

به نام خدا

سازمان نظام مهندسی استان اصفهان

دستور العمل آنالیز حرارتی در سازه‌ها:

۱- کلیه سازه‌های ساختمانی که طول آنها از ۴۰ متر بیشتر است در صورت عدم استفاده از درز انبساط، بایستی آنالیز حرارتی شده و اثرات بارهای حرارتی در طراحی آنها در نظر گرفته شود.

۲- برای اعمال اثرات بارهای حرارتی ابتدا بایستی مقدار تغییرات دما (ΔT) محاسبه شود. طبق بند ۹-۱۲-۲-۲ مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، مقدار ΔT برحسب تغییرات درجه حرارت در هر منطقه اختیار می‌شود و در صورتی که آمار قابل قبول منطقه‌ای وجود نداشته باشد، برابر با ۶۰ درجه سلسیوس بر حسب حداقل ۳۰- و حداکثر ۳۰+ درجه سلسیوس در نظر گرفته می‌شود.

جهت محاسبه مقدار ΔT با استفاده از آمار منطقه‌ای، آیین نامه ACI224.3R-95 رابطه زیر را ارائه کرده است.

$$\Delta T = \max \left\{ \begin{array}{l} T_w - T_m \\ T_m - T_c \end{array} \right\}$$

که در آن:

T_m میانگین دمای روزانه در طی فرآیند ساخت در فصل کاری می باشد که حداقل دمای روزانه برابر صفر درجه باشد.

T_w و T_c به ترتیب دمای میانگین حداکثر روزانه در تابستان و زمستان که احتمال تجاوز از آن حداکثر ۱٪ باشد.

مقدار دقیق ΔT برای تعدادی از شهرهای استان اصفهان بر اساس آمار سایت هواشناسی که در یک دوره ۶۰ ساله می باشد در پیوست آمده است.

آنالیز تغییرات یکنواخت حرارت ΔT بایستی در دو حالت مجزای بارگذاری به کلیه اعضای سازه ای اعم از تیر، ستون، دال، دیوار، مهاربند و ... اعمال شود.

حالت اول: اعمال تغییرات حرارت ΔT به همراه بارهای ثقلی در حین ساخت

حالت دوم: اعمال تغییرات حرارت برابر $\sqrt{\Delta T}$ ، به همراه بار های ثقلی مرحله بهره برداری برای ساختمان‌هایی که در آیین نامه به نام Heated buildings معرفی شده اند.

لازم به ذکر است که ساختمان‌های Heated buildings به ساختمان‌هایی اطلاق می‌شود که مشمول ۲ شرط زیر باشند.

الف- کلیه اجزای سازه‌ای بوسیله مصالح بنایی و نما پوشش داده شده باشند.

ب- فضا های داخلی دارای سیستم سرمایش و گرمایش بوده و بوسیله درب و پنجره عایق از فضای باز جدا شده باشند.

واضح است که ساختمان‌هایی که مشمول حداقل یکی از ۲ شرط فوق نباشند بایستی برای آنالیز حرارتی برابر با ΔT به همراه بارهای ثقلی مرحله بهره برداری تحلیل و طراحی شوند (مانند پارکینگ‌های طبقاتی باز).

۳- جهت مدلسازی و آنالیز حرارتی موارد زیر اعمال شود.

الف) جهت آنالیز حرارتی، باید کلیه سقف‌ها به صورت Shell در نظر گرفته شده و از حالت دیافراگم خارج شوند. همچنین لازم است سقف‌های تیرچه بلوک با **دال یکطرفه (one way)** معادل هم مساحت (برای سقف‌های با ضخامت ۳۰ و ۳۵ سانتیمتر دال با ضخامت ۱۰ سانتیمتر) مدل شده و ضریب کاهش مساحت (f11 یا f22) در جهت عمود بر تیرچه عدد ۰/۵ در نظر گرفته شود.

ب) جهت آنالیز حرارتی سازه، در مرحله اول آنالیز، ضریب ترک خوردگی محوری کلیه اعضا عدد یک در نظر گرفته شود. در مرحله دوم ضریب ترک خوردگی اعضای تحت کشش ($P > P_{cr}$) مطابق رابطه ۴-۱۳ ارائه شده در آیین نامه ACI224.2R در هر عضو محاسبه و اعمال گردد. رابطه ذکر شده در پیوست آمده است. **همچنین رابطه ۴-۱۱ در توصیه نامه فوق نیز کاربرد دارد.** ضریب ترک خوردگی در دال‌ها در محدوده عرض موثر تیر، ضریب ترک خوردگی برابر تیر هم جهت در نظر گرفته شود.

پ) جهت طراحی تیرهای تحت کشش و خمش می‌توان به جای استفاده از منحنی اندرکنش ستون از رابطه ساده زیر استفاده کرد. در این رابطه A_s^M و T_u به ترتیب آرما تور طرح شده در اثر خمش خالص و نیروی کششی ضریب‌دار در ترکیب بارگذاری حرارتی و A_s آرما تور **خمش** طرح شده در مقطع طراحی می‌باشد. در ضمن آرما تور طرح شده تحت کشش $\left(\frac{T_u}{\phi f_y}\right)$ باید در به طور یکنواخت در وجوه مقطع توزیع شده و به صورت سراسری در تمام طول تیر اجرا گردد. ضریب α بستگی به چگونگی توزیع آرما توره‌های سراسری حرارتی دارد. بدیهی است در مواردیکه آرما تور سراسری در بالا و پایین مقطع توزیع می‌گردد این ضریب ۰/۵ می‌باشد.

$$A_s = A_s^M + \alpha \frac{T_u}{\phi f_y}$$

ت) تیرهای تحت فشار که نیروی محوری آن‌ها تحت ترکیب بارگذاری، کمتر از $0.2f'cA_g$ باشد در جهت اطمینان احتیاجی به طراحی حرارتی ندارند.

ث) اثر نیروی کششی در طراحی برشی دیده شود.

ج) در مواردیکه در تکیه گاه‌ها تمرکز شدید نیروهای عکس‌العملی دیده می‌شود، برای حصول واقعیت و کاستن از تمرکز تنش، می‌توان سازه را همراه با فونداسیون متکی بر فنرهای مربوطه مدل کرد.

پیوست:

با توجه به معادلات ACI224.2R رابطه ۴/۱۳ جهت محاسبه ضریب ترک خوردگی محوری اعضای تحت کشش ارائه شده است که در زیر آمده است.

$$P_{cr} = (1 - \rho + n\rho) A_g f'_t \quad (2.1)$$

in which

- A_g = gross area
- A_s = steel area
- f'_t = tensile strength of concrete
- n = the ratio of modulus of elasticity of the steel to that of concrete
- ρ = reinforcing ratio = A_s/A_g

$$A_e = A_g \left(\frac{P_{cr}}{P} \right)^3 + A_{cr} \left[1 - \left(\frac{P_{cr}}{P} \right)^3 \right] \quad (4.13)$$

where A_g = gross cross-sectional area and $A_{cr} = nA_s$.

The term A_e could be replaced by the transformed area A_e to include the contribution of reinforcing steel to the uncracked system [$A_t = A_c + nA_s = A_g + (n - 1)A_s$].

$f'_t \cong 0.1f'_c$: f'_t تابع f'_c مقاومت فشاری بتن بوده و از جدول زیر قابل محاسبه است بطور ساده می‌توان نوشت:

Table 3.2-Relation between compressive strength and tensile strengths of concrete⁶

Compressive strength of cylinders, f'_c psi (MPa)	Strength ratio		
	Modulus of rupture* to compressive strength	Direct tensile strength to compressive strength f'_t	Direct tensile strength to modulus of rupture*
1000 (6.9)	0.23	0.11	0.48
2000 (13.8)	0.19	0.10	0.53
3000 (20.7)	0.16	0.09	0.57
4000 (27.6)	0.15	0.09	0.59
5000 (34.5)	0.14	0.08	0.59
6000 (41.4)	0.13	0.08	0.60
7000 (48.2)	0.12	0.07	0.61
8000 (55.1)	0.12	0.07	0.62
9000 (62.0)	0.11	0.07	0.63

*Determined under third-point loading.

طبق آیین نامه ACI224.2R رابطه ۴/۱۱ نیز جهت محاسبه سختی محوری عضو تحت کشش کاربرد دارد. در این روش سختی محوری عضو تحت نیروی کششی P برابر با حاصلضرب مساحت میلگرد (As) و مدول الاستیسیته موثر میلگرد (Esm) در نظر گرفته می شود.

$$E_{sm} = \frac{E_s}{\left[1 - k \left(\frac{f_{scr}}{f_s}\right)^2\right]} \quad (4.11)$$

in which f_{scr} is given by Eq. (4.4), $f_s = P/A_s$, $\epsilon_s = f_s/E_s$, and $k = 1.0$ for first loading and 0.5 for repeated or sustained loading.

$$f_{scr} = \frac{P_{cr}}{A_s} = f_{tl}' \left(\frac{1}{\rho} - 1 + n \right) \quad (4.4)$$

f_{tl}' is the tensile stress causing the first crack.