مجله علمی ــ پژوهشی
«عــمــران مــدرس»
دوره دهم، شماره۳، پاییز ۱۳۸۹

اثر تغییر شکل‌های تابع زمان بتن بر نیروی پیش تنیدگی در مخازن استوانه‌ای

کورش شاهوردیانی[1*]، علیرضا رهایی[2]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- استاد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

shahver@aut.ac.ir

(دریافت مقاله: بهمن ۱۳۸۵، دریافت پذیرش: مهر ۱۳۸۹)

چکیده- در مخازن حجیم بتنی برای غلبه بر کشش‌های ایجاد شده در جدار و جلوگیری از ترک-خوردگی، از تکنیک پیش‌تنیدگی استفاده می‌شود. در این ارتباط، مسئله‌ی برآورد افت‌های احتمالی نیروی پیش‌تنیدگی، با توجه به مشخصات مسیر و هندسه‌ی کابل‌ها، اولویت خاصی دارد. در مقاله‌ی حاضر، با مدل‌سازی عددی به روش اجزاء محدود و استفاده از مدل‌های مختلف برای وارفتگی بتن و وادادگی فولاد، تغییرات نیروی پیش‌تنیدگی محیطی، در جدار استوانه‌ای شکل مخازن بتن پیش‌تنیده، بررسی شده است. سنجش اعتبار مدل عددی نیز با داده‌های تجربی موجود از آزمایش یک تیر پیش-تنیده انجام شده است. در این راستا، اثر پیش‌تنیدگی قائم و ضخامت جدار، مطالعه شده و مدل‌های مختلف وارفتگی بتن با هم مقایسه شده‌اند. نتایج حاصل، بروز افت ۱۵ تا ۲۲ درصدی را پس از حدود ۱۳ سال نشان می‌دهد که در آن نقش وادادگی فولاد اهمیت بیش‌تری دارد. با مدل وارفتگی پیشنهادی برای آیین‌نامه‌ی بتن ایران، افتی در حد میانگین دو مقدار مذکور نتیجه می‌شود. بر این اساس، در محاسبه‌ی مجموع افت‌های نیروی پیش‌تنیدگی، اعمال ضریب جدیدی بر افت حاصل از وارفتگی فولاد توصیه شده است.

کلید واژگان: افت پیش‌تنیدگی ، مخزن استوانه‌ای، وارفتگی بتن، وادادگی فولاد

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۱- مقدمه

مخازن جمع‌آوری و ذخیره‌سازی مواد سیال، از اجزای مهم و شریان‌های حیاتی و امکانات و تجهیزات صنعتی *به‌شمار* می‌روند. استفاده از این گونه سازه‌ها، از دیرباز برای تأمین آب مورد نیاز شبکه‌های آب‌رسانی محلی متداول بوده؛ با پیشرفت فناوری، افزایش جمعیت، توسعه‌ی شهرها و افزایش نیازهای جامعه، در موارد گوناگون دیگر، مانند تصفیه‌ی فاضلاب ذخیره‌سازی مواد سوختی، انبار کردن محصولات شیمیایی و پتروشیمی، نیروگاه‌های هسته‌ای و .... نیز گسترش یافته است.

بر حسب حجم، شکل، موقعیت استقرار مخزن و خصوصیات مواد ذخیره شده در آن، می‌توان از مصالح بنایی، انواع فولاد، بتن مسلح یا بتن پیش تنیده، در ساخت مخزن استفاده کرد. در برخی موارد، برای تقویت یا جلوگیری از اثر نامساعد محتویات مخزن بر جدار، مخازن به صورت دو جداره و با دو یا چند نوع مصالح مختلف ساخته می‌شوند.

در طرح و اجرای مخازن، ضوابط و معیارهای مشخص در مورد بارگذاری، رفتار مصالح، اثر زلزله بر سازه، مشخصات ساختگاه، نشد و آب‌بندی و هم‌چنین آثار زیست‌محیطی باید در نظر گرفته شوند.

سال‌ها است که با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی، از مخازن استوانه‌ای ساخته شده از بتن پیش‌تنیده برای ذخیره کردن آب‌آشامیدنی، مواد نفتی، مواد شیمیایی، زباله‌های خطرناک و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری استفاده شده و مزایای آن‌ها از جنبه‌های مختلف بررسی شده است [۱۹]. با این وجود، هنوز اثر تغییر شکل‌های بلند مدت بتن، مانند وارفتگی و جمع‌شدگی، بر نیروی پیش‌تنیدگی، به‌خصوص پیش‌تنیدگی محیطی، به‌طور کامل شناخته نشده است. مطالعات انجام شده در مورد جمع‌شدگی بتن نشان داده است که با افزایش نسبت حجم به سطح، روند خشک شدن، آرام شده و جمع‌شدگی و وارفتگی حاصل از آن به مقدارقابل توجهی کاهش می‌یابد [۱۱]. نتایج اولیه‌ی حاصل از اندازه‌گیری‌های محلی در یکی از نیروگاه‌های بخار سوئد در سال ۲۰۰٤ نیز روند آهسته خشک شدن را تأیید می‌کند [٤]. از سوی دیگر، گروهی از محققان اثر سن بتن به هنگام بارگذاری را بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که افزایش سن بارگذاری سبب کاهش مقدار وارفتگی می‌شود [٦،١٤،١٦]. بر این اساس، نسبت کرنش خزشی بتن که در سنین ۲ سالگی و ۲۸ روزگی بارگذاری شده بین ۰/٤ و ۰/٥ گزارش شده است [٦]. مطالعات نشان داده است که هم-زمانی اعمال بار و افزایش دما، مقدار وارفتگی را به شدت افزایش می‌دهد[۱۳]. از این رو، در روابط ارائه شده در Euro code 2 و یا CEB برای خزش بتن، با اصلاح پارامترهای مربوط به سن بتن به هنگام اعمال پیش‌تنیدگی و نیز زمان براورد خزش بر حسب دمای حاکم، اثر تغییرات دما بر خزش عضو بتنی منظور شده است [۲، ۸].

در جدار مخازن معمولاً پیش‌تنیدگی در امتداد دو محور اعمال می‌شود و این مسئله تا حدی بر سازوکار خزش اثر می‌گذارد. از آزمایش‌های محدودی که در این زمینه صورت گرفته است چنین بر می‌آید که افزایش تنش جانبی سبب کاهش وارفتگی می‌شود ولی اثر آن ناچیز است[۱۰،۱۲،۲۰]. به علاوه، نبود اختلاف در افت نیروی پیش‌تنیدگی در دال-هایی که در یک و یا دو امتداد پیش تنیده شده‌اند گزارش شده است. [۹، ۱۸]. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که هرچند افزایش میزان فولاد، با کاهش افت پیش‌تنیدگی همراه است ولی همیشه کاهش تنش در بتن را به دنبال ندارد [۳، ۱۵]. در سال ۲۰۰۵، Anderson در مقاله‌ی خود، بر مبنای نتایج حاصل از سی‌سال اندازه‌گیری افت پیش‌تنیدگی در

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

مخازن بتن پیش‌تنیده، میزان افت را بین ۵ تا ۱۰٪ اعلام کرده و مغایرت آن با مقادیر منظور شده در طراحی را تأکید کرده است [٤]. وی هم‌چنین، روند پدید آمدن افت مذکور را با در نظر گرفتن اثر جمع‌شدگی، وارفتگی و سن بتن، شعاع متوسط جدار مخزن، دمای محیط و وادادگی کابل‌ها توجیه کرده است.

با توجه به اهمیت نیروی پیش‌تنیدگی در پایداری جدار و آب‌بندی مخزن، ضرورت براورد دقیق میزان افت‌های مختلف و عملکرد متقابل آن‌ها احساس می‌شود. از این رو در این مقاله نقش وارفتگی بتن و وادادگی فولاد بر تغییرات نیروی پیش‌تنیدگی بررسی می‌شود.

۲- مکانیزم باربری در مخزن استوانه‌ای بتن پیش‌تنیده‌ی زمینی

در مخزنی استوانه‌ای با محور قائم، به شعاع r، ضخامت جدار e و حاوی مایعی با وزن مخصوص γ، تا ارتفاع h، جدار تحت اثر فشار هیدروستاتیک $p(y)=\gamma(h-y)$ منبسط شده و تنش کششی $f_t = pr/e$ در آن پدید می‌آید. برای نگه‌داشتن بتن در حالت فشار، نیروی پیش‌تنیدگی محیطی مورد نیاز را می‌توان از رابطه‌ی زیر به‌دست آورد:

$$F(y) \geq e f_a + r\gamma(h-y) \qquad (۱)$$

اختلاف تغییرشکل شعاعی در تراز نوارهای افقی مخزن، موجب بروز تلاشهای خمشی قائم می‌شود، که به‌خصوص در حالت اتصال گیردار جدار به کف مخزن، اهمیت زیادی دارند. با تعریف $a=\sqrt[4]{e^2R^2/3}$ بیش‌ترین مقدار لنگر خمشی قائم در تراز پای جدار، برابر است با:

$$M(0)=-\frac{a^2}{2}\left[p(h)+\{p(0)-p(h)\}\left(1-\frac{a}{h}\right)\right] \qquad (۲)$$

کاهش سریع این مقدار به گونه‌ای است که در تراز $\frac{\pi a}{2}$ به $M_m=-0.208M(0)$ می‌رسد.

تامین مقاومت در برابر کشش حاصل از خمش قائم، بوسیله آرماتورهای پاسیو یا پیش تنیدگی قائم باید به گونه ای صورت پذیرد که از ایجاد ترک در امتداد کابلهای افقی جلوگیری شود.

۲- افت‌های نیروی پیش‌تنیدگی

در سیستم‌های پیش‌تنیده امکان تنظیم تنش‌ها متناسب با عملکرد سازه وجود دارد؛ البته باید توجه داشت که مقدار نیروی پیش‌تنیدگی و تنش‌های موجود با گذشت زمان و در مراحل مختلف بارگذاری تغییر می‌کنند.

عوامل شناخته شده و مؤثر بر تغییرات نیروی پیش-تنیدگی را می توان به دو گروه عوامل با اثر کوتاه مدت، شامل تغییر شکل الاستیک، اصطکاک و لغزش مخروط مهاری و عوامل با اثر بلندمدت شامل جمع‌شدگی و وارفتگی بتن، وادادگی فولاد و حرارت، تقسیم کرد.

تعدد عوامل مؤثر و تأثیر متقابل آن‌ها بر یک‌دیگر، محاسبه‌ی دقیق میزان افت نیروی پیش‌تنیدگی را بسیار دشوار می‌سازد. ازاین‌رو، در آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های محاسباتی، برای این منظور، روابط تجربی مختلفی ارائه می‌شود [۱، ۲، ۵، ۸، ۱۷]. در جدول ۱ خلاصه‌ای از این گونه روابط درج شده است.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

جدول ۱ مدل‌های مختلف برای وارفتگی بتن

ACI 209	$\varepsilon_c(t) = J(t,t')\sigma$ $J(t,t') = \frac{1}{E(t')} \times (1+\varphi(t,t'))$ $\varepsilon_c(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t')}$ $E(t') = 4734\sqrt{f'_c}\left(\frac{t'}{\alpha+\beta t'}\right)$ $\varepsilon_{fl}(t) = \frac{\sigma(t)}{E(t')}\varphi(t,t')$ $\varphi(t,t') = \frac{(t-t')^{0.6}}{10+(t-t')^{0.6}}\varphi_\infty(t')$
BPEL 91	$\varepsilon_c(t) = J(t,t')\sigma$ $J(t,t') = \frac{1}{E_c(t')} + \frac{\varphi(t,t')}{E_{i28}}$ $\varepsilon_c(t) = \frac{\sigma(t)}{E_c(t')}$ $E_c(t') = 11000\sqrt[3]{f_c(t')}$ $\varepsilon_{fl}(t) = \frac{\sigma(t)}{E_{i28}}\varphi(t,t')$ $\varphi(t,t') = \frac{(t-t')^{0.3}}{5\sqrt{r_m}+(t-t')^{0.3}}K_{fl}(t')$
Euro code 2	$\varepsilon_c(t) = J(t,t')\sigma$ $J(t,t') = \frac{1}{E_c(t')} + \frac{\varphi(t,t')}{E_{i28}}$ $\varepsilon_c(t) = \frac{\sigma(t)}{E_c(t')}$ $E_c(t') = 9975\sqrt[3]{f_c(t')}$ $\varepsilon_{fl}(t) = \frac{\sigma(t)}{E_{i28}}\varphi(t,t')$ $\varphi(t,t') = \left(\frac{(t-t')}{\beta_H+(t-t')}\right)^{0.3}\varphi_0(t')$

در همه‌ی روابط جدول مذکور، کرنش حاصل از اعمال بار، $\varepsilon_c(t)$، که شامل کرنش‌های لحظه‌ای $\varepsilon_e(t)$ و وارفتگی $\varepsilon_{fl}(t)$ است، به صورت تابعی از نرمی $J(t,t')$ و تنش σ بیان شده است. در روابط ACI، کرنش لحظه‌ای برحسب $E(t')$، مدول الاستیسیته مماسی بتن در سن 't'، که تابع مقاومت متوسط ۲۸ روزه، نوع سیمان (α) و چگونگی عمل‌آوری بتن (β) است، تعیین می‌شود.

کرنش وارفتگی برحسب مقدار ضریب وارفتگی $\varphi(t,t')$ و ضریب وارفتگی نهایی $\varphi_\infty(t')$ است. با در نظر گرفتن اثر سن بتن هنگام اعمال بار، رطوبت نسبی محیط، اندازه و شکل عضو بتنی، روانی بتن تازه، نسبت وزن ریزدانه به کل مصالح سنگی و درصد حباب هوای موجود در بتن بر آورد می‌شود.

در روابط BPEL که برای تنش‌های تا ۷۰٪ مقاومت بتن و شرایط رطوبتی و حرارتی ثابت ارائه شده‌اند، کرنش لحظه‌ای بر حسب مدول الاستیسیته بتن در زمان اعمال بار $E_i(t')$ محاسبه می‌شود. کرنش وارفتگی $\varepsilon_{fl}(t)$ بر پایه‌ی کرنش لحظه‌ای در بتن ۲۸ روزه $\varepsilon_{ic} = \frac{\sigma(t)}{E_{i28}}$ و ضریب وارفتگی $\varphi(t,t')$ برآورد می‌شود E_{i28} مدول الاستیسیته مماسی بتن در سن ۲۸ روز است. برای تنش-های بزرگ‌تر از ۵۰٪ مقاومت بتن، کرنش لحظه‌ای تا ۱۰٪ افزایش داده می‌شود. ضریب وارفتگی $\varphi(t,t')$ تابع مدت بارگذاری (t-t')، شعاع متوسط قطعه r_m و ضریب $K_{fl}(t')$ است که به میزان فولاد موجود در قطعه‌ی بتنی، ضریب وارفتگی بلند مدت بتن غیرمسلح، شرایط محیطی، اندازه‌ی قطعه‌ی بتنی و میزان رسیده بودن بتن در زمان بارگذاری وابسته است.

روابط Eurocode 2 برای بتن‌هایی ارائه شده است که پس از حداقل ۵ روز عمل اوری، مقاومتی بین ۱۲ تا ۶۰ مگاپاسکال دارند و در رطوبت نسبی ۴۰٪ تا ۱۰۰٪ و میانگین دمای ۱۰ تا ۲۰ درجه‌ی سلسیوس، بیش از ۴۵٪ مقاومت خود بارگذاری نمی‌شوند. در روابط اخیر، کرنش لحظه‌ای، تابع مدول الاستیسیته بتن در زمان اعمال بار $E_i(t')$ بوده و کرنش وارفتگی $\varepsilon_{fl}(t)$ بر پایه ضریب وارفتگی $\varphi(t,t')$ و مدول الاستیسیته مماسی ۲۸ روزه بتن E_{i28} محاسبه می‌شود. ضریب وارفتگی $\varphi(t,t')$ تابع مدت بارگذاری شعاع متوسط قطعه، رطوبت نسبی، مقاومت بتن، و نوع سیمان β_H، رطوبت نسبی محیط و سن بتن در زمان بارگذاری ($\varphi_0(t')$)

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

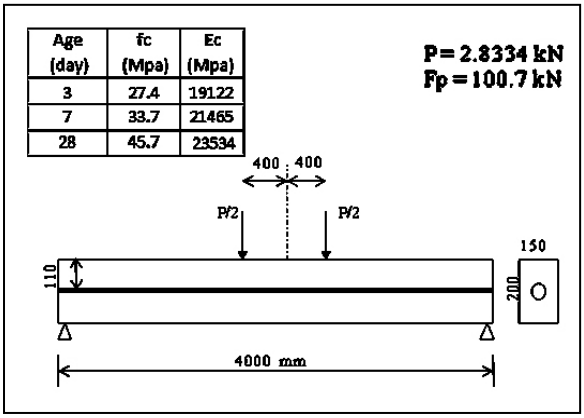
است. طبق آیین‌نامه‌ی یادشده، ضریب وارفتگی بلند مدت $\varphi(\infty, t')$ برای تنش‌های بزرگ‌تر از ٤٥٪ مقاومت بتن، تا ٧٠٪ افزایش داده می‌شود. برای منظور کردن اثر نوسان دما در طول عمر قطعه‌ی بتنی، در محاسبه وارفتگی، به جای سن واقعی از سن اصلاح شده استفاده می‌شود.

۲- مدل‌سازی عددی

مطالعه‌ی اثر تغییر شکلهای تابع زمانی بتن و فولاد بر افت-های بلند مدت نیروی پیش‌تنیدگی در مخازن استوانه ای شکل از بتن پیش‌تنیده، با استفاده از روش اجزاء محدود و نرم‌افزار ANSYS انجام می‌شود. پیش از پرداختن به تحلیل مخازن مورد نظر، اعتبار مدل‌سازی عددی روی نمونه‌های ساده‌تر سنجیده می‌شود.

۲-۱- اثر وارفتگی بتن بر تیر پیش‌تنیده

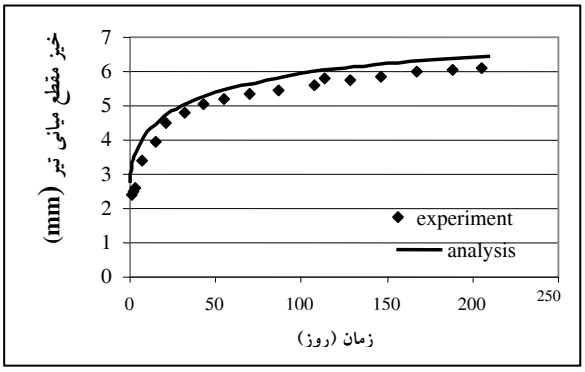
کنترل مدل عددی با داده‌های تجربی برگرفته از مقاله‌ی Chiu et al. 1996 [۷] در مورد اثر وارفتگی بتن و وادادگی فولاد پیش‌تنیدگی در تیرهای ساده‌ی بتن پیش‌تنیده (شکل ۱)، انجام شده است. شرایط آزمایش به گونه‌ای بوده که اثر جمع‌شدگی ناچیز باشد.



شکل ۱ مشخصات تیر بتنی و موقعیت کابل پیش‌تنیدگی و بارگذاری

مقاومت و مدول الاستیسیته‌ی بتن در سنین ۳، ۷ و۲۸ روز در جدول نشان داده شده و فولاد پیش‌تنیدگی از نوع پرمقاومت با وادادگی کم و با قطر ۱۲٫۸ میلی‌متر بوده است. نیروی پیش‌تنیدگی معادل ۱۰۰/۷ کیلونیوتن در سن ۳ روزگی به تیر اعمال شده است. برای تشدید اثر خزش، دو نیروی متمرکز مطابق شکل نیز به تیر اعمال شده و خیز تیر در زمان‌های مختلف و در یک دوره ۲۱۰ روزه اندازه‌گیری شده است [۷].

برای مدل‌سازی بتن و فولاد به ترتیب از المان‌های solid45 و link8 استفاده شده و اثر پیش‌تنیدگی با تعریف کرنش اولیه، ۰/۰۰۵ در المان link8 اعمال شده است. شکل ۲ تغییرات مقدار خیز تیر با زمان و انطباق خوب نتایج مدل عددی با مقادیر تجربی را نشان می‌دهد.

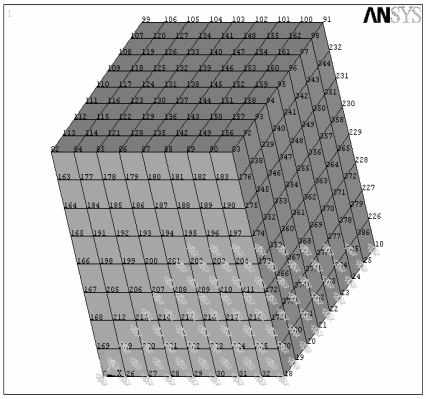


شکل ۲ مقایسه‌ی نتایج حاصل از مطالعات تجربی و عددی

۲-۲- بررسی وارفتگی در یک مکعب بتنی

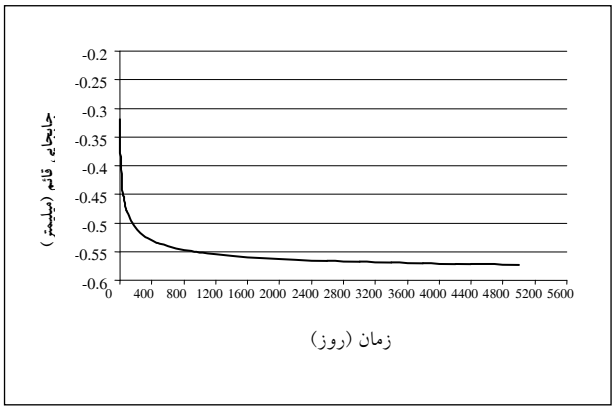
وارفتگی در مکعبی بتنی به ضلع ٤٠٠ میلی‌متر و مقاومت مشخصه‌ی بتن ۲۵ مگاپاسکال، که در سن ۷ روز تحت اثر فشار ثابت ١٦ مگاپاسکال در امتداد قائم قرار گرفته با استفاده از المان solid65 بررسی شده است (شکل ۳). نتایج به‌دست آمده از تحلیل، شامل روند تغییر مکان قائم نقاط مختلف، با مقادیرحاصل از مدل وارفتگیACI 209 مقایسه شده است.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]



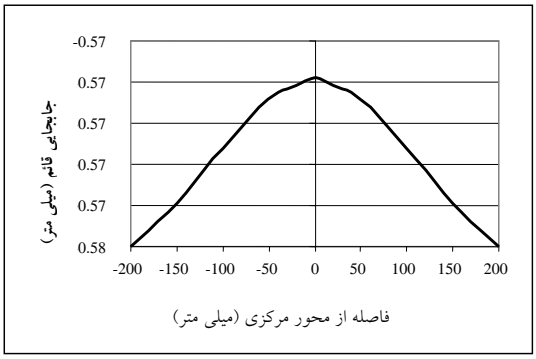
شکل ۳ مدل‌سازی مکعب بتنی

شکل ٤ جابه‌جایی نقطه‌ی میانی سطح بالایی مکعب در اثر وارفتگی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که آهنگ جابه‌جایی در ۱/۵ سال اول بارگذاری قابل‌توجه بوده و سپس به تدریج کند می‌شود به گونه‌ای که پس از حدود ٦/۵ سال ناچیز می‌شود.

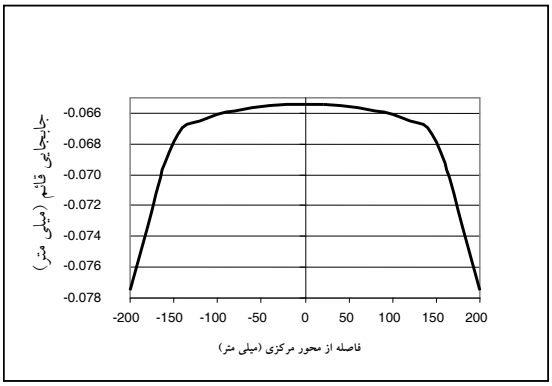


شکل ٤ جابه‌جایی قائم در اثر وارفتگی بتن

شکل ۵، تمرکز این اثر را در کناره‌ها و گوشه‌های نمونه‌ی مکعبی نشان می‌دهد. هم‌چنین، یکنواخت شدن تغییرمکان‌ها، با دور شدن از محل وارد شدن فشار سطحی، به خوبی مشاهده می‌شود (شکل ۵- الف و ب).



الف



ب

شکل ۵ توزیع جابه‌جایی قائم در عرض مکعب در تراز سطح بالایی (الف)، در نزدیکی تکیه‌گاه (ب)

۲-۳- مدل مخازن بتن پیش‌تنیده

برای بررسی تغییرات تابع زمان نیروی پیش‌تنیدگی محیطی، مخازن استوانه‌ای شکل به شعاع ۲۵ متر، ارتفاع ۱۰ متر و ضخامت‌های جدار ۳۰۰، ۵۰۰ و ٦۰۰ میلی‌متر مستقر بر رادیه‌ی صلب و اتصال گیردار دیواره به کف، در نظر گرفته می‌شوند. مقاومت فشاری بتن ۲۵ مگاپاسکال و مقاومت فولادهای پیش‌تنیدگی و معمولی به ترتیب ۱۸۸۰ و ۳۰۰ مگاپاسکال اختیار شده است.

پوسته‌ی استوانه‌ای و فولادهای پیش‌تنیدگی به ترتیب با shell63 و link8 شبیه‌سازی شده و پیش‌تنیدگی محیطی با در نظر گرفتن کرنش اولیه‌ی ۰/۰۰۸ برای المان link8 اعمال شده است. برای تأمین کمینه پیش‌تنیدگی،

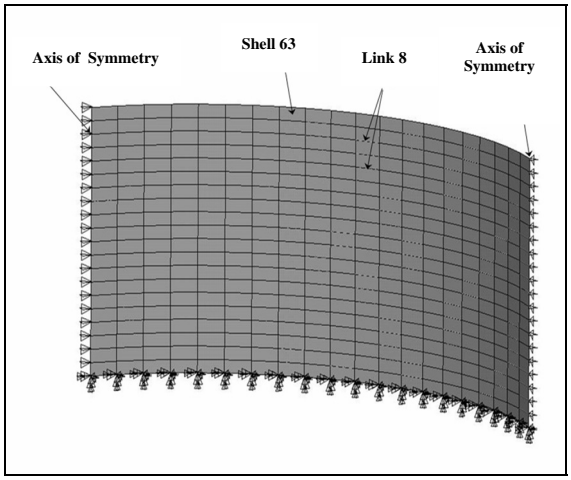
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

توزیع کابل‌ها در ارتفاع مخزن متناسب با فشار هیدروستاتیک داخلی، با فواصل ثابت یک متر و سطح مقطع متغیر بین ۲۳۷٦ و ۵۹۸ میلی‌متر مربع، از پایین به بالا، انجام شده است.

برای مطالعه‌ی اثر پیش‌تنیدگی قائم بر تغییرات پیش‌تنیدگی محیطی نیز در تعدادی از مدل‌ها، در امتداد قائم، از المان‌های link8 با سطح مقطع ۵۹۸ میلی‌متر مربع به فاصله ۱۹٦۰ میلی‌متر استفاده شده است. به علاوه، اثر زمان اعمال نیروی پیش‌تنیدگی بر وارفتگی، با تحلیل مدل‌های عددی در سنین ۷، ١٤، ۲۱، ۲۸ و ٤۲ روز تحت اثر پیش‌تنیدگی مطالعه شده است. با توجه به تقارن سازه و بارگذاری، با اعمال شرایط مرزی مناسب در صفحه‌های تقارن، تنها یک چهارم مخزن مدل‌سازی شده و تحلیل شده است(شکل٦). برای وارفتگی بتن، از مدل‌های ارائه شده در ACI 209 ، BPEL 91 ، EC2 و آیین‌نامه‌ی بتن ایران (آبا) [۲۱] و روابط جدول ۲ و برای در نظر گرفتن اثر وادادگی فولاد پیش‌تنیدگی، از روابط ACI 209 و CEB استفاده شده است.

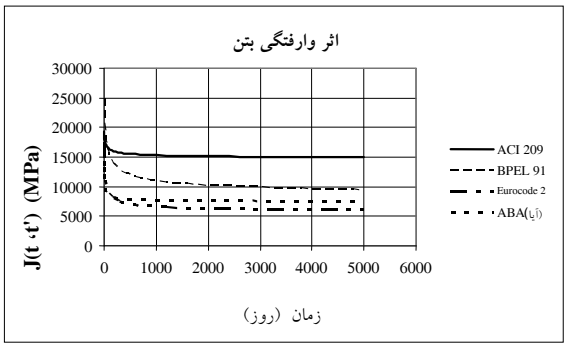
جدول ۲ مدل وارفتگی آیین‌نامه‌ی بتن ایران [۲۱]

آیین نامه بتن ایران	$\varepsilon_{cc}(t)=\phi\,\varepsilon_{ci}\,f(t)$ $\varepsilon_{ci}=\frac{f_{ci}}{E_{ci}}$ $\phi=(3.6-2.4RH^2)\frac{500+0.3e}{400+e}\frac{W}{500}\left(1+3\frac{W}{C}\right)(1.72-\log\sqrt{t_0})$, $1.5\le\phi\le 2$ $f(t)=\frac{\sqrt{t}}{\sqrt{t}+0.16\sqrt{r_m}}$

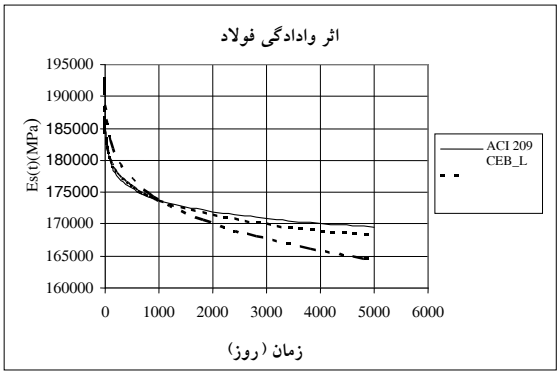


شکل ٦ نمونه‌ی مدل عددی ساخته شده‌ی مخزن

در شکل‌های ۷ و ۸، نتایج حاصل از مدل‌های رفتاری مختلف وارفتگی بتن و وادادگی فولاد با هم مقایسه شده است.



شکل ۷ مدل‌های مختلف وارفتگی بتن



شکل ۸ مدلهای مختلف وادادگی فولاد

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

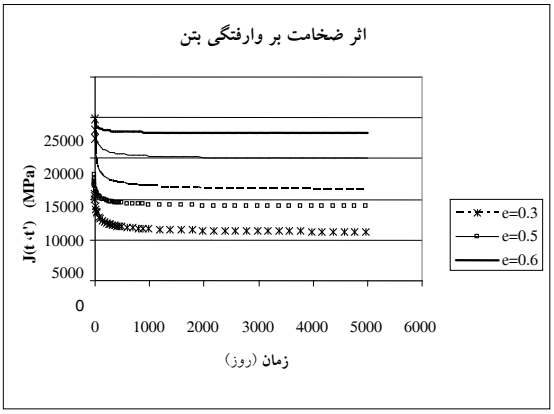
به طوری که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، با این‌که روند تأثیر وارفتگی بتن در همه‌ی نمونه‌ها تقریباً مشابه است، از نظر مقدار، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای به چشم می‌خورد. مدل EC2 بیش‌ترین و مدل ACI 209، کم‌ترین مقدار تأثیر را دارند. مدل BPEL 91، تقریباً میانگین اثر دو مدل ACI 209 و EC2 را دارد. مدل "آبا" در کوتاه‌مدت با مدل EC2 انطباق دارد ولی پس از حدود یک‌سال به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد که تقریباً برابر میانگین مقادیر براورد شده دو مدل EC2 و BPEL91 است. بر اساس نتایج مذکور، بیش‌ترین تأثیر وارفتگی بتن در ۳ سال اول پس از بارگذاری روی می‌دهد.

از شکل ۸ چنین برمی‌آید که در مورد فولادهای با وادادگی پایین، مدل‌های ACI209 و CEB تقریباً با هم انطباق دارند. تأثیر وادادگی در این گونه فولادها تا حدود ۱۲ سال و در فولادهای معمولی تا بیش از ۱۵ سال ادامه دارد.

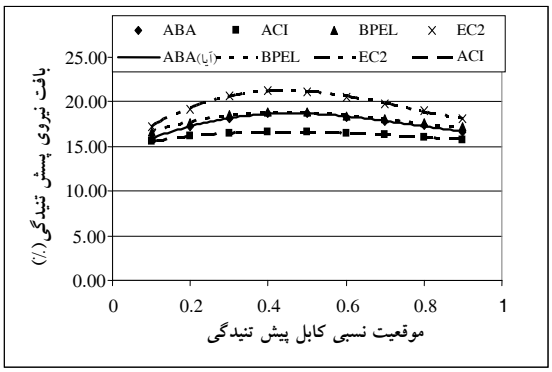
۳- اثر تغییرشکل‌های تابع زمان در مخازن بتن پیش‌تنیده

نتایج به‌دست آمده از تحلیل عددی مدل‌ها، نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت جدار از کمینه ضخامت اجرایی ۳۰۰ میلی‌متر به ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر، اثر وارفتگی بتن بر افت نیروی پیش‌تنیدگی به ترتیب ۳۶٪ و ٦٤٪ کاهش می‌یابد (شکل ۹).

شکل ۱۰ میزان افت نیروی پیش‌تنیدگی کابل‌های موجود در ترازهای مختلف را نمایش می‌دهد. به‌طوری‌که مشاهده می‌شود، افت حاصل از وارفتگی بتن و وادادگی فولاد در



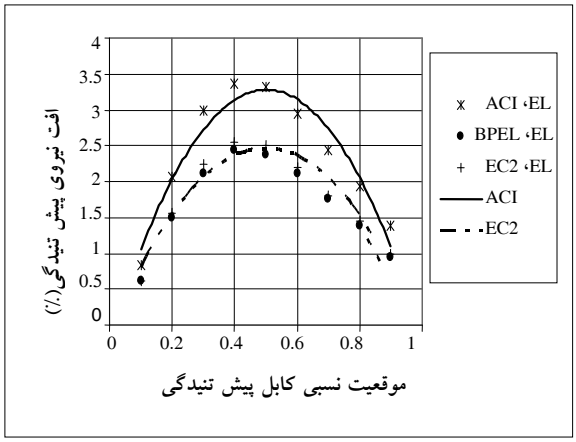
شکل ۹ اثر افزایش ضخامت جدار بر کاهش وارفتگی بتن



شکل ۱۰ تغییرات افت نیروی پیش‌تنیدگی در ارتفاع جدار مخزن حاصل از وارفتگی بتن و وادادگی فولاد

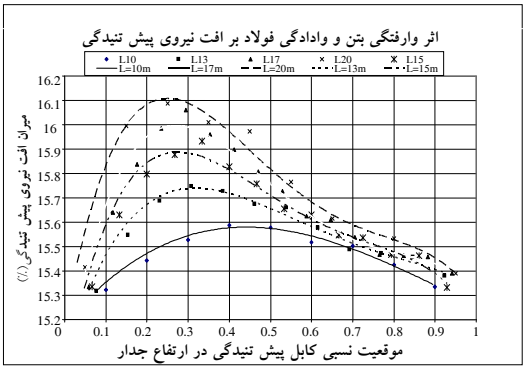
نمونه‌های مورد مطالعه بین ۱۵ تا ۲۲ درصد است. در این بین مدل ACI کم‌ترین مقدار و مدل EC2، بیش‌ترین مقدار تغییرات را نشان می‌دهند. نکته‌ی قابل توجه این‌که مدل "آبا"، میزان افتی در حدود میانگین افت‌های حاصل از آن دو را برآورد می‌کند. به‌علاوه، بیش‌ترین میزان افت در کابل‌هایی که در تراز نیمه میانی جدار قرار دارند، روی می‌دهد. همین روند در افت حاصل از تغییر شکل الاستیک پوسته، که بین ۰/٦٪ تا ۳/۵٪ است نیز دیده می‌شود (شکل ۱۱).

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

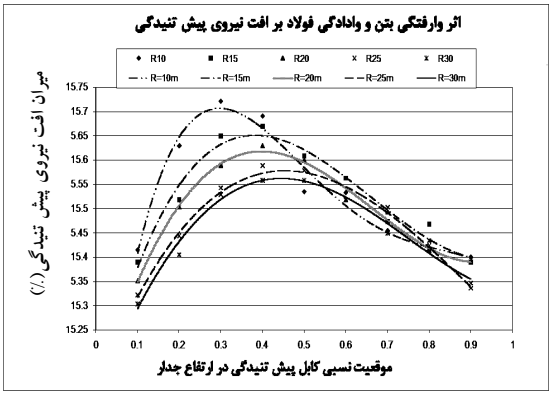


شکل ۱۱ تغییرات افت نیروی پیش‌تنیدگی در ارتفاع جدار مخزن حاصل از تغییرشکل الاستیک جدار

مطالعه‌ی نتایج حاصل از تحلیل مخازن با قطرها و ارتفاع‌های مختلف نشان می‌دهد که موقعیت کابل‌هایی که بیش‌ترین افت را دارند، تابع ارتفاع جدار و قطر مخزن است. در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود که برای مخزن به قطر ۵۰ متر، با افزایش ارتفاع جدار از ۱۰ به ۲۰ متر، موقعیت بروز بیش‌ترین افت پیش‌تنیدگی از ۵۰٪ ارتفاع به حدود ۲۵٪ ارتفاع تغییر می‌کند. مطالعه‌ای مشابه در مورد مخازنی به ارتفاع جدار ۱۰ متر، نشان می‌دهد که با تغییر قطر مخزن از ۲۰ تا ٦۰ متر، موقعیت بروز بیش‌ترین افت پیش‌تنیدگی از حدود ۳۰٪ ارتفاع به ٤۵٪ ارتفاع تغییر می‌کند (شکل ۱۳).



شکل ۱۲ تغییرات افت نیروی پیش تنیدگی در ارتفاع جدار مخزن حاصل از تغییر ارتفاع جدار



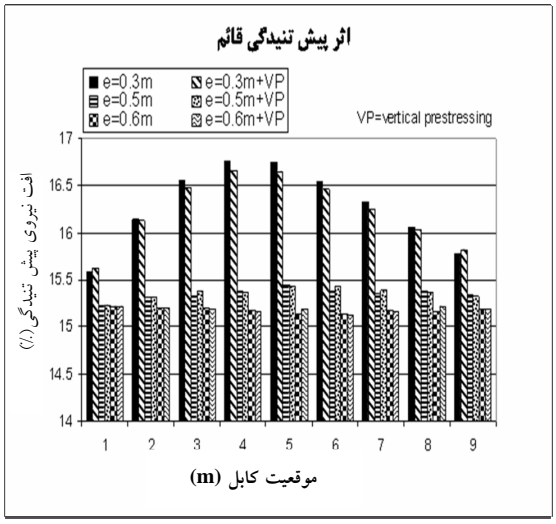
شکل ۱۳ تغییرات افت نیروی پیش‌تنیدگی در ارتفاع جدار مخزن حاصل از تغییر قطر مخزن

مطالعه‌ی اثر سن بتن در زمان اعمال پیش‌تنیدگی بر افت نیروی پیش‌تنیدگی، نشان می‌دهد که افزایش سن بتن موجب کاهش مقدار افت می‌شود (شکل ١٤). مقدار کاهش برای کابل‌های تراز میانی، که بیش‌ترین افت را دارند، حدود ۰/۲٪ کشش اولیه‌ی کابل است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در مخازن مورد مطالعه، بیش‌تر افت پیش‌تنیدگی دراثر وادادگی فولاد پدید می‌آید.

شکل ١٤ تغییرات افت نیروی پیش‌تنیدگی در جدار مخزن برحسب زمان اعمال پیش‌تنیدگی در ترازهای مختلف

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

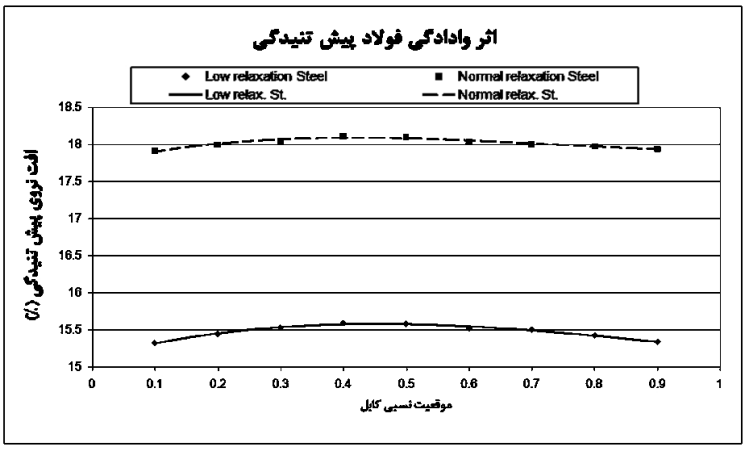
مقایسه‌ی نتایج حاصل از آنالیز مدل‌های عددی با منظور کردن پیش‌تنیدگی قائم و بدون آن، حاکی از تأثیر ناچیز این عامل بر تغییرات نیروی پیش‌تنیدگی محیطی است.



شکل ۱۵ اثر پیش‌تنیدگی قائم بر تغییرات افت نیروی پیش‌تنیدگی در جدار مخزن

شکل ۱۵ میزان افت نیروی پیش‌تنیدگی کابل‌های افقی را در ترازهای مختلف و ضخامت جدار ۳۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر نشان می‌دهد. با توجه به اثر قابل‌توجه وادادگی فولاد، در مدل‌های مطالعه شده، حصول چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نیست.

فولاد مصرفی در کابل‌های پیش‌تنیدگی ممکن است از نوع با وادادگی کم یا معمولی باشد. بررسی اثر این عامل بر افت نیروی پیش‌تنیدگی، بر اساس روابط CEB، نشان داد که در صورت استفاده از فولاد نوع معمولی در مخازن مورد مطالعه، میزان افت ۲/۵٪ افزایش می‌یابد. این در حالی است که تغییرات نیروی پیش‌تنیدگی در ارتفاع جدار برای هر دو نوع فولاد، روند مشابهی دارد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶ اثر نوع فولاد بر تغییرات افت نیروی پیش‌تنیدگی در جدار مخزن

با توجه به تأثیر متقابل وارفتگی بتن و وادادگی فولاد، برای تکمیل مطالعات انجام شده، تعیین میزان سهم هر یک در افت نیروی پیش‌تنیدگی و چگونگی منظور کردن اثر متقابل آن‌ها، ضروری به نظر می‌رسد. در آیین‌نامه‌ی بتن ایران، برای این منظور، به افت حاصل از وادادگی

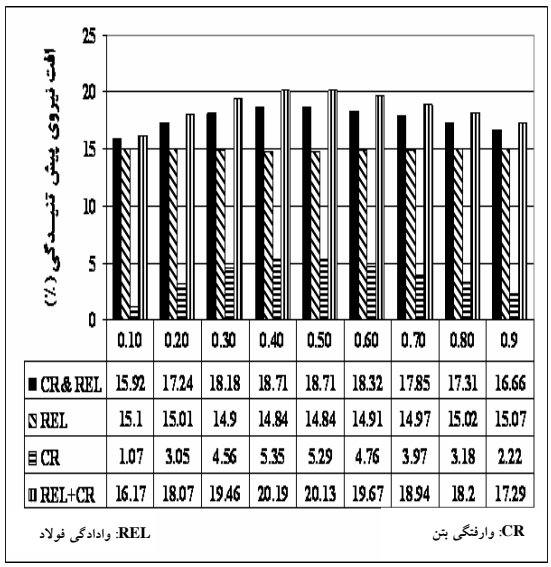
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

فولاد ضریب ۵/٦ اعمال می‌شود ومجموع افت پیش‌تنیدگی به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۱] :

$$\Delta = \sum_{j=1}^{5} \Delta_j + \frac{5}{6}\Delta_6 \qquad (۳)$$

شکل ۱۷ نتایج حاصل از اعمال جداگانه و هم‌زمان وارفتگی بتن و وادادگی فولاد را نشان می‌دهد. به‌طوری که مشاهده می‌شود، از کل افت حاصل از این دو پدیده، سهم وارفتگی بتن بین ۷ تا۲۸ درصد است و بیش‌تر افت در نتیجه‌ی وادادگی فولاد روی داده است. هم‌چنین افت حاصل از تأثیر هم‌زمان این دو عامل حدود ۹۲٪ مجموع افت حاصل از تأثیر جداگانه‌ی آن‌ها است. بنابر این چنین به نظر می‌رسد که اصلاح ضریب ۵/٦ آیین نامه‌ی بتن ایران به ۱٤/۱۵، در مورد مخازن مطالعه شده، به نتایج واقعی‌تری منجر خواهد شد. از این رو، پیشنهاد می‌شود که رابطه‌ی (۳) با رابطه‌ی زیر جایگزین شود:

$$\Delta = \sum_{j=1}^{5} \Delta_j + \frac{14}{15}\Delta_6 \qquad (٤)$$



	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.9
CR& REL	15.92	17.24	18.18	18.71	18.71	18.32	17.85	17.31	16.66
REL	15.1	15.01	14.9	14.84	14.84	14.91	14.97	15.02	15.07
CR	1.07	3.05	4.56	5.35	5.29	4.76	3.97	3.18	2.22
REL+CR	16.17	18.07	19.46	20.19	20.13	19.67	18.94	18.2	17.29

شکل ۱۷ تأثیر متقابل وارفتگی بتن و وادادگی فولاد بر تغییرات افت نیروی پیش‌تنیدگی در جدار مخزن

٤- نتیجه‌گیری

بررسی اثر وارفتگی بتن و وادادگی فولاد بر افت نیروی پیش‌تنیدگی در جدار مخزن استوانه‌ای از بتن پیش‌تنیده، در دوره‌ای حدود ۱۳ سال، حاکی از بروز ۱۵ تا ۲۲ درصد افت است که حدود ۷۰٪ آن سهم وادادگی فولاد پیش‌تنیدگی است. در مقایسه، مدل ACI209 کم‌ترین مقدار و مدل EC2 بیش‌ترین مقدار افت را نسبت به مدل‌های مطالعه شده براورد می‌کند. در این میان استفاده از مدل آیین‌نامه‌ی بتن ایران به مقدار افتی در حدود میانگین مدل‌های مذکور منجر می‌شود. میزان افت در کابل‌های مستقر در نوار میانی جدار، بیش‌تر است که دلیل آن را می توان در چگونگی تغییر شکل الاستیک پوسته‌ی مخزن دانست. البته با تغییر ارتفاع جدار، قطر مخزن و شرایط اتصال جدار به کف این موقعیت نیز تغییر می‌کند. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های با پیش‌تنیدگی قائم و بدون آن، نشان می‌دهد که در مورد مدل مطالعه شده، وجود پیش‌تنیدگی قائم اثری ناچیز بر میزان افت پیش‌تنیدگی محیطی دارد.

در نهایت به نظر می‌رسد که در محاسبه‌ی افت نیروی پیش‌تنیدگی کابل‌ها در جدار مخازن استوانه‌ای، با اصلاح ضریب مربوط به افت حاصل از وادادگی فولاد از مقدار ۵/٦ پیشنهادی آیین‌نامه‌ی بتن ایران، به عدد ۱٤/۱۵، برآورد واقعی‌تری به‌دست خواهد آمد.

۵- منابع

[1] ACI committee 209 ،1992. Prediction of creep ، shrinkage and temperature effects in concrete structures ، ACI 209R-92.

[2] AFNOR (1992) ، Eurocode 2:"calcul des structures en béton" et Document

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

d'application National ، Normalisation Francaise 1992 ، NF P18-711.

[3] Alwis ، W.A.M. ، (2001) ، Stress redistribution in RC beams and columns ، Creep ، Shrinkage and Durability Mechanics of concrete and other Quasi-Brittle Materials ، Proceedings CONCREEP 6 ، Elsevier Science ، Amsterdam ، pp. 803-808.

[4] Anderson ، P. ، 2005 ، Thirty years of measured prestress at Swedish nuclear reactor containments ، Nuclear Engineering and Design 235 ، pp.2323-2336.

[5] Berthollet ، A. ، 2003 ، Contribution A la modelisation du beton vis-a-vis du vieillissement et de la durabilite : interaction des deformations du fluage et du comportement non-lineaire du materiau ، These pour obtenir le grade du docteur ، l'Institut National des Sciences Appliquees de Lyon.

[6] Bhal ، N.S. ، and Jain ، J.P. ، Sept. (1995) ، "Effect of age at time of loading on creep of concrete". Indian Concrete J.69 ، pp.499-504.

[7] Chiu ، H.S. ،Chern ، J.C. ، and Chang K.C. ، (1996) ، "Long term deflection control in cantilever prestressed concrete bridges" ، I ، Journal of Engineering Mechanics ، ASCE ،122 ، pp. 489-501.

[8] Comité Euopéen de Normalisation (2001) ، 1rst draft of Eurocode 2 ، Design of concrete structures Part I: eneral rules and rules for building ،CEN/TC 250/SC 2 2001 ،No. pr EN 1992 ،1.

[9] Furr ، H.L. ، 1967 ، Creep tests of two-way prestressed concrete ، ACI J. 64-29 ، pp. 288-294.

[10] Gopalakrishnam ، K.S. ، Neville ، A.M. ، Ghali ، A. ، (1969) ، "Creep Poisson's ratio of concrete under multi axial compression" ، ACI J. 66-90 ، pp.1008-1019

[11] Hansen ، T.C. ، and Mattock ، A.H. ، (1966) ، "Influence of size and shape of member on the shrinkage and creep of concrete" ، ACI J.63-10 ، pp. 267-289.

[12] Lanig ،N. ، Stockl ، S. ، and Kapfer ،H. ، (1991) ،Versuche zum Kriechen und zur Restfestigkeir von Beton bei mehrachsiger Beanspruchung ، Deutscher ، Ausschuss fur Stahlbeton.

[13] Nasser ، K.W. ، and Neville ، A.M. ، (1967) ، "Creep of old concrete at normal and elevated temperatures" ، ACI J.64-9 ، pp.97-103.

[14] Niyogi ،A.K. ، Hsu ، P. ، and Meyers ، B.L. ، (1973) ، "The influence of age at time of loading on basic and drying creep" ، Cement Concrete Res.3 ، pp.633-644.l

[15] Oh ،B.H. ، Cha ، S.W. ، Um ، J.Y. ، and Lim ، D.H. ، (1995) ، "Effects of reinforcement and humidity on the creep and shrinkage behavior of high-strength concrete members ، Creep and Shrinkage of Concrete" Proceedings of the Fifth International RILEM Symposium, pp.522-571.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[16] Parrott ،L.J. ، (1973) ، "An examination of the effects of age at loading upon the creep of hardened cement paste" ، Mag. Concrete Res. ،25(85) ، pp.197-200.

[17] Règles BPEL91 (1999) ، Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontrainte suivant la méthode des états limites ، Bulletin official du ministère de l'équipement de transports et du logement ، 1999 ، section 2 ،320p. (fascicule spécial N 62-1).

[18] Ross ، A.D. ، (1954) ، "Experiments on the creep of concrete under two-dimensional stressing ، Mag". Concrete Res. 16 ، pp.3-10.

[19] Steven R. Close and lb Falk Jorgensen ، (1991) ، "Prestressed concrete tanks for hazardous liquids" ، Concrete International ، Vol 13 ، No. 10 ، Oct. 1991 ، pp.47 ،51.

[20] Stockl ، S. ، Bierwirth ، H. ، Lamig ، N. ، and Kapfer ، H. ، (1993) ، "Creep behavior of concrete under tri axial compressive stress ، Creep and Shrinkage of Concrete" Proceedings of the Fifth International RILEM Symposium ، pp. 27-32.

[۲۱] آیین‌نامه‌ی طرح و محاسبه قطعات بتن پیش‌تنیده بخش الحاقی به آیین‌نامه‌ی بتن ایران (آبا)، دفتر تدوین ضوابط و معیارهای فنی سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۲.

.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]