

# ملاحظات طراحی سازه‌های بتنی در برابر آتش

|                                      |              |       |       |            |             |  |     |
|--------------------------------------|--------------|-------|-------|------------|-------------|--|-----|
| محل ضرب<br>مهرهای تحت<br>کنترل-منسوخ |              |       |       |            |             |  | ۰۳  |
|                                      |              |       |       |            |             |  | ۰۲  |
|                                      |              |       |       |            |             |  | ۰۱  |
|                                      |              |       |       | امیر ساعدی | وحید پاچیده | ملاحظات طراحی سازه های بتنی در برابر آتش | ۰۰  |
|                                      | تاریخ انتشار | تصویب | تأیید | بررسی      | تهیه        | شرح                                      | REV |

ملاحظات طراحی سازه های بتنی در برابر آتش



|           |  |            |            |            |            |            |            |            |        |
|-----------|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| صفحه: ۲   |  | <i>DEP</i> | <i>PRJ</i> | <i>CAT</i> | <i>DIS</i> | <i>TYP</i> | <i>SEQ</i> | <i>REV</i> | پروژه: |
| شهریور ۹۴ |  |            |            |            |            |            |            | ۰۱         |        |

فهرست مطالب

- ۱- برش ..... ۳
- ۲- پیوستگی ..... ۳
- ۳- پکیدیگی ..... ۴
- ۳-۱- میزان رطوبت ..... ۴
- ۳-۲- تخلخل و نفوذ پذیری بتن ..... ۵
- ۳-۳- شرایط تنش ..... ۶
- ۳-۴- نوع سنگدانه ..... ۶
- ۳-۵- پروفیل مقطع و پوشش ..... ۶
- ۳-۶- نرخ گرمایش ..... ۷
- ۳-۷- مقاومت بتن ..... ۷

| ملاحظات طراحی سازه های بتنی در برابر آتش |  |     |     |     |     |     |     |     |  |        |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|--------|
| صفحه: ۳                                  |  | DEP | PRJ | CAT | DIS | TYP | SEQ | REV |  | پروژه: |
| شهریور ۹۴                                |  |     |     |     |     |     |     | ۰۱  |  |        |

## ۱- برش

برای سازه های بتن مسلح یکپارچه یا با تکیه گاه ساده، برش به ندرت مشکل ساز می شود. اما این مساله در مورد سازه های بتنی پیش تنیده به دلیل افزایش لنگرهایی که نیروهای پیش تنیدگی در مقطع ایجاد می کنند، صدق نمی کند. (*Bardhan-Roy, Bobrowski(1969)* نشان دادند که مقطع بحرانی برش در فاصله بین  $0.15L$  تا  $0.2L$  از تکیه گاه می باشد که در آن  $L$  طول دهانه است.

بعید است که در واحدهای کف بتنی پیش تنیده ی پیش ساخته، برش حالت بحرانی پیدا کند. *Fellinger, 2003, Lennon, 2003/4, Van Acker, 2004* نشان دادند که واحدهای پیش ساخته اگر در صفحه ی کف به اندازه کافی مقید شده باشند به صورت یک دیافراگم عمل می کنند. آزمایش هایی که *Lennon (2003)* گزارش می دهد به یک آتش طبیعی با زمان معادل حدود  $I$  ساعت و بدون نشانه ای از پکیدگی مربوط می شوند.

## ۲- پیوستگی

در حالت کلی حتی با وجود اینکه در هنگام آتش سوزی مقاومت های پیوستگی به شدت کاهش می یابند، این مساله مشکل ساز نخواهد بود. تقریباً می توان گفت که مشکل به سازه های بتنی پیش تنیده ای مربوط می شود که در آنها در طول بازوی لنگر باید پیوستگی سازه حفظ شود تا نیروهای پیش تنیدگی به بتن منتقل شوند. البته موارد بسیار کمی (اگر نگوئیم هیچ موردی!) وجود دارد که در آنها خرابی بتن پیش ساخته مستقیماً به دلیل کاهش پیوستگی می باشد و در حالت کلی در طراحی آتش، مقاومت های پیوستگی کنترل نمی شوند. *Fellinger (2004)* می گوید که خوب است کف هر واحد را در طول انتقال نیروهای پیش تنیدگی عایق بندی کنیم.

|   |  |            |            |            |            |            |            |            |  |        |
|---|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|--------|
| <b>ملاحظات طراحی سازه های بتنی در برابر آتش</b> |  |            |            |            |            |            |            |            |  |        |
| صفحه: ۴   |  | <i>DEP</i> | <i>PRJ</i> | <i>CAT</i> | <i>DIS</i> | <i>TYP</i> | <i>SEQ</i> | <i>REV</i> |  | پروژه: |
| شهریور ۹۴                                       |  |            |            |            |            |            |            | ۰۱         |  |        |

### ۳- پکیدگی

پکیدگی در آتش سوزی به دو شکل اتفاق می افتد. اولی پکیدگی انفجاری<sup>۱</sup> است که در مراحل اولیه آتش سوزی اتفاق می افتد و منجر به کاهش پوشش بتن آرماتور اصلی شده و در نتیجه باعث سرعت بخشیدن به افزایش دما و در پی آن کاهش مقاومت و کاهش عملکرد سازه در برابر آتش می شود. دومین حالت تحت عنوان ریزش<sup>۲</sup> شناخته می شود که طی آن بتن در اثر کاهش پیوستگی و مقاومت، به صورت تدریجی ریزش پیدا می کند. این نوع پکیدگی در مراحل انتهایی آتش سوزی یا اواخر آزمایش کوره استاندارد اتفاق می افتد و به ندرت بحرانی است. اندازه ی تاثیرات پکیدگی هم با استفاده از نتایج آزمایشات واقعی و هم در شبیه سازی های کامپیوتری مشخص شده اند. (Aldea, Franssen, Dotreppe (1997) و Purkiss, Morris, Connolly (1996) نتایج حاصل از دو سری آزمایش را که در مرکز تحقیقات آتش<sup>۳</sup> 1964-1976 انجام شده اند، گزارش می کنند. بیشتر ستون ها حدود 30% از مساحت سطح مقطع را از دست دادند و نتوانستند به حدی از پایداری که از راهنمای طراحی آنها انتظار می رفت برسند. یک شبیه سازی کامپیوتری، (Mustapha 1994, Purkiss, Mustapha, 1995) نشان می دهد که کاهش مساحت سطح مقطع می تواند در حدود 40-50% باعث کاهش پایداری در برابر آتش شود. مکانیزم دقیق پکیدگی انفجاری هنوز مشخص نیست، اما می توان گفت که این نوع پکیدگی تحت تاثیر عوامل زیر می باشد:

#### ۳-۱- میزان رطوبت

بتنی که میزان رطوبت آن بالاست، احتمال پکیدگی آن هم بیشتر است، چرا که یکی از مکانیزم های پکیدگی به علت فشار بسیار زیادی که در اثر بخار آب در نزدیکی سطح بتن ایجاد و منجر به خرابی کششی بتن می شود، می باشد. تاکنون مشخص شده است که ایزوترم بحرانی که حباب فشار را تولید می کند ایزوترم 200°C است، نه 100°C. حد بالایی میزان رطوبت 3% که EN1992-1-2 اشاره می کند که در رطوبت های پایین تر از آن پکیدگی اتفاق نمی افتد، باید رعایت شود. طرح اصلی ارائه شده توسط Meyer – Ottens (1975) رعایت حدود تنش را هم توصیه می کند.

<sup>۱</sup> (explosive spalling)

<sup>۲</sup> (sloughing)

<sup>۳</sup> (Fire Research station)

| ملاحظات طراحی سازه های بتنی در برابر آتش |  |     |     |     |     |     |     | گروه مهندسين<br>دانا |     |
|--|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|-----|
| صفحه: ۵                                  |  | DEP | PRJ | CAT | DIS | TYP | SEQ |                      | REV |
| شهریور ۹۴                                |  |     |     |     |     |     |     |                      | ۰۱  |

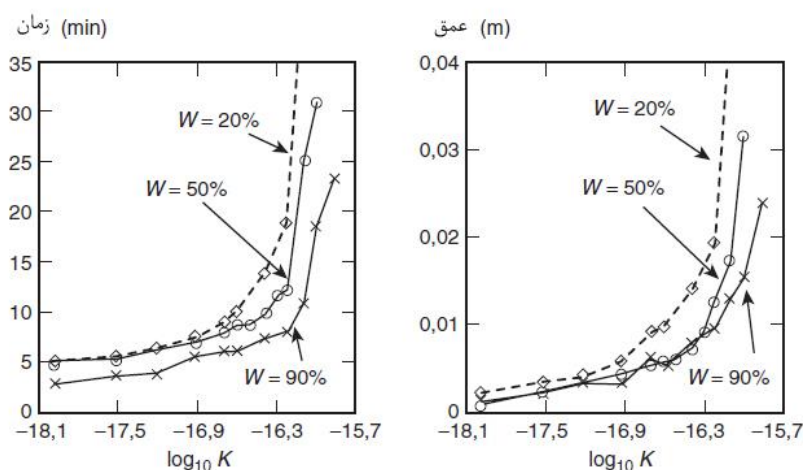
### ۳-۲- تخلخل و نفوذ پذیری بتن

بتنی که تخلخل بالا و بنابراین نفوذپذیری بالایی دارد، بخارهای ایجاد شده در مقطع را آزاد می کند. گرچه لازم به ذکر است که بتن متخلخل از نظر دوام عملکرد ضعیفی دارد. همچنین روشن شده است که ترکیبی از میزان رطوبت و تخلخل است که حالت بحرانی را سبب می شود. آنچه در شکل 6.7 نشان داده شده است برگرفته از *Tenchev, Purnell* می باشد. مقادیر میزان آب  $W$  (شکل 6.7) با توجه به رطوبت داخلی  $80 \text{ kg/m}^3$  در  $W = 50\%$  مشخص شده اند. میزان آب  $80 \text{ kg/m}^3$  معادل است با میزان درصد رطوبت با وزن 3.3. برای یک بتن همگن می توان با استفاده از یک مدل جفتی انتقال جرم و حرارت، فشار منفذی را تعیین کرد. و در ادامه با استفاده از آن می توان مراحل و زمان های پکیدگی را تعیین کرد. نتایج زیر در *Tenchev, Li, Purkiss (2001c)* آورده شده اند. زمان پکیدگی  $t_{spall}$  و عمق پکیدگی  $x_{spall}$  به صورت زیر بدست می آیند:

$$t_{spall} = (382 - 3.34S + 0.00538S^2 - 0.00054S^3) \text{ por} \quad (1)$$

$$x_{spall} = (1.09 - 0.0085S) \text{ por} \quad (2)$$

که در آن  $Por$  تخلخل بتن،  $S$  رطوبت اشباع داخلی به درصد می باشند. در معادلات خلاصه شده ی (۱) و (۲) فرض شده است که تخلخل داخلی 0.08 به نفوذپذیری داخلی  $8 \times 10^{-17} \text{ m}^2$  مربوط می شود.



شکل ۱: زمان و عمق پکیدگی به صورت تابعی از نفوذپذیری  $k \text{ (m}^2\text{)}$  برای سه سطح از میزان آب آزاد داخلی

بتن  $\rho_L$

|   |  |            |            |            |            |            |            |  |        |
|---|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|--------|
| <b>ملاحظات طراحی سازه های بتنی در برابر آتش</b> |  |            |            |            |            |            |            |  |        |
| صفحه: ۶   |  | <i>DEP</i> | <i>PRJ</i> | <i>CAT</i> | <i>DIS</i> | <i>TYP</i> | <i>SEQ</i> |  | پروژه: |
| شهریور ۹۴                                       |  |            |            |            |            |            |            |  | ۰۱     |

### ۳-۳- شرایط تنش

طبق شواهد حاصل از آزمایشات آتش و مشاهدات صورت گرفته در آتش سوزی ها، پکیدگی در مناطقی که مقطع بتنی تحت فشار است، جدی تر است، از جمله نواحی لنگر خمشی در تیرها یا دال ها یا ستون ها. علت این موضوع تا اندازه ای می تواند به این دلیل باشد که در مناطق فشاری، ترک ها نمی توانند باز شوند تا فشار داخلی را آزاد کنند.

### ۳-۴- نوع سنگدانه

طبق شواهد موجود، سنگدانه ای که احتمال پکیدگی را افزایش می دهد، سنگدانه سیلیسی می باشد، در حالی که سنگدانه ی آهکی و بتن سبک کمترین احتمال پکیدگی را دارند. این موضوع تا حدودی به تخلخل خود سنگدانه مربوط می شود یعنی مثلاً سنگدانه ی سیلیسی نسبت به دیگر انواع سنگدانه غیر قابل نفوذ می باشد و به این ترتیب انتقال رطوبت باید در داخل ملات سیمان صورت گیرد. گرچه شواهدی موجود است که نشان می دهد که سنگدانه های آهکی و سبک هم می تواند ایجاد مشکل کنند. این مساله به خصوص در مورد بتن های جوان صدق می کند که در آنها ساختار حفره های میان سنگدانه ها می تواند شرایطی را ایجاد کند که رطوبت در آن محبوس شود.

### ۳-۵- پروفیل مقطع و پوشش

شواهد موجود نشان می دهد که احتمال وقوع پکیدگی در مقاطع تیز نسبت به مقاطع با گوشه های گرد شده و پخ زده بیشتر است. به علاوه پکیدگی در مقاطع نازک بیشتر اتفاق می افتد. علت این موضوع تا اندازه ای به این مساله مربوط می شود که عمق پکیدگی بیشتر از قطر مقطع بوده و از این جهت شرایط بدتر می شود، علت دیگری که برای این موضوع برشمرده می شود این است که ذخیره هوایی خنک کمتری برای انتقال رطوبت وجود دارد. پوشش های زیاد بتن هم می توانند باعث افزایش میزان پکیدگی شوند. بنابراین آیین نامه های طراحی در جاهایی که استفاده از پوشش زیاد بتن جهت پایین نگه داشتن دمای آرماتورها لازم است، مکرراً ضوابطی را وضع نموده اند. این ضوابط معمولاً استفاده از یک مش سبک با سیم های 4mm و فاصله ی 100mm در سطح پوشش بتن در شرایطی که فاصله ی محوری از 70mm تجاوز می کند را توصیه می کنند تا پوشش حفظ شود. در موارد بسیاری قرار دادن این مش اضافی کار دشواری است و در واقع در کارگاه غالباً این کار صورت نمی گیرد. آزمایش ها

|   |  |            |            |            |            |            |            |            |  |        |
|---|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--|--------|
| <b>ملاحظات طراحی سازه های بتنی در برابر آتش</b> |  |            |            |            |            |            |            |            |  |        |
| صفحه: ۷   |  | <i>DEP</i> | <i>PRJ</i> | <i>CAT</i> | <i>DIS</i> | <i>TYP</i> | <i>SEQ</i> | <i>REV</i> |  | پروژه: |
| شهریور ۹۴                                       |  |            |            |            |            |            |            | ۰۱         |  |        |

نشان داده اند که در جاهایی که پوشش بتن زیاد است، لزوماً نیازی به داشتن پریود مقاومتی بالای 4 ساعت در برابر آتش نیست.

### ۳-۶- نرخ گرمایش

هر چه شار گرمایی بیشتر باشد، فشارهای منفذی شانس کمتری را برای انتقال به مناطق نسبتاً سرد داخلی المان بتنی دارند. بنابراین نرخ گرمایش در بررسی احتمال پکیدگی بحرانی می باشد. فلذا یک منحنی از دسته مواد هیدروکربنی نسبت به یک آتش از دسته مواد سلولوزی می تواند بسیار بسیار بحرانی تر باشد. اثر نرخ گرمایش بر اساس آزمایش هایی که *Ali, OConnor, Abu-Tair (2001)* روی ستون های بتنی پر مقاومت انجام دادند، مشخص شد. طبق آزمایش های آنها میزان پکیدگی در نرخ گرمایش های پایین در مقایسه با نرخ های بالا، کمتر می باشد. اما نتیجه ی مهم تری که گرفتند این بود که این اثر به سطح بار وابسته نیست. نرخ گرمایش بالا در آزمایشات به *BS 476* بخش 20 مربوط بود و نرخ گرمایش پایین به *BS 476* تا دمایی در حدود  $300^{\circ}\text{C}$  مربوط بود و بعد از آن تقریباً به صورت خطی و با نرخ  $75^{\circ}\text{C}/\text{min}$  بود.

### ۳-۷- مقاومت بتن

برخلاف آنچه در بالا گفته شد بتن های با مقاومت معمولی ( $f_{ck} \leq 60\text{MPa}$ ) پکیده نمی شوند. البته اگر مقاومت بتنی از میزانی که برای آن طراحی شده است خیلی بیشتر باشد، مشکلاتی به وجود می آید. در آزمایش آتش *Cardington* روی سازه ی قاب بتنی، کف بتنی با سنگدانه از نوع خرده سنگ برای رده ی *C30/37* طراحی شده بود. میزان واقعی مقاومت به هنگام آزمایش (مکعب)  $61\text{Mpa}$  یا در حدود (استوانه ای)  $50\text{Mpa}$  بود. میزان رطوبت نیز 3.8% و میزان نفوذپذیری  $6.75 \times 10^{-17} \text{m}^2$  بود. در این آزمایش دال به شدت در اثر پکیدگی آسیب دید. این مشکلات برای بتن های با مقاومت بالا بیشتر خواهد بود.