد. همین مقدار افزایش چنانچه نسبت آب به سیمان از0/68 به0/4کاهش یابد، دیده می شود. [۴]

جدول(۱): *مقادیر اندازه گیری شده برای c*

کرنش کششی (10^{-6})[(a),(b)]			
سنگدانه بتن	آزمایش تند (اولیه)	آزمایش کند	آزمایش تند (نهایی)
کوارتز دیوریت(طبیعی) w/c =0/66 [(c)]	(۸۹) ۶۴	(۱۰۲)۱۱۸	(۷۸)۸۸
کوارتز دیوریت(طبیعی) w/(c+p) =0/63 [(c)]	(۶۵)۵۲	(۸۰)۸۸	(۷۴)۷۳
گرانیت گنیس(خرد شده) w/(c+p) =0/60	۸۶	۲۴۵	۱۱۰
سنگ آهک(خرد شده) ماسه کواتز(طبیعی) w/(c+p)=0/63	(۷۰)۴۵	(۸۹)۹۵	(۷۵)۷۳
سنگ آهک(خرد شده) ماسه کواتز(طبیعی) w/(c+p)=0/47	(۶۶)۶۲	(۸۳)۱۰۷	(۷۱)۸۱
(a)در۹۰درصد بار گسیختگی			
(b) مقادیری که در پرانتز نیستند از بارگذاری در سن هفت روزه می باشند و مقادیری که در داخل پرانتز هستند از آزمایش در سن ۲۸ روز و بیشتر می باشند.			
(c) w/c نسبت آب به سیمان و w/(c+p) نسبت آب به سیمان بعلاوه پوزولان می باشد			

نتایج این جدول برای کنترل ترک خوردگی در زمان قالب برداری و همچنین تنظیم سرعت پیش سرمایش مورد کاربرد قرار می گیرد.

به عنوان مثال برای بتن با نسبت آب به سیمان 0/66 با مصالح سنگی کوارتز(ردیف اول جدول(۱)) چنانچه ضریب انبساط حرارتی این بتن $^{o}F/10^{-6}\times5/5$ فرض می شود. حالت های زیر را می توان در نظر گرفت.

چنانچه قالب برداری در سنین اولیه انجام شود، حداکثر گرادیان حرارتی مجاز ^{o}F ۱۱/۶=۵/۵÷۶۴ و چنانچه قالب برداری بعد از سه ماه و یا بیشتر انجام شود حداکثر مجاز گرادیان حرارتی برابر ^{o}F 16=۵/۵÷۸۸ می باشد. بنابراین هنگام قالب برداری خصوصا در سنین کم باید ایزولاسین کافی پیش بینی کرد. چنانچه از سیستم پس سر مایش (با لوله گذاری) در بتن استفاده شود، مقدار افت حرارتی در طول مدت سه ماه نباید از^{o}F ۲۱=۵/۵÷۱۱۸ زیاد تر شودکه معادل $^{o}F/day$ ۰/۲۴=۹۰÷۲۱ میباشد.

در بسیاری از حالات در بتن ریزی حجیم از آب سرد یا یخ استفاده می شود تا درجه حرارت بتن تازه^{o}F ۵۰ و یا کمتر شود.[۴]

آیین نامه ACI207 /4 R-93 درجه حرارت بتن تازه را مطابق فرمول زیر پیشنهاد می نماید تا کرنش کششی در اثر افت حرارت از ظرفیت کرنش کششی زیاد تر نشود: [۳]

$$T_i = T_f + \frac{c}{\alpha K_r} - T_r$$

که در آن:

T_i=درجه حرارت اولیه بتن

T_f= درجه حرارت نهایی بتن

T_r= افزایش درجه حرارت آدیاباتیک

C = ظرفیت کرنش کششی

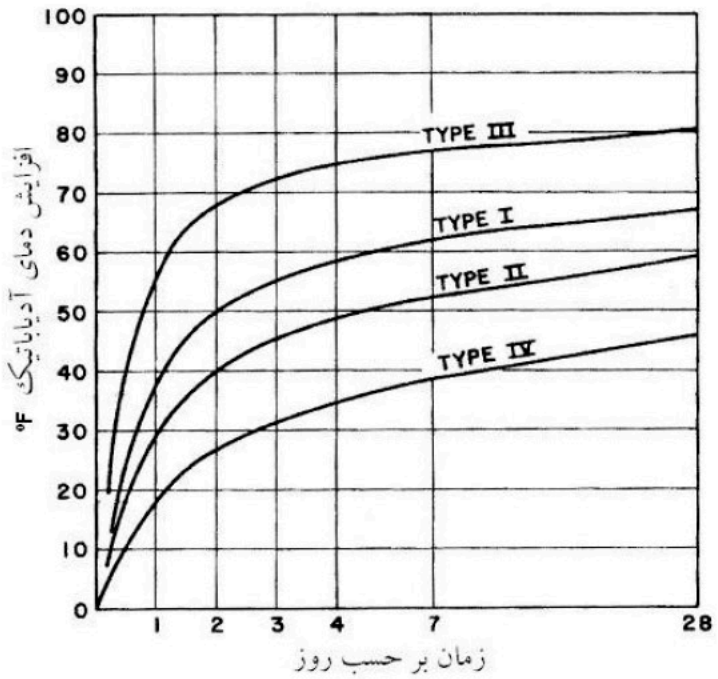
α = ضریب انبساط حرارتی بتن

۴- پیش گیری از ترکهای حرارتی

در انتخاب نوع سد، برای اجتناب از پدیده ترک خوردگی باید تحلیل تنش، شرایط حرارتی و تنش های قابل پیش بینی، عوارض طبیعی منطقه و شرایط زمین شناسی و پی ساختگاه را مد نظر قرار داد.[۱]

در مورد مصالح نیز میزان و نوع سیمان تاثیر زیادی روی پتانسیل ترک خوردگی بتن دارد. به منظور کاهش دمای هیدراسیون و در نتیجه تنش ها و کرنش های حرارتی منتجه، میبایست حداقل مقدار سیمان پرتلند ممکن که مقاومت و دوام لازم را تامین نماید، استفاده شود.[۱]

همچنین با افزایش ریزی سیمان مقدار رشد دمای آدیاباتیک نیز افزایش میابد. شکل(۲) منحنی های رشد دمای آدیاباتیک در برابر زمان را برای بتن حجیم ریخته شده در دمای $73\ ^\circ F$ و دارای مقدار سیمان $223\ kg/m^3$ از انواع مختلف نشان می دهد.[۵]



شکل(۲) : *منحنی های رشد دمای آدیاباتیک در برابر زمان*

در رابطه با سنگدانه ها نیز باید توجه داشت که تهیه بتن با ظرفیت کرنش کششی بالا از اهمیت ویژه ای بر خوردار است که این می تواند به آن معنا باشد که بزر گترین اندازه سنگدانه های مورد استفاده کوچکتر از آن چیزی که به لحاظ اقتصادی

مقرون به صرفه است، گردد. یعنی اولویت با استفاده از مصالحی است که دارای بیشترین ظرفیت کرنش کششی، یعنی بیشترین مقاومت در برابر ترک خوردگی میباشد، است. معمولا مصالح سنگ شکسته با ضریب انبساط حرارتی و مدول الاستیسیته پایین دارای چنین خصوصیاتی هستند.[۱]

برای جلوگیری از پدیده جمع شدگی نیز روش هایی مثل استفاده کمتر از آب در بتن، بتن ریزی در دمای پایین، مرطوب نگاه داشتن پی و قالب ها، مرطوب نگاه داشتن سنگدانه ها و غیره را باید به کار بست.[۱]

ترک ممکن است در اثر درجه حرارت های زیاد پیش بینی نشده و یا طولانی مدت حادث شود. جهت جلوگیری از آن می توان از سیستم های پیش سرمایش مثل خنک کردن مصالح در زمستان و استفاده از آن در تابستان، خنک کردن سنگدانه ها توسط بخار، انبار در سایه و... و یا روش های پس سرمایش، عمل تبرید تبخیری و استفاده از لوله های تبرید و یا محافظت سطح بتن تازه ریخته شده توسط عایق بند ی حرارتی استفاده نمود.[1]

۵- ترمیم ترک

برای یافتن بهترین چاره باید پدیده ترک را از نقطه نظر ایمنی مورد بررسی قرار داد. ترک باید دقیقا مورد ارزیابی قرار گیرد تا اول از همه از پایداری سازه مطمئن شد و سپس بهترین راه حل را برای بر طرف کردن علت ترک خوردگی، برداشتن بتن آسیب دیده و جایگزین نمودن آن با بتن مناسب و آببندی کردن و محافظت سطوح بتن در معرض تخریب انتخاب نمود.

اگر چنانچه ترک روی پایداری کلی سازه اثر می گذارد باید بوسیله روشی اقدام به مرمت و یا تقویت سازه نمود. برای حصول به یک سازه یکپارچه می توان آنرا با ترکیبات شیمیایی و یا سیمان خاص تزریق کرد.[۱]

روش ها و مصالح مورد استفاده در تزریق ترک بتن میتواند از نظر تئوری شبیه به عملیات تزریق درزه و ترک های سنگ باشد. در عمل دوغاب بکار رفته اساسا متشکل از سیمان، سیلیکات و یا مواد شیمیایی است.[۲]

عمده ترین نقش تزریق پر کردن خلل و فرج است تا با وارد کردن حداقل ضایعات و بدون آنکه آبراهه ها و پیزومتر ها مسدود گردد مانع از عبور جریان آب و در نتیجه محافظت سازه اطراف ترک در برابر فرسایش شود.[۱]

ترک های روی رویه سراب سد را باید با مواد مناسب پر کرد تا از بروز فشار بر کنش در آنها اجتناب شود و با آب بند کردن ترک ها باعث کاهش نشت آب از آنها شد.[۱]

در بعضی مواقع سد هایی که در اثر ترک خوردن و یا تجزیه بتن که منجر به ناپایداری آنها می شود و یا نشت آب بیش از حد از ترک لطمه می بینند، را می توان توسط کابل های کششی بسرعت تعمیر کرد که از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه می باشد. روش پس تنیدن می تواند مخصوصا برای تعمیرات سریع موقت که در مواقع بحرانی مانع از وارد آمدن خسارات جدی بعدی گردد، موثر باشد.[۱]

در ترمیم ترک سد ها روش های دیگری نیز مثل تراشیدن سطح بتن و یا احداث بلوک های فشاری نیز وجود دارند که کمتر متداول بوده و تنها در شرایط خاصی استفاده می گردند.

۶- نتیجه گیری

تنش های حرارتی در بتن ناشی از اعمال قید روی تغییرات حجم ناشی از تغییرات دما در بتن می باشد که این خود باعث بروز ترک در بتن های حجیم می شود.

جهت جلوگیری از ترک خوردن بتن حجیم، دانه بندی مصالح سنگی باید برای رسیدن به کارایی مطلوب با آب کمتر مناسب باشد. همچنین جهت افزایش ظرفیت کرنش کششی باید از مصالح شکسته به جای گرد گوشه استفاده کرد.

از مواد افزودنی حباب هوا ساز برای افزایش کارایی و مواد روان ساز جهت کاهش آب برای رسیدن به کارایی لازم نیز می توان استفاده کرد. همچنین باید از سیمان با حرارت زایی کم (معمولا تیپ ۲) و با نرمی متوسط همراه با پوزولان استفاده کرد.

کاهش دمای بتن تازه، پیش بینی سیستم پس سرمایش، رعایت حداکثر مجاز اختلاف درجه حرارت با توجه به مشخصات بتن از دیگر روش های جلوگیری از ترک حرارتی می باشد.

۷- منابع

[۱] نوشاد سهیلی، سید سعید ،" ترک در سد های بتنی"، کمیته ملی سد های بزرگ ایران ، کمیته فنی ترمیم و باز سازی سد ها ، نشریه شماره ۱۹ ، ۱۳۷۹

[۲] حسنی ، نعمت و راستی ، رضا و وزین رام، فرشاد ،"کنترل پایداری سد های بتنی" ، ۱۳۸۲

[۳] شکر چی زاده ، محمد ، "ترک خوردگی در بتن حجیم" ، مجله انجمن بتن ایران، سال سوم ، شماره هفتم، تابستان ۱۳۸۱

[۴] ACI 207/4R-93 , "Cooling and insulating systems for mass concrete ", American concrete institute , reported by ACI Committee 207.

[۵] ACI 207/2R-95 , " Effect of restraint ,volume change , and reinforcement on cracking of mass concrete " , American concrete institute , reported by ACI Committee 207.