Main Menu

روش پس سرمایش سدهای بتنی دو قوسی با نگرشی ویژه به سد کارون ۳

مهندس فرزاد گویا [۱]
مهندس علی امـام [۲]

چکیده :

در ایـن مقالـه پـس از مـرور مختصری به روشهای انجام پس سرمایش در سدهای بتنی دوقوسی ، به نحوهء کاربرد این روشهـا در سـد کـارون ۳ اشـاره گـردیده و در ادامـه ، اطلاعـات حاصـل از تحلـیلهـای تـئوریـک بـا نـتایـج انـدازه گیریهای بعمل آمده توسط ترمومـترها و تـرموکوپلهای نصـب شده تا ایــن مرحلـه از عملیـات اجرائـی مقایسـه می گردد و نحوهء بهره گیری از این اطلاعات در برنامه ریزیهای مورد نیاز برای سیستم پس سرمایش و متعاقباً تزریق درزهای انقباضی مورد بحث قرار می گیرد.

کلمات کلیدی :

آنالیز حرارتی – بتن حجیم – پس سرمایش – تزریق درزهای انقباضی – سدهای قوسی

---

[۱] کارشناس دفتر فنی شرکت سابیر – کارگاه سد و نیروگاه کارون ۳ – ایذه

[۲] سرپرست دفتر فنی شرکت سابیر – کارگاه سد و نیروگاه کارون ۳ – ایذه

(۱) مقدمه :

سد کارون ۳ با ارتفاع ۲۰۵ متر و طول تاج ۳۸۸ متر دارای حجم بتنی معادل ۱/۲ میلیون مترمکعب می باشد . بتن مورد استفاده در بدنه سد عمدتاً از نوع D25/150 ، با مقاومت ۹۰ روزه ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع و بیشینه اندازه درشت دانه آن ۱۵۰ میلی متر است . بتن ریزی بدنه در بلوکهایی جداگانه که توسط درزهای انقباضی از هم جدا گشته اند ، صورت می پذیرد . بتن مزبور دارای عیار سیمان در حدود ۲۰۰ کیلوگرم برمتر مکعب بوده که در صورت استفاده آن در بلوکهای با ابعاد بزرگ و حجیم ، تولید گرمای هیدراتاسیون زیاد و افزایش دمای هسته بتن را موجب می شود . هدف اصلی سیستم پس سرمایش ، کنترل دمای حداکثر بتن در اثر هیدراتاسیون سیمان و کاهش گرادیان حرارتی در سطوحی از بتن که در معرض جریان هوا قرار دارند ، و نیز پائین آوردن دمای بتن تا دمای تزریق درزهای انقباضی است.

پس سرمایش در تمام سال و برای هر لیفت بتن مطابق قاعده خاص خود انجام می گیرد و این عملیات تا زمانی که دمای بتن به دمای تزریق درزها برسد ادامه می یابد.

عملیات پس سرمایش شامل پس سرمایش مصنوعی و طبیعی می باشد . پس سرمایش مصنوعی از طریق جریان آب سرد در شبکه لوله های فولادی با قطر ۲۰ میلی متر تامین می شود که این شبکه ها در هر سطح واریز بتنی کار گذاشته می شوند.

پس سرمایش طبیعی بعد از پس سرمایش مصنوعی و از طریق تبادل حرارتی بتن با هوا صورت می پذیرد . مدت زمان پس سرمایش مصنوعی به زمان بتن ریزی ، دما و دبی آب عبوری از لوله ها و فاصله لوله ها از یکدیگر بستگی دارد.

بطور عموم مدت انجام پس سرمایش مصنوعی اولیه در حدود ۲ تا ۴ ماه از شروع بتن ریزی و ۱ تا ۲ ماه قبل از تزریق درزها است .

در این دو مرحله پس سرمایش طبیعی بصورت تبادل حرارتی بتن با هوا انجام می پذیرد . پس سرمایش مصنوعی ، باید بعد از اتمام اولین لایه بتن بلافاصله آغاز گردد . هرگونه تأخیر در آغاز پس سرمایش مصنوعی موجب افزایش مدت زمان آن خواهد شد.

برای انجام مطالعات حرارتی برروی بتن حجیم و ارائه روشی مناسب برای پس سرمایش آن ، فرضیات ذیل در نظر گرفته شده است .

(۲) فرضیات محاسبات :

(۱-۲) دمای هوا :

دمای هوای اندازه گرفته شده در محل پروژه طبق جدول (۱) نشان داده شده است . هرچند تغییرات دما به ازای ماههای مختلف سال یک منحنی سینوسی کامل نمیباشد ، ولی بدلیل تدوین تئوریهای محاسباتی برای تغییرات سینوسی دما در سطوح مرزی ، دمای محیط نیز به صورت یک منحنی سینوسی تعریف گردیده است .

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
میانگین دما (واقعی)	۲۶،۹	۱۹،۴	۱۳،۷	۱۰،۲	۱۰،۴	۱۳،۴	۱۷،۵	۲۴	۳۰،۷	۳۵	۳۵،۵	۳۲،۴
میانگین دما (محاسباتی)	۲۷،۴	۲۰،۹	۱۴،۹	۱۰،۹	۱۰،۱	۱۲،۶	۱۷،۸	۲۴،۳	۳۰،۳	۳۴،۳	۳۵،۱	۳۲،۶

جدول ۱ : میانگین دمای هوا در محل پروژه کارون ۳

(۲-۲) دمای آب رودخانه :

دمای آب رودخانه کارون در محل پروژه در جدول (۲) نشان داده شده است . چنانچه در قسمتهای بعدی نشان داده خواهد شد، برای پس سرمایش مصنوعی بتن ، در مدت زمان معینی از آب رودخانه استفاده می شود .

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
دمای آب	۲۱	۱۶،۵	۱۳	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۷	۲۰	۲۳	۲۵،۵	۲۴

جدول ۲ : میانگین دمای آب رودخانه در محل پروژه کارون ۳

(۲-۳) گرمای هیدراتاسیون سیمان :

مطابق آزمایشهای انجام شده بر روی سیمان رامهرمز (سیمان مورد استفاده در بتن ریزی)، حداکثر حرارت هیدراتاسیون تولید شده توسط این سیمان حدود ۷۰ کالری برگرم بوده و به مدت ۳ تا ۴ روز بعد از بتن ریزی به این مقدار رسیده و سپس با طی زمان از آن کاسته می شود .

(۲-۴) دمای مخلوط بتن :

دمای لازم جهت مخلوط بتن با توجه به عملیات پیش سرمایش بر روی آن برای ماههای مختلف سال در زیر بچینگ و در محل بتن ریزی ، توسط مشاور طرح مطابق جدول (۳) تعیین و ارائه گردیده است.

چنانچه در جدول زیر دیده می شود ، دمای بتن در محل در حدود ۲ درجه بیشتر از دمای بتن در زیر بچینگ است که بدلیل افزایش حرارت بتن در طول مسیر انتقال می باشد.

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
دمای بتن در بچینگ	۱۲،۵	۱۲،۵	۱۱	۷	۶	۸	۱۱	۱۲،۵	۱۲،۵	۱۲،۵	۱۲،۵	۱۲،۵
دمای بتن در محل	۱۴،۵	۱۴،۵	۱۳	۹	۸	۱۰	۱۳	۱۴،۵	۱۴،۵	۱۴،۵	۱۴،۵	۱۴،۵

جدول ۳ : دمای بتن در زیر بچینگ و در محل بتن ریزی

(۲-۵) افزایش دمای ناشی از هیدراتاسیون سیمان :

چنانچه پیشتر نیز بدان اشاره شد ، سیمان مورد استفاده در بتن حجیم ، سیمان رامهرمز با گرمای هیدراتاسیون حداکثر ۷۰ کالری بر گرم می باشد و با توجه به اینکه گرمای ویژهء بتن تولید شده در حدود $0.21\ \ Cal/gr^{\circ}c$ است ، مقدار افزایش حرارت سیمان را با توجه به عیارهای مختلف مورد استفاده آن در بتن می توان بصورت زیر محاسبه نمود :

بتن زیر تراز ۶۸۱ با ضخامت حدود ۳۰ متر $(L=30m)$:

C=245 Kg/m3

$$t=\frac{245*70}{2500*0.21}=32.6\ ^{o}c$$

بتن بالای تراز ۶۸۱ با ضخامت کمتر از ۳۰ متر (L<30m) :

C=220 Kg/m3

$$t=\frac{220*70}{2500*0.21}=29.3\ ^{o}c$$

C=200 Kg/m3

$$t=\frac{200*70}{2500*0.21}=26.6\ ^{o}c$$

(۶-۲) سایر فرضیات :

- حداکثر حرارت بتن در لحظه شروع پس سرمایش یعنی همزمان با آغاز عملیات بتن ریزی خواهد بود.
- ارتفاع هر مرحله بتن ریزی در بلوکهای بدنه سد ۳ متر می باشد.
- محاسبات حرارتی برای پس سرمایش مصنوعی و طبیعی برای گامهای زمانی یک ماهه خواهد بود .
- دمای تزریق درزهای انقباضی براساس مشخصات فنی طرح ۱۸ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده است .
- ضریب پخشیدگی بتن (Diffusivity) برابر ۰/۰۰۴ متر مربع بر ساعت در نظر گرفته می شود.

(۳) محاسبات پس سرمایش :

محاسبات پس سرمایش بر پایه روش ارائه شده توسط آقایان STUCKY و DERRON در کتاب «مسایل حرارتی در ساختمان سدهای بتنی» (۱) صورت پذیرفته است .

(۱-۳) پس سرمایش مصنوعی :

(۱-۱-۳) روش پس سرمایش مصنوعی :

سیستم پس سرمایش مصنوعی همانطور که قبلاً نیز بدان اشاره گردیده بوسیله گردش آب سرد در درون شبکه لوله های فولادی که بر روی سطوح واریز بتنی قرار میگیرند ، صورت می پذیرد . پس سرمایش مصنوعی شامل دو مرحله اولیه و ثانویه به قرار ذیل می باشد :

مرحله اول از لحظه شروع بتن ریزی آغاز شده و توسط آب رودخانه (چاه) به مدت ۳ تا ۴ ماه بسته به ضخامت بدنه سد و دمای محیط ادامه می یابد . مدت زمان مرحله اول به دو عامل وابسته است که عبارتند از :

- کاهش مدت زمان مرحله دوم تا حد امکان
- پایین تر بودن دمای آب رودخانه از دمای بتن طی سرمایش اولیه

در صورتی که در مرحله اول دمای آب رودخانه از دمای بتن سرد شده بیشتر باشد ، عملیات سرمایش اولیه متوقف و سرمایش طبیعی آغاز می گردد.

مرحله دوم حدود ۱۵ تا ۳۰ روز قبل از زمان تزریق آغاز شده و توسط آب رودخانه یا آب سردی که از دستگاه خنک کننده (Chiller) تامین می شود ، صورت می پذیرد . این مرحله تا زمان رسیدن دمای بتن به دمای تزریق درزها ادامه می یابد.

(۲-۱-۳) روند محاسبات :

(الف) محاسبه منطقه تأثیر یک لوله(F_R) براساس فواصل افقی و هم چنین ارتفاع هر مرحله از بتن ریزی :

$$F_R = S.H \qquad (1)$$

که در آن :

F_R : منطقه تأثیر یک لوله بر حسب متر مربع

S : فاصله افقی لوله ها بر حسب متر

H : فاصله قائم لوله ها بر حسب متر

(ب) محاسبه منطقه تاثیر معادل یک لوله در یک شبکه شش ضلعی :

$$F_H = 1.1 * F_R \qquad (2)$$

(ج) محاسبه :

$$e_H = \sqrt{\frac{F_H}{0.867}} \qquad (3)$$

(د) محاسبه حجم متاثر از یک شبکه :

$$V = F_H * L \qquad (4)$$

که در آن :

V : حجم بتن متأثر از یک شبکه بر حسب مترمکعب

L : طول کل لوله در یک شبکه بر حسب متر

(هـ) : محاسبه دبی ویژه :

$$q = \frac{Q}{V} \qquad (5)$$

که در آن :

q : دبی ویژه بر حسب $cm^3/\sec/m^3$

Q : دبی آب جاری در شبکه بر حسب $cm^3/\sec$

(و) تعیین ضریب Ω از نمودار (۱)

(ز) محاسبه دمای بتن در لحظه t :

$$\theta_{bt} = \theta_e + (\theta_{bo} - \theta_e).e^{-\Omega t} \qquad (6)$$

θ_{bt} : دمای بتن در لحظه t بر حسب درجه سانتی گراد

θ_e : دمای آب در شبکه بر حسب درجه سانتیگراد

θ_{bo} : دمای بتن در لحظه صفر بر حسب درجه سانتی گراد

t : زمان برحسب روز

برای مثال محاسبات فوق برای یک لیفت ۳ متری به ابعاد ۲۰×۳۰ مترمربع به صورت زیر خواهد بود :

(۱) با فرض فاصله ۱/۵ متر لوله ها :

$$F_R = S.h = 1.5 * 3 = 4.5m^2$$

(۲) محاسبه منطقه تاثیر :

$$F_H = 1.1 * F_R = 1.1 * 4.5 = 4.95m^2$$

(۳) محاسبه ضریب e_H:

$$e_H = \sqrt{\frac{F_H}{0.867}} = \sqrt{\frac{4.95}{0.867}} = 2.39$$

$$L = \frac{(20 - 2*0.5)}{1.5} * [(30 - 2*0.50) + \frac{3.14}{2} * 1.5] = 397m$$

(٤) محاسبه حجم متاثر از یک شبکه :

$$V = F_H * L = 4.95 * 397 = 1965.2 m^3$$

(٥) محاسبه دبی ویژه با فرض اینکه دبی آب عبوری برای هر نیم بخش بالادست و پایین دست بلوک ۰/۳ لیتر بر ثانیه باشد

$$q = \frac{2 * 0.3 * 1000}{1965.2} = 0.305 \frac{cm^3 / \sec}{m^3}$$

(٦) تعیین ضریب Ω از نمودار (۱) :

$$\left| \begin{array}{l} e_H = 2.39 \\ q = 0.28 \end{array} \right. \rightarrow \Omega = 0.022$$

(۷) تعیین معادله دما با فرض اینکه بتن در اول مهرماه ریخته شده و توسط آب رودخانه به مدت چهارماه خنک گردد:

θ_{bo} : دمای اولیه بتن در اول مهرماه برابر ۳۲/۶+۱۴/۵=۴۷/۱ (درجه سانتی گراد)

θ_e : دمای آب عبوری از شبکه در چهارماه مهر، آبان ، آذر و دی مطابق جدول (۲) برابر ، ۲۱ ، ۱۶/۵ ، ۱۳ و ۱۰ درجه می باشد ، بنابراین :

$$\theta_{bt} = \theta_e + (\theta_{bo} - \theta_e) e^{-\Omega t}$$

در اول ماه آبان : روز $t = 30$

$$\theta_{bt} = 21 + (47.1 - 21) e^{-0.022*30} = 43.5^\circ c$$

در اول ماه آذر : روز $t = 60$

$$\theta_{bt} = 16.5 + (34.5 - 16.5) e^{-0.022*30} = 25.8^\circ c$$

در اول ماه دی : روز $t = 90$

$$\theta_{bt} = 13(25.8 - 13) e^{-0.022*30} = 19.6^\circ c$$

در اول ماه بهمن : روز $t = 120$

$$\theta_{bt} = 10 + (19.6 - 10) e^{-0.022*30} = 15^\circ c$$

محاسبات فوق برای دبی های ۰/۳ و ۰/۵ لیتر بر ثانیه و با فاصله افقی لوله های ۱ ، ۱/۵ ، ۲ و ۲/۵ متر انجام شده اند .

مطابق نتایج بدست آمده مناسبترین و اقتصادی ترین حالت ، استفاده از دبی ۰/۳ لیتر بر ثانیه با فاصله افقی لوله های ۱/۵ متر می باشد. بدین منظور در پس سرمایش مصنوعی از دبی فوق با فاصله ۱/۵ متر برای لوله ها استفاده شده است . شایان ذکر است که استفاده از دبی مزبور مانع از بروز پدیدهء شوک حرارتی در بتن می گردد ، چنانچه براساس توصیه ACI نرخ پس سرمایش در بتن های حجیم نباید از ۰/۶ درجه سانتیگراد در روز تجاوز نماید.

نمودار (۱) : تغییرات دما به ازای فاصله و دبی

(۲-۳) پس سرمایش طبیعی :

در فصول گرم سال در صورتی که تفاوت بین دمای بتن و آب شبکه کم و یا منفی باشد ، پس سرمایش اولیه متوقف و پس سرمایش طبیعی آغاز می گردد.

برای درک چگونگی تبادل حرارتی بتن و هوا تحت سرمایش طبیعی و هم چنین دانستن زمان و دمای مناسب برای شروع مجدد پس سرمایش مصنوعی لازم است دمای بتن را تحت سرمایش طبیعی نیز محاسبه نمود.

محاسبات سرمایش طبیعی بر پایه تئوری تدوین شده برای محاسبه حرارت میانگین یک صفحه نامحدود که در معرض سرمایش ناگهانی سطوح قرار دارد ، انجام گردیده است .

برای این منظور از نمودار (۲) که از مرجع (۲) اخذ گردیده ، استفاده شده است .

نمودار (۲) : نسبت تغییرات دما به ازای زمان برای دال با ضخامت D

(۱-۲-۳) روند محاسبات :

همانند محاسبات پس سرمایش مصنوعی گام زمانی انتخابی برای محاسبات یک ماه انتخاب شده است . دمای میانگین محاسباتی محیط از جدول (۱) به عنوان مبنا اختیار گردیده است .

(الف) محاسبه ضریب :

$$\frac{at}{L^2} \qquad (7)$$

که در آن :

a : ضریب پخشیدگی بتن بر حسب m^2 / hr که برابر ۰/۰۰۴ می باشد

t : زمان مورد نظر بر حسب ساعت

L : ضخامت قوس سد برحسب متر

(ب) تعیین پارامتر B از نمودار شماره (۲) به ازای ضخامت و زمان های مورد نظر

(ج) محاسبه دمای میانگین بتن از رابطه :

$$\theta_{bi} = \theta_{bo} + (\theta_{ao} - \theta_{bo})B_{i-1} + \sum_{j=1}^{i-1}(\theta_{aj} - \theta_{a(j-1)})B_{i-(j+1)}$$

که در آن :

θ_{bi}: درجه حرارت میانگین بتن در لحظه «i» برحسب درجه سانتی گراد

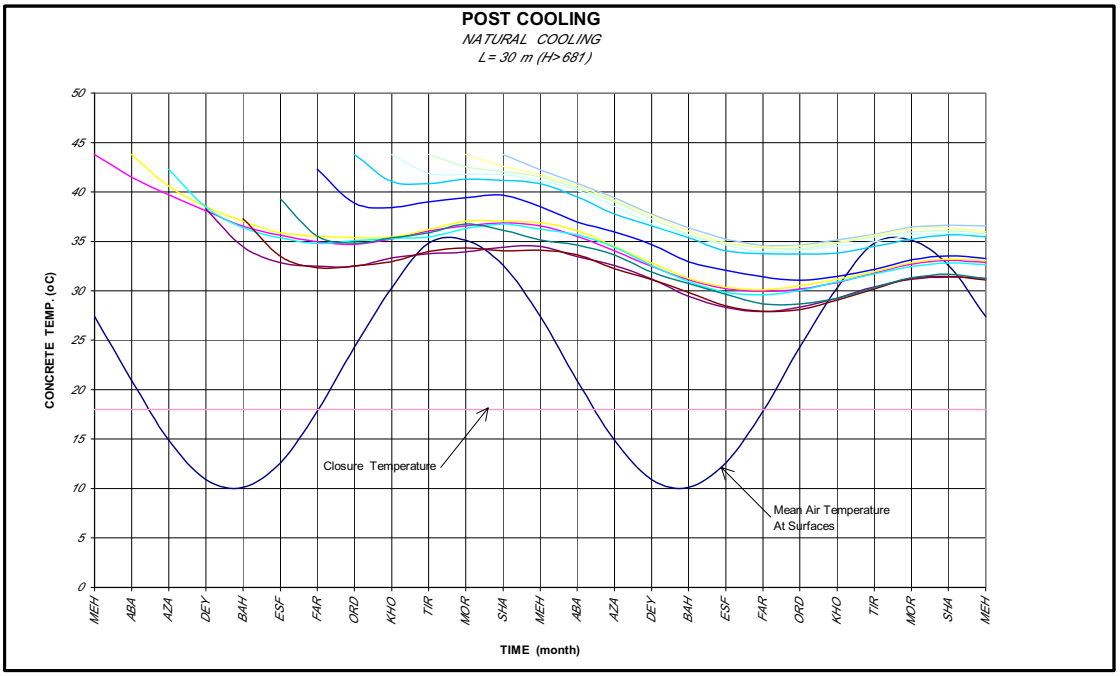
θ_{bo} : درجه حرارت میانگین بتن در لحظه صفر بر حسب درجه سانتی گراد

θ_{ao} : درجه حرارت هوای محیط در لحظه صفر بر حسب درجه سانتی گراد

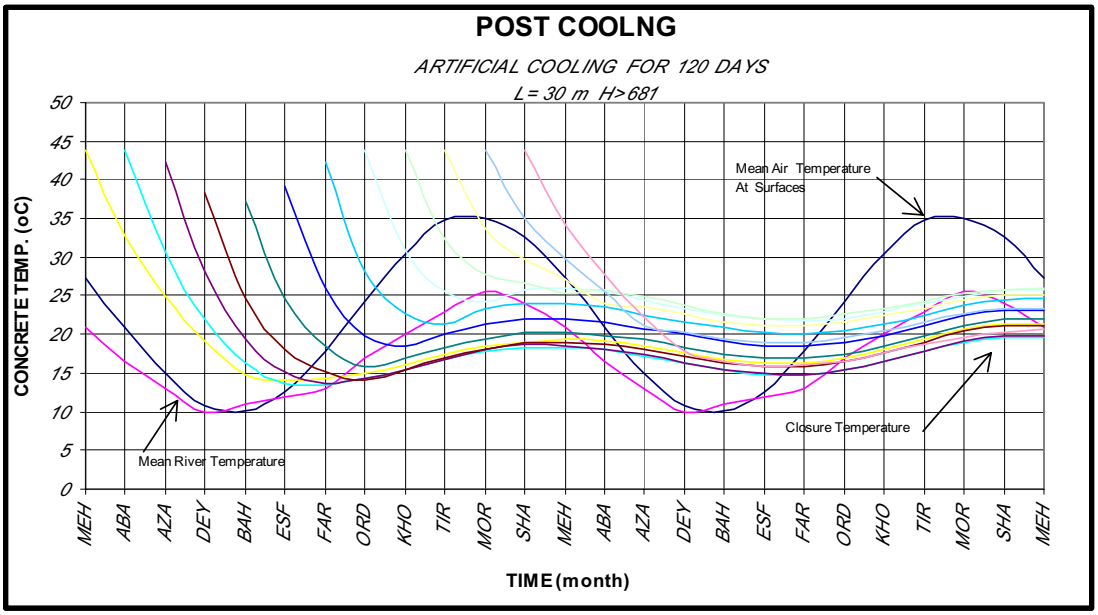
θ_{ai} : درجه حرارت هوای محیط در لحظه «i» برحسب درجه سانتی گراد

مطابق روش فوق و با داشتن دمای اولیه بتن می توان چگونگی تبادل حرارتی بتن و هوا را محاسبه نمود.

در نمودار (۳) سرمایش طبیعی برای بتن بدون سرمایش مصنوعی نشان داده شده است . چنانچه ملاحظه می گردد تاثیر دمای هوای محیط بر روی بتن به کندی صورت گرفته و بدون سرمایش مصنوعی امکان رسیدن به دمای تزریق درزها میسر نمی باشد .



در نمودار (۴) یک نمونه از دیاگرامهای مربوط به ترکیب مرحله اول سرمایش مصنوعی و طبیعی برای ضخامت ۳۰ متر و با پریود زمانی ۱۲۰ روز با سرمایش مصنوعی نشان داده شده است .



نمودار (۴) : پس سرمایش مصنوعی به مدت ۱۲۰ روز برای ضخامت بدنه ۳۰ متر

(۴) روش انتخابی براساس مطالعات تئوریک :

محاسبات مربوط به پس سرمایش مصنوعی و طبیعی برای هفت ضخامت مختلف بدنه سد که معرف ضخامت محدوده های تزریق می باشند انجام شده و روش انتخابی برای پس سرمایش بتن بدنه سد بصورت ذیل ارائه شده است .

(۴-۱) پس سرمایش محدوده های تزریق از تراز ۶۴۵ تا ۷۷۹ با ضخامت بدنه ۳۰ تا ۲۰ متر . پس سرمایش این محدوده ها طبق روال زیر خواهد بود :

الف) پس سرمایش اولیه از شروع بتن ریزی به مدت ۱۲۰ روز به وسیله آب چاه (رودخانه) . این سرمایش برای لیفتهایی از بتن که در ماه های بهمن ، اسفند ، فروردین و اردیبهشت ریخته می شوند ، ۹۰ روز خواهد بود.

ب) توقف پس سرمایش اولیه و شروع سرمایش طبیعی تا اول بهمن ماه

ج) آغاز پس سرمایش ثانویه از اول بهمن ماه به وسیله آب چاه یا چیلر. لازم به یادآوری است در صورت استفاده از آب چیلر با دمای ۵ درجه سانتی گراد ، مدت پس سرمایش ثانویه ۱۵ روز و با آب چاه با دمای حدود ۱۱ درجه ۳۰ روز کافی خواهد بود.

پس سرمایش ثانویه براساس محاسبات انجام شده برای بتن های ریخته شده در ماه های اسفند تا شهریور لازم خواهد بود.

د) تزریق درزهای انقباضی در ماه های اسفند ، فروردین و اردیبهشت با دمای بتن زیر ۱۸ درجه و توقف پس سرمایش ثانویه .

(۴-۲) پس سرمایش محدوده های تزریق تراز ۷۷۹ تا ۸۱۰ با ضخامت بدنه ۲۰ تا ۱۵ متر

الف) پس سرمایش اولیه از شروع بتن ریزی به مدت ۹۰ روز به وسیله آب چاه (رودخانه)

ب) توقف سرمایش اولیه و آغاز سرمایش طبیعی تا اول بهمن ماه

ج) آغاز پس سرمایش ثانویه از اول بهمن به وسیله آب چاه یا چیلر که مدت زمان این مرحله در صورت استفاده از آب چیلر ۱۵ روز و آب رودخانه ۳۰ روز خواهد بود.

د) تزریق درزهای انقباضی در ماه های اسفند، فروردین و اردیبهشت با دمای بتن زیر ۱۸ درجه و توقف پس سرمایش ثانویه

(۳-۴) پس سرمایش محدوده های تزریق از تراز ۸۱۰ تا ۸۳۵ با ضخامت بدنه ۱۵ تا ۱۰ متر

الف) پس سرمایش اولیه از شروع بتن ریزی به مدت ۶۰ روز به وسیله آب چاه (رودخانه)

ب) توقف پس سرمایش اولیه و شروع سرمایش طبیعی تا اول بهمن ماه

ج) آغاز پس سرمایش ثانویه از اول بهمن ماه به وسیله آب چاه یا چیلر که مدت زمان این مرحله در صورت استفاده از آب چیلر ۱۵ روز و آب رودخانه ۳۰ روز خواهد بود .

د) تزریق درزهای انقباضی در ماه های اسفند ، فروردین و اردیبهشت با دمای بتن زیر ۱۸ درجه و توقف پس سرمایش ثانویه

(۴-۴) پس سرمایش محدوده تزریق از تراز ۸۳۵ تا ۸۵۰ با ضخامت بدنه کمتر از ۱۰ متر

الف) پس سرمایش اولیه از شروع بتن ریزی به مدت ۶۰ روز به وسیله آب چاه (رودخانه)

ب) توقف پس سرمایش اولیه و شروع سرمایش طبیعی

ج) تزریق درزهای انقباضی در ماه های اسفند ، فروردین و اردیبهشت با دمای بتن زیر ۱۸ درجه و توقف پس سرمایش ثانویه .

توجه به این نکته ضروری است که استفاده از آب چاه طی مرحله دوم پس سرمایش مزایای ذیل را در بر دارد :

الف) به دلیل کم بودن دمای آب چاه در بهمن ماه در حدود ۱۰ تا ۱۱ درجه ، دمای بتن در طی ۳۰ روز سرمایش دارای دمای پایین تری در مقایسه با حالتی است که از آب چیلر به مدت ۱۵ روز استفاده می شود .

ب) استفاده از چیلر پر هزینه بوده و از آن می توان برای تزریق محدوده هایی که لازم است در فصول مختلف سال قبل از ادامه بتن ریزی انجام شود ، استفاده گردد.

(۵) دمای اندازه گیری شده بوسیلهٔ ترمومتر و ترموکوپل :

(۱-۵) مشخصات فنی ترمومترها و ترموکوپلها :

ترمومتر های مورد استفاده در سد کارون ۳ همچون اکثریت لوازم اندازه گیری دیگر آن ، از شرکت هوگن برگر (Huggenberger) سویس خریداری شده اند. سنسور تومومترها از نوع K می باشد که برای اندازه گیری دما بر روی سطح و داخل مایعات ، هوا ، گاز و پلاستیک مناسب است . محدودهٔ اندازه گیری این ابزار از ۶۰ – تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد می باشد .

ترموکوپلهای استفاده شده در بدنه سد شامل ترموکوپل های OMEGA تیپ T به مشخصات STC-PVC-T-24-180 ساخت کشور آمریکا می باشند که جهت اندازه گیری میزان دمای بتن بکار رفته اند.

این ترموکوپلها شامل ۲ رشته سیم فلزی غیر هم جنس است که هرکدام دارای مقاومت الکتریکی متفاوتی می باشند. در انتهای کابل مذکور جهت اتصال به دستگاه قرائت سوکت رابط اتصال ۲ شاخه وجود دارد که قطب های مثبت و منفی آن به وضوح قابل تشخیص هستند و در هنگام قرائت سهولت اتصال قطبهای همنام از ترموکوپل به دستگاه قرائت ، این امر را امکان پذیر می سازد و در ابتدای آن دوسری کابل به شکل خاص به هم اتصال داده شده که در کارخانه سازنده عمل کالیبراسیون بر روی کابل مذکور صورت پذیرفته است .

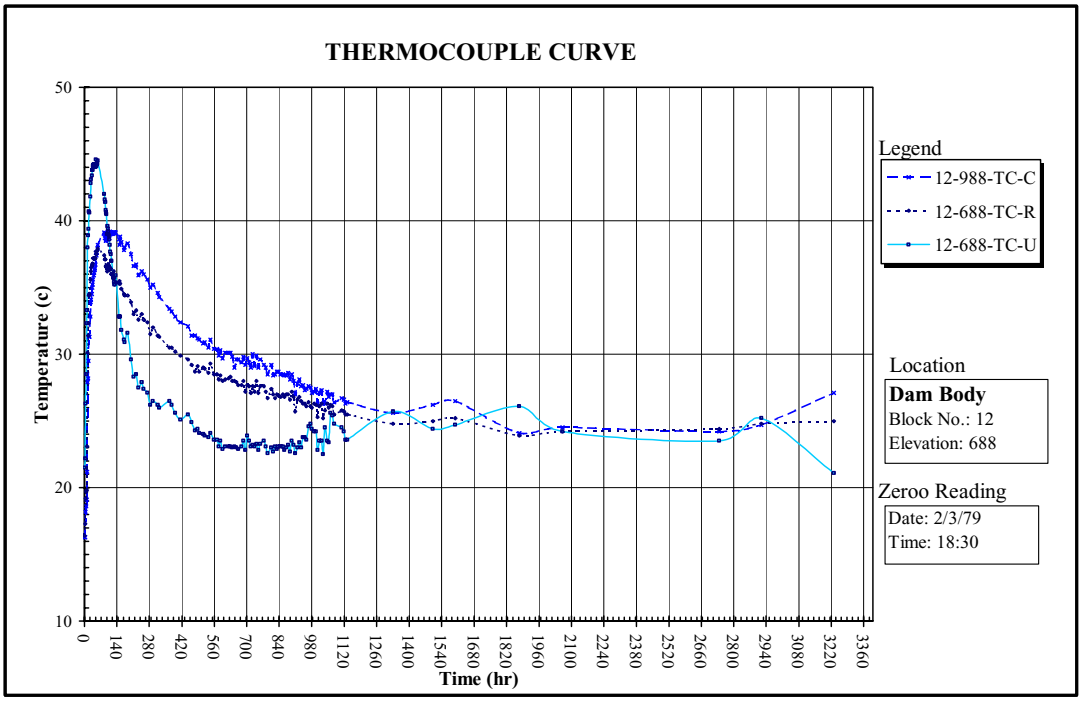
(۲-۵) نصب و بهره برداری :

بعد از کالیبراسیون ترموکوپل و به منظور آماده سازی مقدمات کار ، ابتدا محل نصب ترموکوپل ها توسط واحد نقشه برداری به طور دقیق مشخص می گردد و چون ترموکوپلها باید یک متر بالاتر از لیفت قدیمی نصب شوند و به منظور نصب ، ابتدا یک چال نیم متری حفاری و میلگردی به قطر ۳۲ میلی متر به طول ۲ متر در چال تعبیه می گردد بطوریکه ۱/۵ متر از میلگردها بیرون سطح بلوک و ۰/۵ متر آنها در چال قرار دارد و بعد از بتن ریزی در سطح بلوک و هنگامیکه ضخامت بتن تازه ریخته شده به یک متر رسید ، ترموکوپلها بر روی میلگردهای مزبور نصب می گردند و کابلهای آنها از لوله های خرطومی محافظ که قابلیت انعطاف دارند و

بـه صـورت شـبکه در سـطح بلوک تعبیه گردیده اند عبور داده شده و توسط یک لوله محافظ فلزی به سمت گالری هدایت می شوند .کابلها در درون گالری بصورت منظم کابل کشی شده و به درون یـک جعبه فلـزی محافـظ هدایـت می گردند و انتهای کابل به یک سری ترمینالهای مخصوص جهت امکان قرائت وصل می شود.

(۳-۵) نتایج اندازه گیریهای انجام شده توسط ترموکوپلها :

انـدازه گـیری دمای بتن بدنه توسط ۳ عدد ترموکوپل در مرکز ، بالادست و مجاورت درز انقباضی بلوک انجام می گردد. تـرموکوپلهای مذکـور در ابـتدا و نـیمهء محـدوده های تزریق درز انقباضی قرار می گیرند که روند تغییرات دمای بتن را تا رسیدن به دمای تزریق درزها نشان می دهند. نمودار (۵) روند تغییرات دمائی بتن بدنه را در قسمتهای مختلف نشان می دهد.



نمودار (۵) : روند تغییرات دمای اندازه گیری شده بتن بدنه بوسیله ترموکوپل

(۶) جمع بندی و نتیجه گیری :

همانگونـه کـه در بخشـهای گذشته بدان اشاره شد ، تحلیلهای تئوریک متداول در بررسی و مطالعه تغییرا ت حرارتی بلوکهای حجـیم بدنـه سد کارون ۳ مورد استفاده قرار گرفته و طی ماههای گذشته نیز صحت این پیش بینی ها با بهره گیری از اطلاعات بدست آمـده از ترمومـترهای دایمـی و ترموکو پلها (به عنوان ابزار اندازه گیری موقت حین ساخت) مورد ارزیابی واقع شده اند . نمونه ای از این ارزیابی و مقایسه نتایج مطالعات و اندازه گیریهای انجام شده در مورد ترموکوپلهای نصب شده در تراز ۶۶۶ بلوک ۱۳ بدنه سد در شکل (۶) نشان داده شده است . همانگونه که در این شکل ملاحظه می شود ، نمودارهای تئوریک و اندازه گیری شده همخوانی نسبتاً مناسبی با یکدیگر دارند . ضمن اینکه عوامل ذیل در عدم همنوائی بخش دیگری از اطلاعات و نتایج حاصله مؤثر بوده اند که در ادامه تحلیلها و نیز انجام مطالعات مشابه باید مد نظر قرار گیرد :

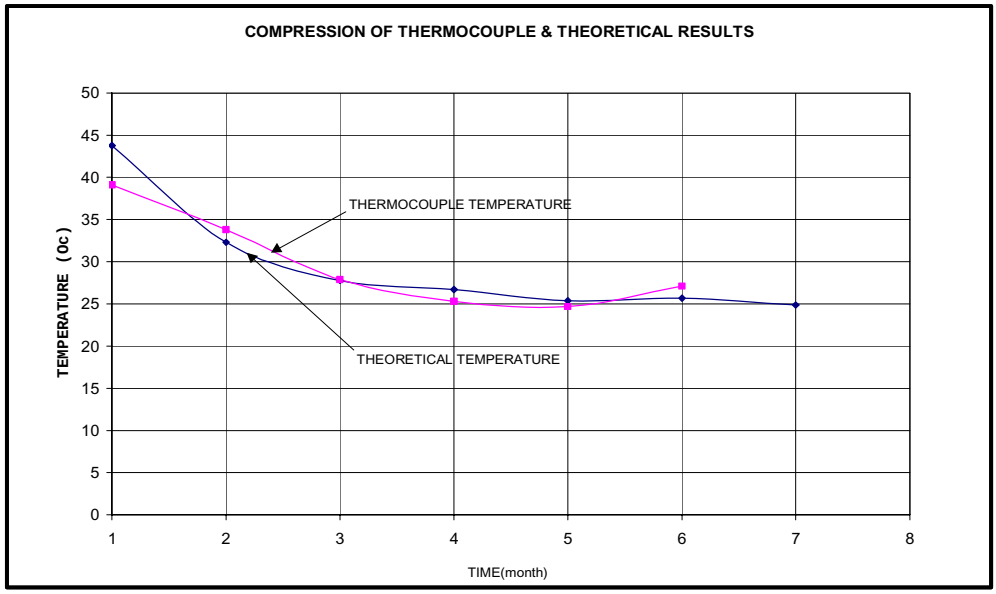
الف – مباینت مابین دمای آب پس سرمایش و هوای فرض شده در مطالعات و شرایط واقعی اعمال شده .

ب – تغییرات فشار و دبی آب جاری در لوله های پس سرمایش و یا توقف پیش بینی نشده در انجام مراحل پس سرمایش .

ج – اختلاف عیار سیمان و دمای بتن ریخته شده با فرضیات مد نظر در مطالعات .

د – تغییرات کیفی در مشخصات فنی سیمان مورد استفاده

نهایتاً ایـن نکـته مهـم باید در اینگونه بررسیها مورد توجه قرار گیرد که تغییرات حرارتی در جسمی چون توده بتن در واقع یک پدیـده سه بعدی است که ارزیابی وضعیت آن از پیچیدگی خاصی برخوردار می باشد و فرضیات ساده کننده انجام شده در تحلیلهایی از این دست ، در صورت مخدوش گردیدن هر یک از فرضیات ممکن است به نتایج غلط و گمراه کننده منجر شوند .



نمودار (۶) : مقایسه نتایج قرائت های ترموکوپل با تحلیل های تئوریک

مراجع و مآخذ :

۱ – « مطالعات حرارتی بتن بدنه سد کارون ۳ » ۱۳۷۷ ، دفتر فنی شرکت سابیر ، پروژه سد و نیروگاه کارون ۳

2 – “Report of Committee 207.1 R-26 (1981)” , ACI Manual of Concrete Practice.

3 – Stucky, A. & Derron, M. (1957) “Problemes Thermiques Poses Por La Construction des Barrages - Reservoirs ".

4 – "Shahid Rajaee Dam, Analysis on Post Cooling of Concrete, Assumptions , Results & Comments “, MAHAB GHODSS Consulting Eng. Joint – Venture Stucky- Electrowatt.