مقابله با حرارت هیدراسیون در بتن حجیم سد ها با پیش سر مایش بتن

ضیاءالدین ایدی، دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه صنعت آب و برق شهیدعباسپور *
مصطفی جلال، دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه صنعت آب و برق شهیدعباسپور
z_aidi2000@yahoo.com

چکیده

مسائل حرارتی در سازه هایی نظیر بدنه سد ها و دیگر مقاطع حجیم بتنی عموما اتخاذ تدابیری جهت جلوگیری از ایجاد ترک های حرارتی در این گونه سازه ها را ضروری می کند. از روش های عمده ای که توسط طراحان جهت مقابله با مسائل حرارتی بکار می رود، محدود نمودن دمای حداکثر اولیه مجاز بتن می باشد. بر این اساس رعایت حد تعیین شده روی دمای اولیه بتن از مسایل عمده ای می باشد که پیمانکاران مجری بتن ریزیهای حجیم با آن مواجه می باشند و جهت نیل به این هدف، کاربرد روش های پیش سرمایش بتن غیر قابل اجتناب می باشد.

در این مقاله ابتدا به بررسی مکانیسم ایجاد ترک در اثر گرادیان های حرارتی بتن پرداخته شده و سپس سیستم های مقابله با تولید گرمای بتن بخصوص سیستم پیش سرمایش معرفی شده است.

کلید واژه ها : *بتن حجیم ، پیش سرمایش، ترک حرارتی ، حرارت زایی ، کنترل دما*

۱- مقدمه

در تعریف بتن حجیم به نقل از موسسه بتن آمریکا آمده است: « هر حجم بزرگی از بتن بر جا که ابعاد آن به اندازه ای بزر گ باشد که اعمال تمهیداتی برای مقابله با تولید گرما و تغییر حجم برای جلوگیری از ترک خوردگی لازم داشته باشد.»

شیوه های اصلی برای به حداقل رساندن تولید گرما و بروز ترک در بتن حجیم شامل کاهش مقدار کل مصالح سیمانی (سیمان بعلاوه پوزولان)، استفاده از سیمان های اصلاح شده (کم حرارت) یا جایگزینی بخشی از سیمان با پوزولان مناسب، انجام بتن ریزی در دماهای کمتر و عملیات پس سرمایش با استفاده از لوله های پس سرد کننده تعبیه شده در بتن بوده است.[۱]

اولین کوشش جدی برای پیش خنک کردن درطول ساخت سد Norfok در سال ۵-۱۹۴۱ انجام گرفت.همچنین طرح تولید یخ خرد شده برای استفاده در داخل آب اختلاط در طول ماههای گرمتر بکار رفت.توسط این روش دمای مخلوط بتن حجیم توانست تا حدود $۵/۶^{\circ}c$ پایین بیاید. در کارهای بعدی نه فقط یخ خرد شده در آب اختلاط استفاده شد، بلکه پیش سرمایش سنگدانه ها توسط هوای سرد و آب سرد قبل از پیمانه کردن انجام گرفت.جدیدا نیز روش های نوینی مثل تزریق نیتروژن یا سرد کردن در خلا بکار می رود.[۲]

در پروژه های اخیر، سنگدانه ها را در ماههای فصل سرما تولید و در دپوهای بزرگی انباشته نموده و سپس در فصل گرما به تدریج از یک جبهه شروع به برداشت می کنند و به این ترتیب حد اکثر استفاده از دمای طبیعی سنگدانه ها در زمان انباشته شدن به عمل می آید.[۳]

۲-ترک خوردگی حرارتی در بتن حجیم

جهت مشخص نمودن تاثیر دمای اولیه بتن روی امکان وقوع ترک های حرارتی لازم است ابتدا مکانیسم ایجاد تنش های حرارتی در بتن تشریح گردد.

در بتن حجیم در اثر حرارت زایی بتن، انبساط رخ می دهد و سپس در اثر تعادل حرارتی با محیط، دمای بتن افت کرده و بتن منقبض می گردد. تنش های حرارتی در بتن در اثر قید های اعمال شده روی تغییر شکل آزاد بتن رخ می دهند. این نکته اساسی ترین مسئله در رابطه با مطالعات حرارتی بتن های حجیم بوده و لازم به توجه است که اگر قید یا محدودیتی روی تغییر شکل بتن (انبساط و انقباض حرارتی) اعمال نگردد، تنش های حرارتی رخ نخواهند داد.[۴]

با توجه به پیچیدگی های تحلیل کامل حرارتی یک سازه، در این جا از یک رابطه ساده جهت نشان دادن تاثیر پارامترهای مختلف در ایجاد ترک های حرارتی استفاده می گردد، این رابطه تنش حرارتی ایجاد شده را با مقاومت کششی بتن مقایسه کرده و عدم ایجاد ترک حرارتی را رابطه زیر می داند.[۵]

تنش کششی < مقاومت کششی

$$F_t > \alpha T_c R E' \qquad (۱)$$

در این فرمول:

E' : مدول الاستیسیته موثر بتن

R : ضریب گیر داری

T_c : افت دما از حد اکثر دمای کسب شده بتن به دمای میانگین محیط و یا اختلاف دمای سطح و داخل بتن

α : ضریب انبساط حرارتی

با توجه به رابطه بالا T_c عامل مهمی درتعیین امکان ایجاد ترک حرارتی می باشد و محدود کردن آن در کاهش امکان وقوع ترک حرارتی بسیار موثر خواهد بود.[۵]

ضرورت به حداقل رساندن درجه حرارت های پیک داخلی برای کنترل ترک حرارتی بخوبی تشخیص داده شده است و لزوم استفاده از سیستم های پیش سر مایش برای نیل به این هدف امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته است.[۳]

۳-کنترل دما

امکان ترک خوردگی ناشی از ترک های حرارتی باید هم در سطح و هم در داخل حجم بتن مورد توجه قرار گیرد. یکی از موثر ترین روش ها جهت اجتناب از ترک های حرارتی، کنترل دمای بتن ریزی می باشد. عموما هر چه دمای بتن ریزی پایین تر باشد تمایل به ترک خوردن نیز کمتر می شود.

دمای بتن ریزی ممکن است با توجه به پتانسیل کرنش کششی انتخاب شود که از یک مقدار کاهش دما از میزان حداکثر اولیه تا دمای ثابت نهایی نتیجه می شود و باید از ظرفیت کرنشی بتن تجاوز نکند. این روش توسط فرمول زیر بیان می گردد:[۶]

$$T_i = T_f + \frac{100 * C}{\alpha * R} - A_t \qquad (۲)$$

در این فرمول:

T_i : دمای بتن ریزی

T_f : دمای ثابت نهایی بتن

C : ظرفیت کرنشی (در یک میلیون)

α : ضریب انبساط حرارتی در هر یک درجه حرارت(در یک میلیون)

R : درجه گیر داری(به درصد)

A_t : رشد دمای ابتدایی بتن

اندازه گیری دمای بتن در سنین مختلف بتن بعد از بتن ریزی نیز توسط سیستم های ابزار دقیق انجام می گیرد. بـرای انـدازه گیری دمای بتن باید دمای آن در دو وجه بالا دست و پایین دست و توده بتن (در یک سد بتنی) ثبت گردد. آنگاه متوسط آن جهت بررسی های بعدی استفاده شود. دمای متوسط بتن جهت بررسی تغییر مکان های ناشی از تاثیر درجه حرارت بـویژه در سد های بتنی قوسی بسیار با اهمیت است. دما بوسیله ترمومترهای الکتریکی که در تراز های مختلف نصب شده اند ثبت مـی گردد. متوسط دما با توجه به رابطه ذوزنقه بدست می آید :[۷]

$$T_i = 1/8(T_1 + 2T_2 + 2T_3 + 2T_4 + T_5) \qquad (۳)$$

در این فرمول:

T_i: دمای بتن سخت شده

T_1: دما در وجه بالا دست

T_5: دما در وجه پایین دست

T_2, T_3, T_4: دما در توده بتن

۴-روش های مقابله با گرما در بتن حجیم

روش های کنترل حرارت به منظور به حداقل رسانی ترک برداری حرارتی یکی از ضروریات مهندسی در کار ساخت سازه های بتنی است. تمام روش های موجود در این زمینه را می توان به سه دسته تقسیم نمود:[۸]

- سرد کردن اولیه مخلوط و یا مصالح آن قبل از اختلاط یا در حین اختلاط(پیش سرمایش)
- سرد کردن مخلوط پس از بتن ریزی(پس سرمایش)
- ایزوله کردن(جداسازی) برای به حداقل رساندن گرادیان های حرارتی در بتن بعد از بتن ریزی.

سیستم های پیش سرمایش مورد استفاده جهت مقابله با گرما در بتن حجیم در بخش بعد مورد بحث قرار گرفته است.

۵-سیستم های پیش سرمایش بتن حجیم

جهت پایین آوردن دمای اولیه بتن که پیش سرمایش نامیده می شود روش های مختلفی وجود دارد که به شکل خنک کردن اجزای بتن و یا پایین آوردن دمای مخلوط بتن تازه اعمال می گردد.[۹]

این اقدامات جهت جلو گیری از ایجاد ترک حرارتی در بتن حجیم الزامی می باشد. روش های مختلف پیش سرمایش در ایـن بخش ارائه شده اند.[۴]

۵-۱- سرد کردن آب اختلاط

سرد کردن بتن با استفاده از آب سرد، نیاز به تجهیزات آب سردکن دارد. تجهیزات خنک کننـده آ ب بایـستی دارای ظرفیـت کافی با توجه به حجم تولید بتن باشد. از سیستم های موجود سرمایش آب سیستم بر پایه فن آوری پمپ حرارت قابـل ذکـر است که از راندمان خوبی نسبت به بقیه سیستم های سرد کننده آب بر خوردار می باشد.[۶]

۵-۲- سرد کزدن با جایگزینی تمام یا بخشی از آب اختلاط بتن با یخ

با توجه به گرمای نهان بسیار بالای یخ (۳۳۴kj/kg) جایگزینی آب اختلاط با یخ موجب جذب مقدار قابل تـوجهی از انـرژی حرارتی بتن تازه شده و آنرا به میزان قابل توجهی خنک خواهد نمود. بر این اساس کاربرد یخ به عنـوان آب اخـتلاط یکـی از موثر ترین روش های پیش سرد کردن بتن می باشد. تجربه نشان داده است که کاربرد این روش منجر به یکنـواختی بهتـر در تولید بتن تازه نسبت به دیگر روشها می گردد.[۴]

۵-۳- سرد کردن سنگدانه ها

هر چند گرمای ویژه سنگدانه ها بسیار کمتر از گرمای ویژه آب می باشد، لیکن بـه علـت مقـدار بـالای سـنگدانه در بـتن در مقایسه با دیگر اجزا، خنک کردن آن می تواند منجر به کاهش قابل توجه در دمای بتن تـازه گـردد. معمـولا در شـرائطی کـه

کاهش شدیدی در دمای بتن تازه مد نظر باشد، پیش سردکردن سنگدانه ها، علاوه بر کاربرد دیگر اهرمها نظیر یخ، لازم است در نظر گرفته شود.

از جمله روش های معمول جهت خنک سازی سنگدانه ها عبارتند از: تولید و انباشت سنگ دانه ها در فصول سرد، جلوگیری از تابش مستقیم آفتاب به دپو سنگدانه ها با انبار کردن آنها زیر سایبان ها(شکل یک)، آبپاشی روی دپوی مصالح سنگی درشت دانه، پاشیدن آب سرد روی درشت دانه ها در حین انتقال توسط تسمه نقاله، سرد کردن درشت دانه ها با استغراق در آب سرد، با جریان هوا یا توسط خلأ و یا تولید ریز دانه با آب سرد.[۴]

شکل ۱- *دپو سنگدانه ها زیر سایبان*

۴-۵- سرد کردن سیمان

با توجه به اینکه معمولا خنک کردن سیمان اقتصادی نمی باشد و امکان فاسد شدن آن بواسطه این عمل زیاد می باشد و همچنین بخاطر سختی کار، این روش معمولا در روش های پیش سرد کن مد نظر قرار نمی گیرد. خوشبختانه سیمان جرم نسبتا کمی از مصالح را تشکیل می دهد (خصوصا برای بتن های حجیم)، و تاثیر آن روی دمای بتن تازه کمتر از بقیه اجزای بتن می با شد.[۴]

۵-۵- کاربرد نیتروژن مایع جهت خنک کردن آب اختلاط بتن و یا بتن تازه بعد از تولید

در حال حاضر سیستم های نیتروژن مایع در ابعاد مختلف برای مراکز تولید بتن آماده تا پروژه های بزرگ سد سازی مهیا می باشند. هزینه ها بسته به حجم مورد نظر، محل و مقدار سرمایش مورد نظر می توانند متفاوت باشند.[۴]

۶-۵- سرد کردن بتن با ماسه منجمد شده توسط نیتروژن مایع

روش های معمول سرد کردن سنگدانه ها توسط آب سرد و ... معمولا دمای آنها را تا $^{\circ}C$ ۳ می توان پایین آورد. روشی جدید که در سال ۱۹۹۰ توسط مهندسین ژاپنی معرفی گردید شامل پایین بردن دمای ماسه زیر دمای انجماد بوده است. در این روش برای اولین بار از نیتروژن مایع جهت خنک کردن ماسه در تجهیزات خاص این کار استفاده شده است.[۱۰]

۷-۵- سرد کردن بتن از طریق سنگدانه های خنک شده توسط یخ خشک

روشی جدید که جهت خنک کردن سنگدانه ها باز هم توسط محققین ژاپنی ارائه شده است کاربرد یخ خشک می باشد.

در این روش با آزاد کردن اسید کربنیک مایع به داخل قیف مخصوص ذرات یخ خشک با ابعاد ۱تا۲ میلیمتر حاصل می شود که در این ابعاد از نظر سرد کردن مصالح دارای بهترین کارایی می باشند. مقدار یخ خشک لازم جهت کاهش دمای یک متر مکعب بتن به میزان ^{o}c ۱ حدود ۷kg ذکر شده است.[۱۱]

۶- نتیجه گیری

انتخاب سیستم های پیش سرد کن مناسب برای یک پروژه عمدتا به میزان سرمایش(مقدار کاهش دما) مورد نظر، نوع بتن، آهنگ بتن ریزی، حجم کلی بتن ریزی پروژه و شرایط اقلیمی بستگی دارد.

پس از مشخص شدن مقدار سر مایش مورد نظر، انتخاب و طراحی سیستم مناسب سر مایش می تواند مطرح گردد. در صورتی که مقدار سرمایش مورد نظر محدود باشد، با روش هایی نظیر استفاده از آب سرد و پوشیده نگاه داشتن دپوی ماسه، می توان الزامات مشخصات فنی را برآورده نمود و در صورتی که مقدار سرمایش لازم قابل توجه باشد، کاربرد یخ به صورت پولک یا خرد شده، روشی مناسب و اقتصادی می باشد.

در انتخاب سیستم سرمایش لازم است حجم کل بتن ریزی پروژه نیز ملحوظ گردد. هزینه های اولیه و هزینه های بهره برداری سیستم هر دو باید در نظر گرفته شوند. در صورتی که حجم بتن ریزی زیاد نباشد، انتخاب سیستمی با هزینه اولیه پایین ولی هزینه بهره برداری بالا ممکن است اقتصادی تر از سیستمی گسترده با هزینه اولیه بالا ولی هزینه بهره برداری کم باشد. همچنین با توجه به هزینه گزاف این سیستم ها باید حداکثر استفاده و کاربرد آنها در پروژه های مشابه نیز پیش بینی گردد.

۱- منابع

[۱] پی. دولن، تیموتی پی ،"اصول کاربرد مصالح و تعیین نسبت های مواد متشکله در بتن سدهای بتن غلطکی" ،"مهندسی پیشرفته در طراحی، ساخت و باز سازی سد ها"، جلد۱، ترجمه مهندس ساسان زهتاب ، اسفند ۱۳۷۷ .

[۲] ACI 207.1R-96,"Mass Concrete", reported by ACI Committee 207, American Concrete Institute,1996

[۳] شمسائی، ابوالفضل، "طراحی و ساخت سد های مخزنی"، جلد سوم،"سد های بتنی" ،۱۳۸۳

[۴] باقری، علیرضا و گرجی، منصور،"سیستم های پیش سرد کن بتن پروژه های سد سازی" ، کمیته ملی سد های بزرگ ایران، کمیته فنی مواد و مصالح سدهای بتنی، نشریه شماره ۳۰ ، ۱۳۷۹

[۵] Harrison, T.A."Erly age thermal crack control in concrete", CIRIA report 91 , London 1981.

[۶] ACI 207.2R-93, "Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete", Reported by ACI Committee 207, American Concrete Institute,1993.

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

[۸] حسینی ، عبدالله و عابدینی ، کارشک ، " کنترل دمای بتن حجیم" ، مجله تکنولوژی بتن ، سال نخست ، شماره ۲ ، مرداد۱۳۸۲ .

[۹] نوشاد سهیلی ، سید سعید ، " ترک در سد های بتنی" ، کمیته ملی سد های بزرگ ایران ، کمیته فنی ترمیم و بازسازی سدها، نشریه شماره ۱۹ ، ۱۳۷۸.

[۱۰] Kurita, M., etal, "Pre Cooling Concrete Using Frozen Sand", concrete international , June1990.

[۱۱] Takeuchi,H. Tsujl.,Nanni, A, "Concrete Pre cooling method by means of dry ice ".concrete international,1995.