

آنالیز و طراحی ستون‌های جدارنازک بتنی با اشکال مختلف دارای بتن با مقاومت بالا

علی اکبر مقصودی

استادیار بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان
پست الکترونیکی: maghsoudia.a@uk.ac.ir

هومان رضائیان

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه شهید باهنر کرمان

چکیده

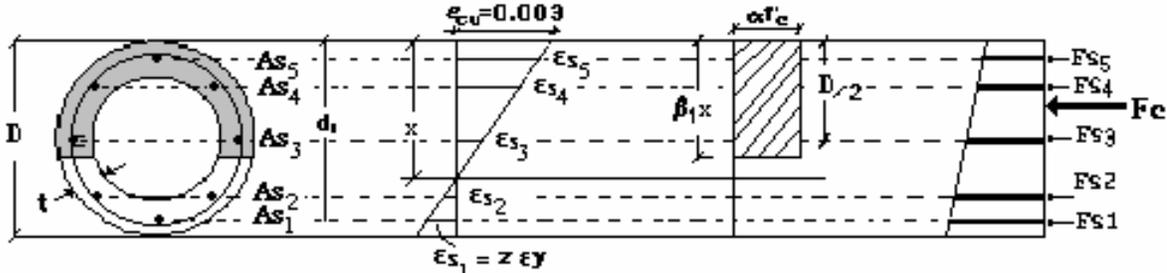
مناسب‌ترین روش برای تعیین ظرفیت باربری یک عضو تحت تاثیر بار محوری و یا بار توام با لنگر خمشی، استفاده از نمودارهای تداخلی است. به منظور آنالیز و طراحی ستون‌های توخالی با مقاطع دایره، مربع و مستطیل شکل با فرض تغییرات خطی کرنش در ارتفاع مقطع و معادلات تعادل استاتیکی و با توجه به خواص و روابط حاکم بر رفتار بتن با مقاومت بالا و در نظر گرفتن متغیرهای مختلف از جمله: مقاومت فشاری بتن، تنش تسلیم میلگردها، ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها، نسبت ضخامت به ابعاد مقطع و نحوه آرایش میلگردها برنامه کامپیوتری در محیط MATLAB نوشته شد و تعداد ۴۴۱ نمودار اندر کنش نیروی محوری و ممان خمشی برای آنالیز و طراحی ستون‌های جدارنازک بتنی با اشکال هندسی فوق ترسیم گردید. استفاده از این دیاگرام‌ها روشی آسان، سریع و مطمئن در آنالیز و طراحی ستون‌های مزبور می‌باشد.

کلید واژه ها : آنالیز، طراحی، اشکال مختلف ستون‌های جدارنازک، بتن با مقاومت بالا، نمودارهای تداخلی.

۱- مقدمه

در مقاله حاضر برای بتن‌های با مقاومت بالا با توجه به اینکه دیاگرام تنش-کرنش بتن در منطقه فشار متفاوت از بتن‌های معمولی است [۷-۱]، با در نظر گرفتن تفاوت‌های اصلی موجود، ابتدا نحوه آنالیز مقاطع معرفی

با توجه به مزیت‌های زیاد بتن با مقاومت بالا، امروزه استفاده از آن بطور چشمگیری افزایش یافته است.



الف- مقطع فرضی ج- توزیع نیرو ب- توزیع کرنش در حالت نهایی

شکل ۱: مقطع دایره‌ای تو خالی با چند ردیف میلگرد و کرنش فرضی

گردیده و سپس برنامه کامپیوتری جهت آنالیز و طراحی ستون‌های دایره‌ای و خالی و جعبه‌ای شکل دارای HSC تهیه و نمودارهای تداخلی مربوطه در محیط نرم‌افزار MATLAB [۸]، ترسیم و ارائه گردیده است.

۲- فرضیات در نظر گرفته شده در برنامه کامپیوتری

بر اساس تعادل نیروها، سازگاری کرنش‌ها و ضریب کاهش مقاومت آیین نامه ACI-318 [۹]، برنامه کامپیوتری به منظور آنالیز و طراحی مقاطع توخالی دایره‌ای و جعبه‌ای شکل بتنی دارای بتن با مقاومت بالا با در نظر گرفتن متغیرهای: مقاومت فشاری بتن، تنش تسلیم میلگردها، ضخامت پوشش بتنی روی میلگردها، نسبت ضخامت به ابعاد مقطع و نحوه آرایش میلگردها نوشته و نمودارهای تداخلی مربوطه ترسیم گردیده است. در تحلیل ستون‌ها، از بلوک تنش مستطیل معادل برای بتن منطقه فشاری و روابط (۳، ۱ و ۲) پیشنهادی استاندارد نیولند [۱۰] برای پارامترهای α ، β_1 و K_3 استفاده گردیده است (شکل ۱- ب).

(۱)

$$\alpha = 0.85 - 0.004(f'_c - 55) \text{ Mpa}$$

$$0.75 \leq \alpha \leq 0.85$$

مقاومت و مدول الاستیسیته بالا، دوام و عمر زیاد، خزش کم، نفوذ پذیری کم، کاهش طول مهاری، کاهش هزینه و ... از جمله ویژگی‌های مفید بتن با مقاومت بالا (HSC) می‌باشند. کاربرد بتن با مقاومت بالا در ستون‌ها موجب کاهش سطح مقطع ستون و افزایش فضای مفید بیشتر در معماری می‌شود ضمن اینکه کاهش وزن سازه منجر به کاهش نیروهای ثقیلی و زلزله نیز می‌گردد. از طرفی کوچک شدن ابعاد مقطع ستون احتمال ناپایداری و کماتش عضو را فراهم می‌سازد که در اینصورت با افزایش ممان اینرسی مقطع با استفاده از مقاطع توخالی (جدار نازک) علاوه بر تحمل نیروهای وارده، می‌توان احتمال کماتش را از بین برد.

بمنظور آنالیز ستون‌های توپر بتنی جدارنازک با اشکال هندسی، مستطیل، مربع و دایره‌ای شکل تحت بارگذاری نهایی با توجه به نوع گسیختگی مقطع، می‌توان از روش‌های پرکار موجود بهره جست. در حالیکه حجم محاسبات برای مقاطع دایره‌ای شکل جهت تعیین سطح مقطع، لنگر استاتیکی و ممان اینرسی قطعه‌ای از دایره به محاسبات پیچیده‌تری نیاز دارد. چنین محاسباتی در صورت استفاده از ستون‌های بتنی جدارنازک دارای بتن با مقاومت بالا بمراتب طولانی‌تر خواهد بود. لذا بعنوان یک راه حل سریع و ساده، استفاده از نمودارهای تداخلی آنالیز و طراحی ستون‌ها امری رایج و شناخته شده است. چنین پنمودارهایی برای ستون‌های توپر (نه تو خالی) دارای بتن معمولی (NSC) در اختیار است.

(۲)

$$\varepsilon_{s_i} = \frac{x - d_i}{x} 0.003$$

در حالیکه، ε_{s_i} : کرنش در ردیف i ام میلگرد و d_i : فاصله فولاد ردیف i ام از تار خارجی فشاری مقطع است.

جهت رسم منحنی‌های تداخلی با توجه به انواع شکست‌های نشان داده شده در شکل ۲، ابتدا مقدار z را مساوی صفر فرض کرده و روابط (۵) تا (۳۱) محاسبه می‌گردد، سپس در گام‌های بعد مقدار ثابت کوچکی (مثلاً 0.05) از z کم می‌گردد و مجدداً روابط (۵) تا (۳۱) محاسبه می‌شود تا زمانی که در رابطه (۳۰) مقدار p_n صفر گردد. (نقطه E در شکل ۲)

(۷) مقطع در حالت شکست فشاری، نقطه B در شکل

(۲)

$$x = d_1 \Rightarrow z = 0$$

(۸) مقطع در حالت شکست متعادل، نقطه C در شکل

(۲)

$$\varepsilon_{s_1} = -\varepsilon_y \Rightarrow z = -1$$

(۹) مقطع در حالت شکست کششی، نقطه D در شکل

(۲)

$$\varepsilon_{s_1} > -\varepsilon_y \Rightarrow z < -1$$

بترتیب بکمک روابط (۱۰ و ۱۱) نقاط A و F در شکل (۲) قابل تعیین است.

(۱۰)

$$P_0 = K_3 f'_c (A_g - A_{st}) + A_{st} f_y$$

سطح مقطع کل آرماتورهای طولی

A_g : سطح مقطع کل ستون

سیس از نقطه B ($z=0$) به نقطه A (P_0)، و از نقطه

E به نقطه F به صورت خط مستقیم رسم می‌شود. نقاط

F و E بترتیب بیانگر، ظرفیت خمشی و کششی خالص

مقطع می‌باشند، بنحویکه ظرفیت نقطه F از رابطه ۱۱

بدست می‌آید.

(۱۱)

$$T_0 = -A_{st} \cdot f_y$$

با توجه به نقاط E تا B موقعیت‌های مختلف \bar{x} در یک

مقطع دایره شکل تو خالی دارای HSC در شکل (۳)

نشان داده شده‌است، (آرایش میلگردها نشان داده

$$\beta_1 = 0.85 - 0.008(f'_c - 30) \text{ Mpa}$$

$$0.65 \leq \beta_1 \leq 0.85$$

$$K_3 = 0.6 + 10 / f'_c \quad \text{Mpa}$$

$$K_3 \leq 0.85$$

K_3 : ضریبی که نشان دهنده اختلاف مقاومت نمونه بتن ستون و مقاومت بتن در آزمایش نمونه استوانه‌ای است.

f'_c : مقاومت فشاری بتن برای نمونه استوانه استاندارد

۳- آنالیز ستون‌های دایره‌ای تو خالی دارای بتن با مقاومت بالا (HSC)

جهت آنالیز مقاطع و رسم دیاگرام‌های تداخلی، از روش ساده‌ای استفاده شده است. بدین منظور، کلیه تنش‌ها، کرنش‌ها و نیروهای فشاری با علامت مثبت و مقادیر کششی نظیر با علامت منفی منظور شده است. ردیف‌های میلگرد از پایین به بالا شماره گذاری شده‌اند (شکل ۱- الف) بنحویکه ردیف ۱ نشان دهنده دورترین ردیف میلگردها نسبت به تار فشاری حد اکثر بتن است که تحت کشش ناشی از خمش قرار دارد. نسبت کرنش این ردیف به کرنش تسلیم فولاد با حرف Z نمایش داده می‌شود.

(۴)

$$z = \frac{\varepsilon_{s_1}}{\varepsilon_y} \Rightarrow \varepsilon_{s_1} = z \varepsilon_y$$

ε_y : کرنش تسلیم فولاد، ε_{s_1} : کرنش فولاد ردیف اول

شکل (۱- الف) و با توجه به شکل (۱- ب) چنین بدست

می‌آید:

(۵)

$$x = \frac{0.003}{0.003 - z \varepsilon_y} d_1$$

x : ارتفاع تار خنثی از بحرانی‌ترین تار فشاری بتنی و d_1 :

فاصله فولاد ردیف اول از تار خارجی فشاری بتن می‌باشد.

(قرارداد علامت در روابط فوق منظور شده است)

(۶)

نشده است) ضمن اینکه استخراج مقادیر F_c و A_c بشرح زیر می باشد:

الف) اگر $\beta_1 x \leq t$ باشد، (شکل ۳- الف) آنگاه:

$$A_c = D^2 (\theta - \sin \theta \cos \theta) / 4 \quad (۱۳)$$

$$\bar{x} = \frac{D \sin^3 \theta}{3(\theta - \sin \theta \cos \theta)} \quad (۱۴)$$

$$\theta = \text{Arc cos}(1 - \frac{2\beta_1 x}{D})$$

\bar{x} : فاصله مرکز سطح منطقه بتن فشاری تا مرکز پلاستیک مقطع (در مقاطع متقارن، مرکز پلاستیک وسط ارتفاع کل مقطع می باشد).

A_c : مساحت ناحیه فشاری مقطع بتنی

ب) اگر $t < \beta_1 x \leq D/2$ باشد، (شکل ۳- ب) آنگاه:

$$A_c = \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) - \frac{(D-2t)^2}{4} (\theta_2 - \sin \theta_2 \cos \theta_2) \quad (۱۶)$$

$$\bar{x} = \frac{D^3 \sin^3 \theta_1 - (D-2t)^3 \sin^3 \theta_2}{3[D^2 (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) - (D-2t)^2 (\theta_2 - \sin \theta_2 \cos \theta_2)]}$$

(۱۷)

$$\theta_1 = \text{Arc cos}(1 - \frac{2\beta_1 x}{D})$$

(۱۸)

$$\theta_2 = \text{Arc cos}(\frac{D/2 - \beta_1 x}{D/2 - t})$$

ج) اگر $D/2 < \beta_1 x \leq D-t$ باشد، (شکل ۳- ج) آنگاه:

(۱۹)

$$A_c = \frac{D^2}{4} (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) - \frac{(D-2t)^2}{4} (\theta_2 - \sin \theta_2 \cos \theta_2)$$

(۲۰)

$$\bar{x} = \frac{D^3 \sin^3 \theta_1 - (D-2t)^3 \sin^3 \theta_2}{3[D^2 (\theta_1 - \sin \theta_1 \cos \theta_1) - (D-2t)^2 (\theta_2 - \sin \theta_2 \cos \theta_2)]}$$

(۲۱)

$$\theta_1 = \pi/2 + \text{Arc sin}(\frac{2\beta_1 x}{D} - 1)$$

(۲۲)

$$\theta_2 = \pi/2 + \text{Arc sin}(\frac{\beta_1 x - \frac{D}{2}}{\frac{D}{2} - t})$$

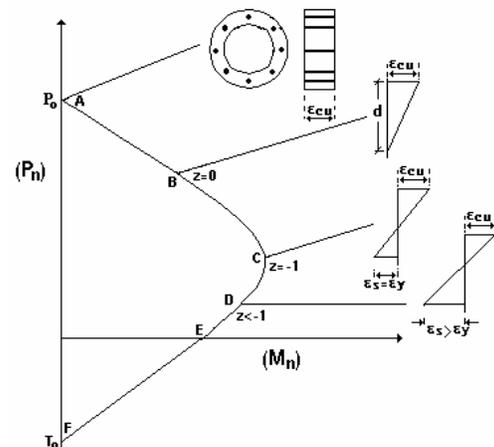
د) اگر $D-t < \beta_1 x \leq D$ باشد، (شکل ۳- د) آنگاه:

(۲۳)

$$A_c = \frac{D^2}{4} (\theta - \sin \theta \cos \theta) - \frac{\pi(D-2t)^2}{4}$$

(۲۴)

$$\bar{x} = \frac{D^3 \sin^3 \theta}{3[D^2 (\theta - \sin \theta \cos \theta) - \pi(D-2t)^2]}$$



شکل ۲: یاگرام اندرکنش نیروی محوری- مماس

خمشى يك مقطع فرضى

(۲۵)

$$P_n = F_c \pm \sum_{i=1}^n F_{s_i}$$

F_{s_i} : نیروی میلگردهای ردیف i ام

f_{s_i} : تنش میلگردهای ردیف i ام

A_{s_i} : مساحت میلگردهای ردیف i ام

(۳۱)

$$M_n = F_c \cdot \bar{x} + \sum_{i=1}^n F_{s_i} (D/2 - d_i)$$

d_i : فاصله میلگردهای ردیف i ام از تار بالای مقطع (تار

بحرانی بتن فشاری)

D : قطر خارجی مقطع ستون

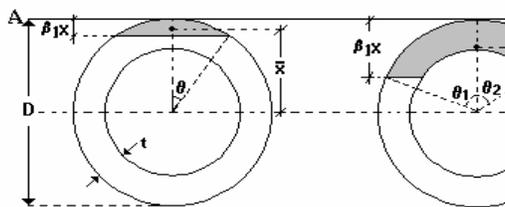
n : تعداد ردیف میلگردها

با توجه به روابط بالا و در نظر گرفتن متغیرهای مختلف برنامه کامپیوتری (فلوچارت شماره ۱) در محیط MATLAB نوشته شد و تعداد ۲۵۸ نمودار تداخلی برای ستون‌های جدارنازک دایره‌ای رسم گردید [۱]، نمونه‌ای از آن‌ها در شکل ۵-الف نشان داده شده است.

۴ - آنالیز ستون‌های جدار نازک جعبه‌ای دارای

HSC با توزیع آرماتور محیطی یا در دو وجه

بمنظور تحلیل چنین مقاطعی، در مرجع [۵] با حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر جداره نازک آن‌ها و محاسبه بار بحرانی نتیجه‌گیری شد که در نسبت $h/a \geq 0.06$



های شکل تو خالی دارای HSC

شکست مصالح مقدم بر کمانش موضعی می‌باشد. در این مقاله همچنین با استفاده از روش توضیح داده شده در بند ۳ و توجه به شکل (۴)، آنالیز مقاطع جعبه‌ای با استفاده از روابط زیر صورت گرفته است:

الف) اگر $\beta_1 x \leq h$ باشد، آنگاه:

$$\theta = \pi/2 + \text{Arcsin}\left(\frac{2\beta_1 x}{D} - 1\right)$$

ه) اگر $D < \beta_1 x$ باشد، آنگاه:

(۲۶)

$$A_c = \pi(tD - t^2)$$

(۲۷)

$$\bar{x} = 0$$

حال با استفاده از روابط فوق و محاسبه نیروهای موجود مقطع، ظرفیت نیروی محوری و خمشی اسمی (P_n و M_n) مقطع بترتیب از روابط (۳۰) و (۳۱) تعیین می‌گردند:

(۲۸)

$$F_c = \alpha \cdot f'_c \cdot A_c$$

F_c : برآیند نیروی فشاری بتن با استفاده از بلوک تنش

مستطیل معادل (شکل ۱)

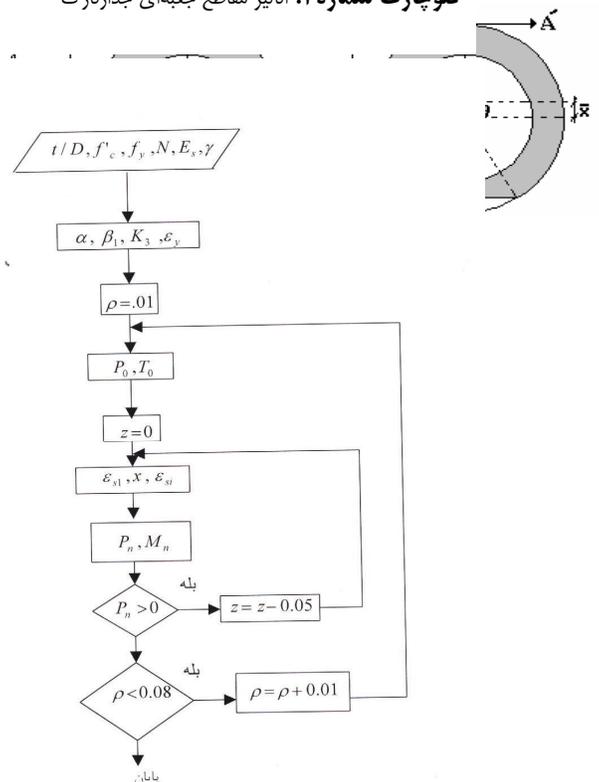
(۲۹)

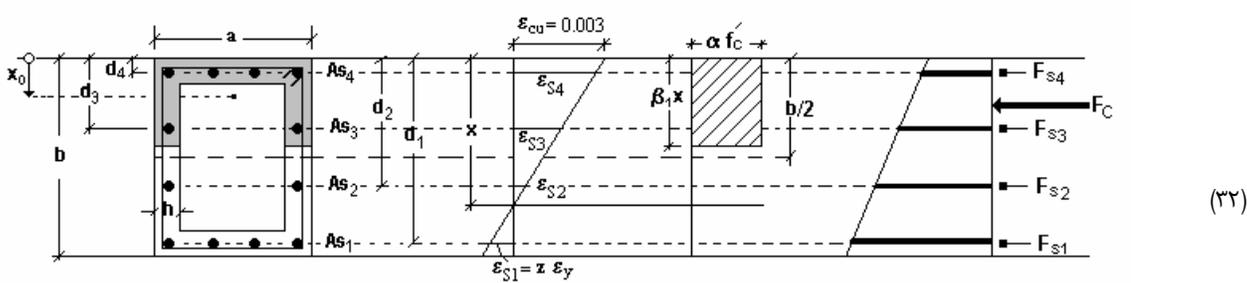
$$F_{s_i} = (f_{s_i} - \alpha f'_c) A_{s_i}$$

(۳۰)

فلوچارت شماره ۱: آنالیز مقاطع جدارنازک دایره‌ای شکل

فلوچارت شماره ۲: آنالیز مقاطع جعبه‌ای جدارنازک





با استفاده از روابط (۲۹، ۲۸ و ۳۰) بترتیب

مقادیر F_c, F_{s_i}, P_n و سپس با استفاده از رابطه (۳۹)

مقدار M_n تعیین می‌گردد.

(۴۰)

$$M_n = F_c \cdot \left(\frac{b}{2} - x_0\right) + \sum_{i=1}^n F_{s_i} (b/2 - d_i)$$

حال با توجه به روابط مزبور برای متغیرهای مختلف، برنامه کامپیوتری (فلوچارت شماره ۲) در محیط MATLAB نوشته شد و تعداد ۱۸۳ نمودار تداخلی جهت آنالیز ستون‌های جعبه‌ای دارای HSC ترسیم گردید [۱] که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل ۶- الف نشان داده شده است.

۵- رسم نمودارهای تداخلی جهت طراحی ستون‌های با اشکال مختلف دارای (HSC)

با اعمال ضرائب کاهش ظرفیت پیشنهاد شده در [ACI-318]؛ بشرح زیر، نمودارهای تداخلی آنالیز ستون‌ها به نمودارهای تداخلی طراحی ستون‌ها تبدیل شده و نمودارها ترسیم گردیده است (شکل ۶ و ۷- ب).

(۴۱)

$$P_u = \phi P_n$$

P_u : بار نهایی مقطع
 ϕ : ضریب کاهش ظرفیت

(۴۲)

$$P_a = \min(0.143 f'_c A_g, P_{nb})$$

P_{nb} : ظرفیت اسمی مقطع در حالت گسیختگی متعادل محدودیت ACI برای ستون‌های با فولاد عرضی مجزا:

$$A_c = a \cdot \beta_1 x$$

(۳۳)

$$x_0 = \beta_1 x / 2$$

a : عرض مقطع (شکل ۴- الف)

A_c : مساحت بتن ناحیه فشاری مقطع

x_0 : فاصله از تار فشاری خارجی مقطع تا مرکز سطح

بلوک فشاری (شکل ۴- الف)

ب) اگر $h \leq \beta_1 x \leq b - h$ باشد، آنگاه:

(۳۴)

$$A_c = ah + 2h\beta_1 x - 2h^2$$

(۳۵)

$$x_0 = \frac{a(\beta_1 x)^2 - (a - 2h)(\beta_1 x - h)(h + \beta_1 x)}{2((\beta_1 x)a - (a - 2h)(\beta_1 x - h))}$$

ج) اگر $b - h \leq \beta_1 x \leq b$ باشد، آنگاه:

(۳۶)

$$A_c = 2ah + 2bh + a\beta_1 x - 4h^2 - ab$$

(۳۷)

$$x_0 = \frac{a(\beta_1 x)^2 - (b - 2h)(a - 2h)b}{2(\beta_1 xa - (b - 2h)(a - 2h))}$$

د) اگر $\beta_1 x > b$ باشد، آنگاه:

(۳۸)

$$A_c = 2ah + 2bh - 4h^2$$

(۳۹)

$$x_0 = b/2$$

۶ - خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا روابط مربوط به آنالیز ستون‌های دایره‌ای و جعبه‌ای تو خالی دارای HSC استخراج گردیده، سپس با یک روش ساده که نیاز به سعی و خطا جهت محاسبه ارتفاع تار خنثی نمی‌باشد و استفاده از برنامه نویسی در محیط MATLAB برای متغیرهای مختلف از قبیل $f_y, f'_c, \gamma, h/a, h/b$ (برای ستون‌های جعبه ای) و $f_y, f'_c, \gamma, t/D$ (برای مقاطع دایره‌ای توخالی)، دیاگرام‌های تداخلی آنالیز مقاطع رسم گردید. همچنین با اعمال محدودیت‌ها و ضرایب آیین‌نامه‌ای دیاگرام‌های تداخلی طراحی ستون‌ها نیز ترسیم گردید. استفاده از این دیاگرام‌ها امکان طراحی سریع و آسان همراه با کاهش خطاهای محاسباتی را برای طراح فراهم می‌سازد.

مثال - مطلوبست طرح ستون کوتاه با مقطع دایره ای تو خالی دارای (HSC) با توجه به اطلاعات زیر:

$$P_u = 2.2 * 10^6 \text{ N} \quad M_{ux} = 4 * 10^5 \text{ N.m}$$

$$M_{uy} = 1.9 * 10^5 \text{ N.m} \quad f'_c = 80 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

حل - با فرض اولیه
 $d' = 5 \text{ Cm}$, $t = 10 \text{ Cm}$ (ضخامت جداره)
 $D = 50 \text{ Cm}$, خواهیم داشت:

$$e = \frac{M_u}{P_u} = 0.2 \text{ m} \quad \frac{e}{D} = 0.4$$

$$\gamma = \frac{50 - 2 * 5}{50} = 0.8$$

$$M_u = \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2} = 4.43 * 10^5 \text{ N.m}$$

$$\frac{P_u}{D^2} = 8.8 \text{ Mpa}$$

با توجه به (شکل ۵-ب) مقدار ρ ، برابر با 0.04 بدست

$$\rho = 0.04 = \frac{n A_{st}}{A_g} = \frac{8 * \pi D^2 / 4}{\frac{\pi}{4} (500^2 - 300^2)}$$

می‌آید.

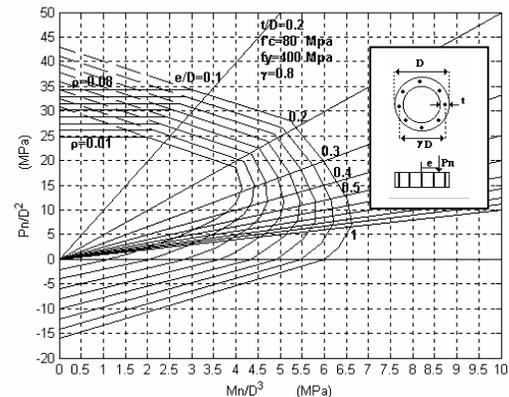
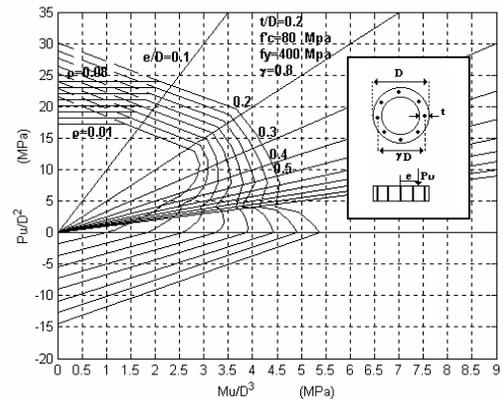
$$\Rightarrow D = 28 \text{ mm}$$

(۴۳)

$$P_n \geq P_a \Rightarrow \phi = 0.7$$

(۴۴)

$$P_n \leq P_a \Rightarrow \phi = 0.9 - \frac{0.2 P_n}{P_a} \geq 0.7$$



شکل ۵: نمودار تداخلی آنالیز (الف) و طراحی (ب) ستون‌های دایره‌ای شکل تو خالی دارای HSC با فولاد جانبی حلقه‌ای

[۳] مقصودی، ع.ا.، و صفی یاری، ن.، ۱۳۷۹، "بررسی مقاومت ستون های لاغر ساخته شده از بتن با مقاومت بالا،" سومین کنفرانس بین المللی بتن، تهران.

[۴] مقصودی، ع.ا.، و شاه جوان، م.، ۱۳۸۰، "آنالیز و طراحی شکل پذیری مقاطع خمشی بتن با مقاومت بالا،" اولین کنفرانس بین المللی بتن و توسعه، تهران.

[۵] مقصودی، ع.ا.، و ذاکر اسقامتی، ع.، ۱۳۸۰، "تحلیل و طراحی ستون های جعبه ای دارای بتن با مقاومت بالا (HSC)،" اولین کنفرانس ایمن سازی و بهسازی، تهران دانشگاه امیر کبیر.

[6] Carrasquillo, R.L., Nilson, A.H., and Slate, F.O., 1981, " Properties of High-Strength Concrete Subject to Short-Term Loads," ACI Journal, V. 78, No.3, PP. 171-178.

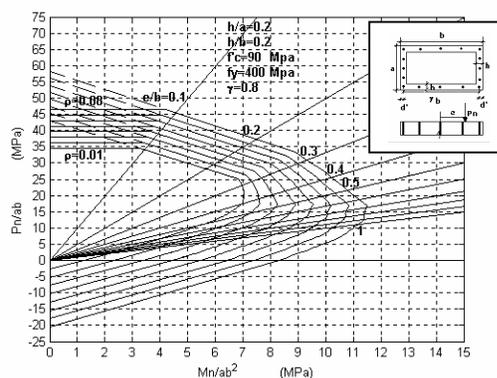
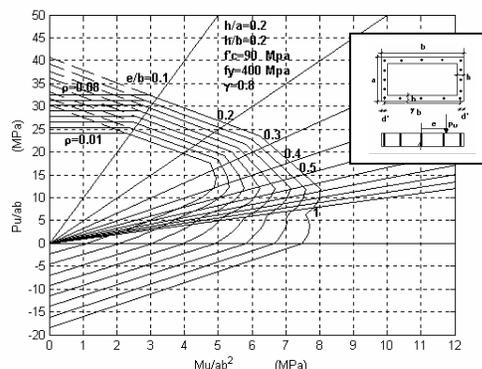
[7] Parrot, L.j., 1969, "The Properties of High-Strength Concrete," Technical Report, No. 42.417, Cement and Concrete Association, 12pp.

[۸] غیوری، امیر هوشنگ، ۱۳۸۰، "راهنمای جامع MATLAB 6،" کانون نشر علوم.

[9] ACI 318-95, 1995, "Building Code Requirements for Reinforced Concrete," American Concrete Institute, Detrite.

[10] Standards Association of Newzealand, 1995, "Concrete Structures NZs 3101 part 1: Design,"

بنابراین ستون با فولادهای جانبی حلقه‌ای مجزا و مشخصات $D = 50\text{Cm}$, $t = 10\text{Cm}$, $8\Phi 28$ پاسخگو است.



شکل ۶: نمودار تداخلی آنالیز(الف) و طراحی(ب) مقاطع جعبه‌ای دارای HSC با توزیع پیرامونی میلگرد

۷- مراجع

[۱] رضاییان، هومان، ۱۳۸۱، "آنالیز، طراحی و شکل پذیری ستون‌های دایره‌ای شکل جدار نازک بتنی دارای بتن با مقاومت بالا،" پایان نامه کارشناسی ارشد (در دست تهیه)، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[۲] صفی یاری، ناصر، ۱۳۷۹، "بررسی مقاومت ستون های لاغر ساخته شده از بتن با مقاومت بالا (HSC)،" پایان نامه کارشناسی ارشد.