اصلاحیه کتاب سازه‌های بتنی (جلد ۱)

چاپ بیست و پنجم

(چاپ جدید طبق ویرایش ۹۹ مبحث نهم)

سال ۱۴۰۰

ادیت‌های فوق با توجه به اصلاحیه جدید مبحث نهم مقررات ملی ساختمان بر روی کتاب چاپ اول انجام شود. این ویرایش بر روی چاپ‌های بعدی کتاب اعمال شده است.

صفحه ۸ و ۹

با توجه به غلطنامهٔ مبحث به شکل زیر اصلاح شود.

۴) برای در نظر گرفتن مشخصات بتن‌های سبک، برخی از روابط آیین‌نامه که در آن‌ها از $\sqrt{f'_c}$ استفاده شده است، در ضریب λ ضرب می‌گردد. به

[۱] برای بتن‌های نیمه سبک‌دانهٔ ترکیبی، مقدار λ از درون‌یابی خطی بین ۰/۷۵ و ۰/۸۵ با توجه به نسبت حجم ریزدانهٔ معمولی به حجم کل ریزدانه و بین ۰/۸۵ تا ۱/۰۰ با توجه به نسبت حجم درشت دانهٔ معمولی به حجم کل درشت دانه به‌دست می‌آید. این موضوع به سه حالت زیر انجام می‌شود:
حالت ۱: ترکیب ریزدانهٔ ترکیب معمولی و سبک به همراه درشت‌دانهٔ سبک.

صفحات ۱۵ و ۶۱ و ۱۶۳

تغییرات در صفحه ۱۵ فرمول ۱-۴ ، صفحه ۶۱ داخل کادر آبی، صفحه ۱۶۳ اصلاح تذکر ۱

با توجه به نمودار و براساس روابط زیر به‌دست می‌آید.

$$\begin{cases} f_s = E_s \varepsilon_s & \varepsilon_s \le \varepsilon_y \\ f_s = f_y & \varepsilon_s > \varepsilon_y \end{cases} \qquad (۱-۴)$$

بسیار کم قرار می‌گیرد، لذا آرماتورهای حمتی مورد نیاز بسیار کم خواهد بود. در چنین مواردی به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف آرماتور، مطابق آیین‌نامه می‌توان آرماتور کمتری نسبت به آرماتور حداقل آیین‌نامه‌ای در مقطع بکار برد، به شرط آنکه آرماتور موجود، حداقل به مقدار $\frac{۱}{۳}$ برابر بیشتر از آرماتور مورد نیاز محاسباتی باشد. در این‌صورت مساحت حداقل مورد قبول به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$A_{s\,\text{حداقل مجاز}} = min\{۱/۳۳\,A_{s\,\text{محاسباتی}}\,,\,A_{s,min}\} \qquad (۱۱-۷)$$

تذکر ۱: با توجه به اینکه حداقل آرماتور عرضی در جان به‌کار رفته، لزومی به کنترل شرط $\sqrt{f'_c} \le ۸/۳\ MPa$ نمی‌باشد.

صفحه ۱۶۵

تغییر در انتهای صفحه قسمت فرمول

$$V_{c_۱} = (۰/۱۷ \times ۱/۰ \times \sqrt{۲۵} + ۰/۱۸۳) b_w d = ۱/۰۳۳\, b_w d$$

$$۰/۴۲ \lambda \sqrt{f'_c}\, b_w d = ۰/۴۲ \times ۱ \times \sqrt{۲۵}\, b_w d = ۲/۱ b_w d \quad \Rightarrow \quad V_{c_۱} = ۱/۰۳۳\, b_w d \le ۲/۱ b_w d$$

صفحه ۱۸۴

تغییر در انتهای صفحه با توجه به غلطنامهٔ مبحث

در نظر گرفته و از طرفی مقدار ساده شدهٔ $۰/۰۸۳ \phi \lambda \sqrt{f'_c}\, b_w d$ را نیز به عنوان کنترل دیگری برای $۰/۵ \phi V_c$ به‌کار برده است. با توجه به اینکه در صورت

صفحه ۱۹۱

تغییر در قسمت حل سؤال ۲۴ و شکل با توجه به غلطنامهٔ مبحث

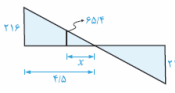
حل: همانطور که در ضوابط طراحی برشی خواندیم، در صورتی‌که $V_u \le ۰/۰۸۳ \phi \lambda \sqrt{f'_c}\, b_w d$ باشد، نیازی به در نظر گرفتن آرماتور عرضی در مقطع نمی‌باشد. بنابراین با توجه اطلاعات داده شده در سؤال، داریم:

$$V_u \le ۰/۰۸۳ \phi \lambda \sqrt{f'_c}\, b_w d$$

$$V_u \le ۰/۰۸۳ \times ۰/۷۵ \times ۱/۰ \times \sqrt{۲۵} \times ۴۰۰ \times ۵۲۵ \times ۱۰^{-۳} = ۶۵/۴\ kN$$

$$q_u = ۱/۲ q_D + ۱/۶ q_L \quad \Rightarrow \quad q_u = ۱/۲ \times ۲۰ + ۱/۶ \times ۱۵ = ۴۸\ kN/m$$

در ادامه با توجه به نمودار برش تیر، مقطعی که در آن برش وارده برابر مقدار $۶۵/۴\ kN$ می‌گردد، به فاصلهٔ x از مقطع وسط دهانه فرض شده، بنابراین داریم:



$$V_{u,max} = \frac{q_u l}{۲} = \frac{۴۸ \times ۹}{۲} = ۲۱۶\ kN$$

تشابه مثلث‌ها: $\frac{۶۵/۴}{۲۱۶} = \frac{x}{۴/۵}$

$$x = ۱/۳۶\ m$$

بنابراین فاصلهٔ $۲ \times ۱/۳۶ = ۲/۷۲$ متری در وسط دهانهٔ تیر می‌تواند بدون آرماتور عرضی باشد. در این‌صورت در بقیهٔ طول تیر، یعنی طول $۹ - ۲/۷۲ = ۶/۲۸\ m$ که معادل $\frac{۶/۲۸}{۹} \times ۱۰۰ = ۷۰٪$ از طول تیر است، باید آرماتور عرضی به‌کار برده شود. بنابراین گزینهٔ (۲) صحیح می‌باشد.

صفحه ۱۹۸

تغییر در انتهای صفحه نکتهٔ شماره ۲

۲) آرماتورهای برشی در راستای موازی با محور طولی تیر با A_{vh} معرفی شده و مساحت حداقل آنها برابر است با:

$$A_{vh} \geq ۰/۰۰۲۵\, b_w S_2$$

صفحه ۲۲۶ و ۲۲۸

رابطه فولاد طولی حداقلی با توجه به غلطنامهٔ آیین‌نامه به‌صورت زیر اصلاح گردد.

$$A_{l,min} = min \begin{cases} ۰/۴۲ \dfrac{\sqrt{f'_c}}{f_y} A_{cp} - \left(\dfrac{A_t}{S}\right) P_h \dfrac{f_{yt}}{f_y} & (۵\text{-}۱۴) \\ ۰/۴۲ \dfrac{\sqrt{f'_c}}{f_y} A_{cp} - \left(\dfrac{۰/۱۷۵}{f_{yt}} b_w\right) P_h \dfrac{f_{yt}}{f_y} & (۵\text{-}۱۵) \end{cases}$$

حل: مطابق روابط (۵-۱۴) و (۵-۱۵) داریم:

$$A_{l,min} = min \begin{cases} ۰/۴۲ \dfrac{\sqrt{f'_c}}{f_y} A_{cp} - \left(\dfrac{A_t}{S}\right) P_h \dfrac{f_{yt}}{f_y} \\ ۰/۴۲ \dfrac{\sqrt{f'_c}}{f_y} A_{cp} - \left(\dfrac{۰/۱۷۵ b_w}{f_{yt}}\right) P_h \dfrac{f_{yt}}{f_y} \end{cases}$$

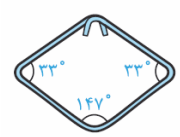
صفحه ۲۳۴

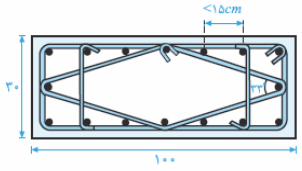
تغییر در خط دوم تمرین ۲۵.

تمرین ۲۵: فرض کنید یک مقطع بتنی به ابعاد $۴۰۰\times۶۰۰\,mm$ (مطابق شکل زیر)، تحت اثر توأم برش (V_u) و پیچش (T_u) قرار دارد. اگر مقدار V_u برابر ۵۰٪ حداکثر نیروی برشی قابل تحمل مقطع (در حالتی که مقطع فقط تحت اثر V_u قرار دارد) باشد، آرگاه در صورت تأمین خاموت‌های برشی و پیچشی مورد نیاز، مقدار حداکثر لنگ

صفحه ۲۸۷ و ۲۸۸

اصلاح شکل انتهای صفحه ۲۸۷ و ابتدای صفحه ۲۸۸





صفحه ۲۹۶

EI_{eff} در فرمول ۴-۷ به EI تبدیل شود با توجه به غلطنامه، در EI در رابطهٔ محاسبه Ψ با کمک جداول ۷-۱ و ۸-۱ در صفحهٔ ۲۵ از فصل اول کتاب به‌دست می‌آید.

$$\Psi = \frac{\sum\left(\frac{EI}{l_c}\right)_c}{\sum\left(\frac{EI}{l_c}\right)_b} \qquad (۴\text{-}۷)$$

Ψ: نسبت سختی خمشی ستون به تیر در محل گرهٔ موردنظر،

EI: سختی خمشی عضو،

صفحه ۲۹۷ و ۲۹۸

نکات محاسبهٔ سختی عضو در کادرهای زیر، به کتاب اضافه شود.

تذکر ۲ توضیحات صفحات ۲۹۷ و ۲۹۸ در مورد محاسبهٔ EI_{eff} در محاسبه پارامتر P_c در صفحه ۳۰۹ کتاب کاربرد دارد و دیگر در محاسبات Ψ نباید استفاده شود.

محاسبه مقدار سختی عضو

به منظور محاسبهٔ مقدار سختی عضو (EI)، باید اثر ترک‌خوردگی اعضا در نظر گرفته شود. برای این منظور با توجه به توضیحات فصل اول کتاب، می‌توان از دو روش ساده و دقیق ممان اینرسی اعضای مختلف را محاسبه نمود. مقادیر ممان اینرسی اعضا در روش تقریبی مطابق جدول زیر می‌باشد.

جدول ۷-۱، ممان اینرسی کاهش یافتهٔ اعضای بتن‌آرمه

نوع عضو		مقدار ممان اینرسی
ستون		$0.7\ I_g$
دیوار	ترک نخورده	$0.7\ I_g$
	ترک خورده	$0.35\ I_g$
تیر		$0.35\ I_g$
دال تخت و قارچی		$0.25\ I_g$

در جدول فوق، I_g مقدار ممان اینرسی کل مقطع بدون در نظر گرفتن اثر آرماتورها می‌باشد.
اما در صورتی‌که مقدار ممان اینرسی اعضای مختلف به‌صورت دقیق‌تری مورد نظر باشد، از جدول ۷-۲، استفاده می‌شود.

جدول ۷-۲، مقادیر دقیق‌تر ممان اینرسی اعضای بتن‌آرمه

نوع عضو	مقدار ممان اینرسی	
	بازهٔ قابل پذیرش	رابطهٔ محاسبه
ستون و دیوار	$0.35\ I_g \le I \le 0.875\ I_g$	$(0.8+25\frac{A_{st}}{A_g})(1-\frac{M_u}{P_u h}-0.5\frac{P_u}{P_o})\ I_g$
تیرها، ظل‌های تخت و دال‌های قارچی	$0.25\ I_g \le I \le 0.5\ I_g$	$(0.1+25\ \rho)(1.2-0.2\frac{b_w}{d})\ I_g$

I_g: ممان اینرسی مقطع بدون در نظر گرفتن آرماتورها، میلی‌متر به توان چهار،
A_{st}: مساحت کل آرماتور طولی ستون، میلی‌متر مربع،
A_g: سطح مقطع ستون بدون در نظر گرفتن اثر آرماتورها، میلی‌متر مربع،
M_u: لنگر خمشی ضریبدار مقطع، نیوتن میلی‌متر،
P_u: نیروی محوری ضریبدار مقطع، اگر نیرو فشاری باشد با علامت مثبت و در صورت کششی بودن با علامت منفی در رابطه جایگذاری می‌شود، نیوتن،

محاسبات و یا ترکیبی که کمترین مقدار I را نتیجه می‌دهد، استفاده نمود.

تذکر ۱: در صورت وجود بارهای جانبی دائمی، لازم است مقادیر ممان اینرسی اعضای قائم از جمله ستون و دیوارها بر ضریب $1+\beta_{ds}$ تقسیم گردند. ضریب β_{ds} که ضریب تأثیر اثر خزش و نیروهای دائمی می‌باشد، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\beta_{ds} = \frac{\text{حداکثر برش دائمی ضریبدار طبقه}}{\text{حداکثر برش کل طبقه}}$$

دقت شود هر دوعبارت صورت و مخرج کسر فوق متعلق به یک ترکیب بار می‌باشند.

تذکر ۲: از لحاظ مفهومی، پارامتر β_{ds} برای یک قاب با حرکت جانبی نزدیک به صفر است، زیرا بارهای جانبی مانند زلزله معمولاً دارای اثر کوتاه مدت هستند. β_{ds} مخالف صفر، زمانی رخ می‌دهد که به‌عنوان مثال ساختمان تنها از یک سمت تحت فشار جانبی خاک قرار بگیرد.

صفحه ۳۰۰، ۳۰۱ و ۳۰۲

تمرین ۳ قسمت (ب) سؤال حذف شود.

صفحه ۳۰۴ و ۳۰۵

تغییر در گزینه‌های تست ۵ و پاسخ تمرین با توجه به غلطنامه به صورت زیر ویرایش شود.

۱) ۱/۲۸
۲) ۱/۱۰
۳) ۱/۴۲
۴) ۱/۳۳

● **حل:** برای محاسبهٔ ضریب طول مؤثر، لازم است مقادیر Ψ_A و Ψ_B در دو انتهای ستون محاسبه گردد. در این‌صورت با توجه به تعریف Ψ و رابطهٔ (۷-۴)، خواهیم داشت:

$$\Psi = \frac{(\sum \frac{EI}{l_c})_c}{(\sum \frac{EI}{l_c})_b}$$

$$E_c = ۰/۰۴۳ w_c^{۱/۵} \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = ۰/۰۴۳ \times ۲۵۰۰^{۱/۵} \times \sqrt{۳۰} = ۲۹۴۴۰/۱ \, MPa$$

با توجه به اینکه ۴۰ درصد برش ستون AB حاصل از بارهای دائمی است، بنابراین $\beta_{ds} = ۰/۴$ می‌باشد. با توجه به ابعاد مشخص شده برای اعضا و جدول ۷-۱، داریم:

$$(EI)_c = \frac{۲۹۴۴۰/۱ \times ۰/۷ \times \frac{۴۰۰^۴}{۱۲}}{۱ + ۰/۴} = ۳/۱۴ \times ۱۰^{۱۳} \, N.mm^۲$$

$$(EI)_b = ۲۹۴۴۰/۱ \times ۰/۳۵ \times ۴۰۰ \times \frac{۶۰۰^۳}{۱۲} = ۷/۴۲ \times ۱۰^{۱۳} \, N.mm^۲$$

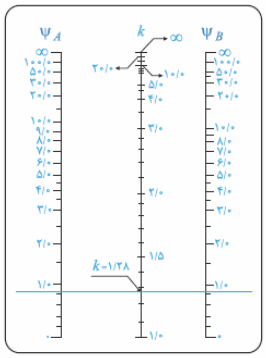
با توجه به اینکه هر دو گرهٔ A و B به دو ستون و دو تیر ختم می‌شوند، بنابراین برای محاسبهٔ نسبت Ψ، به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\Psi_A = \frac{\frac{۳/۱۴ \times ۱۰^{۱۳}}{۳۰۰۰} + \frac{۳/۱۴ \times ۱۰^{۱۳}}{۳۰۰۰}}{\frac{۷/۴۲ \times ۱۰^{۱۳}}{۶۰۰۰} + \frac{۷/۴۲ \times ۱۰^{۱۳}}{۶۰۰۰}} = ۰/۸۵$$

با توجه به یکسان بودن شرایط گره‌های A و B داریم:

$$\Psi_B = \Psi_A = ۰/۸۵$$

در این‌صورت با توجه به نموگرام ستون‌های مهار نشده، به‌طور تقریبی مقدار $k = ۱/۲۸$ به‌دست می‌آید و گزینهٔ (۱) صحیح می‌باشد.



قاب‌های مهارنشده

صفحه ۳۰۹

قبل از کادر ضریب تشدید لنگر در قاب‌های مهار شده، نکته زیر به کتاب اضافه شود.

نکتهٔ مهمی که باید به آن توجه نمود این است که لنگرهای محاسباتی براساس تحلیل با در نظر گرفتن آثار مرتبهٔ دوم نباید از ۱/۴ برابر لنگرهای متناظر ناشی از تحلیل با در نظر گرفتن اثرات مرتبهٔ اول بیشتر باشد، زیرا در این صورت احتمال ناپایداری طبقه وجود داشته و باید در طراحی اولیهٔ سازه تجدیدنظر نمود.

صفحه ۳۱۰

تذکر بالای صفحه به صورت زیر اصلاح شود.

تذکر: در صورتی‌که مقدار لنگر خمشی $M_۲$ در رابطهٔ (۷-۶)، از مقدار حداقل لنگر خمشی (M_{min}) که در قسمت سوم فصل آموزش خواهیم داد، کمتر باشد، ضریب C_m را برابر یک نیز می‌توان در نظر گرفت هر چند که مقدار C_m را می‌توان مطابق رابطه و براساس لنگر خمشی محاسباتی نیز به‌دست آورد. این بند را در قسمت سوم فصل بیشتر بررسی خواهیم کرد.

صفحات ۳۱۲ و ۳۱۳ و ۳۱۴ و ۳۱۵

در تمرین‌های ۱۲ و ۱۳ در انتهای پاسخ‌ها، جمله زیر اضافه شود.

ضریب تشدید لنگر بزرگتر از ۱/۴ بوده و با توجه به آیین‌نامه، احتمال ناپایداری در عضو وجود دارد و باید در طراحی تجدیدنظر شود.

صفحات ۳۵۰ و ۳۵۱ و ۳۵۲

تمرین ۱۸ به صورت زیر اصلاح شود.

تمرین ۱۸: یک دیوار بتن‌آرمه به طول و ارتفاع $5\ m$ و با ضخامت $150\ mm$ را در نظر بگیرید که تحت بارهای زنده و مردهٔ با خروج از محوریت قرار گرفته است. با توجه به بارگذاری وارده مقادیر بارمحوری مرده و زنده در وسط ارتفاع دیوار به ترتیب برابر $160\ kN$ و $90\ kN$ و لنگر خمشی بهره‌برداری حداکثر در دیوار بدون لحاظ کردن اثر $P-\Delta$ $60\ kN.m$ محاسبه شده است. در صورتی‌که در این دیوار از $25\ \Phi 16$ به عنوان آرماتورهای قائم در یک شبکه و در وسط آن استفاده شده باشد، مقدار تغییرشکل خارج از صفحهٔ دیوار تحت اثر بارهای برون محور را با لحاظ کردن

حل: با توجه به آنچه گفته شد، ابتدا با استفاده از رابطهٔ (۸-۱۸) مقدار لنگر خمشی ناشی از حالت بهره‌برداری را تحت اثر لاغری با فرض $\Delta_s = 30\ mm$ محاسبه می‌کنیم.

$$M_{sa} = 60\ kN.m$$

$$P_s = P_D + P_L = 160 + 90 = 250\ kN$$

تذکر: دقت شود در محاسبهٔ مقدار P_s، ضرایب ترکیب بار مطابق حالت بهره‌برداری و برابر ۱/۰ در نظر گرفته شده‌اند.

فرض اولیه: $\Delta_s = 30\ mm$

$$M_a = 60 + 250 \times 30 \times 10^{-3} = 67.5\ kN.m$$

$$M_a = 67.5\ kN.m > \frac{2}{3} M_{cr} = 38.85\ kN.m$$

بنابراین برای محاسبهٔ Δ_s از رابطهٔ (۸-۲۰) استفاده می‌شود. در این‌صورت با محاسبهٔ Δ_{cr} و Δ_n داریم:

در این حالت ابتدا عمق بلوک فشاری محاسبه می‌شود:

$$a = \frac{A_s f_y}{\alpha_1 f'_c b}$$

$$A_s = 25 \times \frac{\pi}{4} \times 16^2 = 5026.55\ mm^2$$

$$M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) \Rightarrow M_n = 5026.55 \times 400 \times \left(75 - \frac{18.92}{2}\right) \times 10^{-6} = 131.78\ kN.m$$

$$I_{cr} = \frac{E_s}{E_c}\left(A_s + \frac{P_u}{f_y}\cdot\frac{h}{2d}\right)(d-c)^2 + \frac{l_w c^3}{3}$$

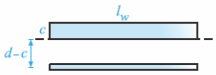
برای محاسبهٔ c طبق توضیحات رابطهٔ (۸-۱۶)، ابتدا باید P_u و A_{se} را محاسبه نماییم، مقدار P_u با در نظر گرفتن ترکیب بار $1.2D + 1.6L$ برابر است با:

$$P_u = 1.2 \times 160 + 1.6 \times 90 = 336\ kN$$

$$\frac{E_s}{E_c} = \frac{2 \times 10^5}{23500} = 8.51 \geq 6$$

مقدار به‌دست آمده صحیح است.

$$A_{se} = A_s + \frac{P_u}{f_y}\cdot\frac{h}{2d} = 5026.55 + \frac{336 \times 10^3}{400} \times \frac{150}{2 \times 75} = 5866.55\ mm^2$$



$$Q_t = Q_b \Rightarrow c l_w \times \frac{c}{2} = n \times A_{se} \times (d-c)$$

$$\frac{c^2}{2} \times 5000 = 8.51 \times 5866.55 \times (75-c) \Rightarrow c = 30\ mm$$

$$I_{cr} = 8.51 \times \left(5026.55 + \frac{432 \times 10^3}{400} \times \frac{150}{2 \times 75}\right) \times (75-30)^2 + \frac{5000 \times 30^3}{3}$$

$$I_{cr} = 1.46 \times 10^8\ mm^4$$

$$\Delta_n = \frac{5 M_n l_c^2}{48 E_c I_{cr}}$$

$$\Delta_n = \frac{5 \times 131.78 \times 10^6 \times 5000^2}{48 \times 23500 \times 1.46 \times 10^8} = 99.96\ mm$$

$$M_a > \frac{2}{3} M_{cr} \Rightarrow \Delta_s = \frac{2}{3}\Delta_{cr} + \left(\frac{M_a - \frac{2}{3}M_{cr}}{M_n - \frac{2}{3}M_{cr}}\right)\left(\Delta_n - \frac{2}{3}\Delta_{cr}\right)$$

$$\Delta_s = \frac{2}{3} \times 4.58 + \left(\frac{67.5 - 38.85}{131.78 - 38.85}\right) \times \left(99.96 - \frac{2}{3} \times 4.58\right)$$

$$\Delta_s = 33.0\ mm$$

همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار فرض شدهٔ اولیه برای Δ_s برابر $30\ mm$ بوده، در حالی‌که این مقدار $33.0\ mm$ به‌دست آمد. بنابراین فرض اولیه کمی خطا داشته و محاسبات را برای رسیدن به دقت بیشتر باید مجدداً تکرار نمود. در این خصوص با فرض اولیهٔ $\Delta_s = 34\ mm$ با تقریب خوبی می‌توان به جواب رسید.

تذکر: این تمرین آموزشی بوده و روند محاسبات پارامترها، می‌تواند در آزمون نظام مهندسی مورد سؤال قرار گیرد.