



**راهنمای گام به گام طراحی اعضای قاب های بتن مسلح**

**مطابق آیین نامه ACI 318-14**

**قسمت اول - طرح غیر لرزه ای تیرها و ستون ها**

**عبدالمهدی عباسی**

## فهرست مطالب

- خلاصه بندهای آیین نامه ACI 318-14 مرتبط با طرح غیر لرزه ای تیرها و ستون ها

- الگوریتم های طرح خمشی تیرها

- الگوریتم طرح برشی تیرها

- الگوریتم طرح برای پیچش تیرها

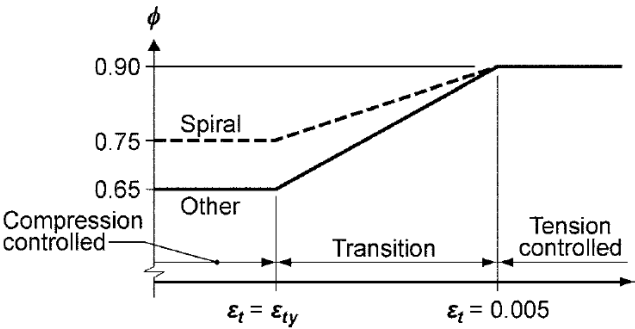
- الگوریتم ترسیم منحنی اندرکنش ستون ها

## قسمت اول

خلاصه بندهای آیین نامه ACI 318-14 مرتبط با طرح غیر لرزه ای

تیرها و ستون ها

<b>بند های آیین نامه ACI 318-14 برای تحلیل خمشی تیرها</b>											
9.5.1.1	برای هر ترکیب بارگذاری قابل کاربرد، مقاومت طراحی در کلیه مقاطع باید رابطه $\phi S_n \geq U$ شامل (الف) اثرات مستقل و (ب) اندرکنش بین اثرات بارهای در نظر گرفته شده را ارضا نماید. (الف) $\phi M_n > M_u$										
9.5.1.2	$\phi$ مطابق با قسمت 21.2 محاسبه می شود.										
9.5.2.1	اگر $P_u < 0.10f'_c A_g$ ، $M_n$ براساس قسمت 22.3 محاسبه می شود. بند 22.3.1 قسمت 22.3 بیان می دارد که $M_n$ مطابق با فرضیات قسمت 22.2 محاسبه گردد.										
9.6.1.1	مقدار حداقل میلگرد به میزان $A_{s,min}$ در هر مقطعی که براساس تحلیل انجام شده آرماتور کششی مورد نیاز است باید تامین شود.										
9.6.1.2	$A_{s,min}$ برابر با بیشترین مقدار محاسبه شده از روابط (الف) و (ب) به جز مورد ذکر شده در بند 9.6.1.3 می باشد. برای یک تیر معین استاتیکی با بال کششی مقدار $b_w$ باید کمتر از $b_f$ و $2b_w$ باشد. (الف) $\frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d$ (ب) $\frac{1.4}{f_y} b_w d$										
9.6.1.3	اگر $A_s$ فراهم شده در هر مقطع حداقل $1/3$ برابر $A_s$ محاسبه شده در تحلیل باشد نیازی به در نظر گرفتن بند های 9.6.1.1 و 9.6.1.2 نیست.										
9.3.3.1	برای تیرهای غیر پیش تنیده، که در آنها $P_u < 0.10f'_c A_g$ باشد، حداقل مقدار $\epsilon_t$ باید برابر 0.004 باشد.										
9.3.1.1	برای تیرهای غیرپیش تنیده ای که حمل کننده یا متصل به پارتیشن ها یا سایر ساخته هایی که می توانند بر اثر تغییرشکل های زیاد آسیب ببینند، نیستند، ارتفاع تیر $h$ باید محدودیت های جدول 9.3.1.1 را ارضا نماید. مگر اینکه محاسبه تغییرشکل ها محدودیت های بند 9.3.2 را ارضا نماید. <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th>شرایط تکیه گاهی</th> <th>حداقل <math>h</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>تکیه گاه ساده</td> <td><math>l/16</math></td> </tr> <tr> <td>از یک طرف پیوسته</td> <td><math>l/18.5</math></td> </tr> <tr> <td>از دو طرف پیوسته</td> <td><math>l/21</math></td> </tr> <tr> <td>طره ای</td> <td><math>l/8</math></td> </tr> </tbody> </table> <p>روابط ارائه شده در جدول فوق، برای بتن با وزن معمولی و میلگردهای گرید 420 می باشد برای بقیه حالت ها حداقل <math>h</math> باید مطابق بندهای 9.3.1.1.1 تا 9.3.1.1.3 هر کدام قابل کاربرد باشد اصلاح گردد. بند 9.3.1.1.1 مقرر می دارد که برای <math>f_y</math> های غیر از 420 مگاپاسکال، روابط جدول فوق در عبارت <math>(0.4 + \frac{f_y}{700})</math> ضرب شوند. بند 9.3.1.1.2 مربوط به بتن های سبک می باشد که از محدوده مطالب این کتاب خارج است. بند 9.3.1.1.3 مربوط به ضرایب اصلاحی بتن های ترکیبی است که از محدوده مطالب این کتاب خارج است. بند 9.3.2 مربوط به محاسبات تغییرفرم است که در فصل مربوطه به تفصیل بررسی خواهد شد.</p>	شرایط تکیه گاهی	حداقل $h$	تکیه گاه ساده	$l/16$	از یک طرف پیوسته	$l/18.5$	از دو طرف پیوسته	$l/21$	طره ای	$l/8$
شرایط تکیه گاهی	حداقل $h$										
تکیه گاه ساده	$l/16$										
از یک طرف پیوسته	$l/18.5$										
از دو طرف پیوسته	$l/21$										
طره ای	$l/8$										

<p>ضریب کاهش مقاومت <math>\phi</math> باید مطابق جدول 21.2.1 انتخاب شود مگر آنکه با بندهای 21.2.2 و 21.2.3 و 21.2.4 اصلاح شود.</p> <p>جدول 21.2.1</p> <table border="1" data-bbox="300 371 1201 551"> <tr> <td data-bbox="300 371 603 551"> <p>نزدیک انتهای اعضای پیش تنیده که استراندها به صورت کامل توسعه نیافته اند <math>\phi</math> باید مطابق 21.2.3 انتخاب شود</p> </td> <td data-bbox="603 371 903 551"> <p>مقدار <math>\phi</math> از 0.65 تا 0.9 مطابق بند 21.2.2 انتخاب می شود</p> </td> <td data-bbox="903 371 1201 551"> <p>برای خمش، نیروی محوری و ترکیب خمش و نیروی محوری</p> </td> </tr> </table>	<p>نزدیک انتهای اعضای پیش تنیده که استراندها به صورت کامل توسعه نیافته اند <math>\phi</math> باید مطابق 21.2.3 انتخاب شود</p>	<p>مقدار <math>\phi</math> از 0.65 تا 0.9 مطابق بند 21.2.2 انتخاب می شود</p>	<p>برای خمش، نیروی محوری و ترکیب خمش و نیروی محوری</p>	<p>21.2.1</p>
<p>نزدیک انتهای اعضای پیش تنیده که استراندها به صورت کامل توسعه نیافته اند <math>\phi</math> باید مطابق 21.2.3 انتخاب شود</p>	<p>مقدار <math>\phi</math> از 0.65 تا 0.9 مطابق بند 21.2.2 انتخاب می شود</p>	<p>برای خمش، نیروی محوری و ترکیب خمش و نیروی محوری</p>		
<p>ضریب کاهش مقاومت برای خمش، نیروی محوری و ترکیب خمش - نیروی محوری مطابق جدول 21.2.2 محاسبه می شود (در اینجا شکل R21.2.2b به جای آن آورده شده است)</p>  <p>The graph shows the relationship between the reduction factor <math>\phi</math> and the tensile strain <math>\epsilon_t</math>. The y-axis represents <math>\phi</math> with values 0.65, 0.75, and 0.90. The x-axis represents <math>\epsilon_t</math> with values <math>\epsilon_t = \epsilon_{ty}</math> and <math>\epsilon_t = 0.005</math>. The curve is divided into four regions: 'Compression controlled' (constant <math>\phi = 0.65</math>), 'Other' (constant <math>\phi = 0.65</math>), 'Transition' (linear increase from <math>\phi = 0.65</math> to <math>\phi = 0.90</math>), and 'Tension controlled' (constant <math>\phi = 0.90</math>). A dashed line labeled 'Spiral' starts at <math>\phi = 0.75</math> and <math>\epsilon_t = 0</math>, and a solid line labeled 'Other' starts at <math>\phi = 0.65</math> and <math>\epsilon_t = 0</math>.</p>	<p>21.2.2</p>			
<p>برای میلگرد آجدار، مقدار <math>\epsilon_{ty}</math> برابر <math>\frac{f_y}{E_s}</math> می باشد برای آرماتور گرید 420 می توان <math>\epsilon_{ty}</math> را برابر 0.002 در نظر گرفت.</p>	<p>21.2.2.1</p>			
<p>تعادل باید در تمام مقاطع برقرار باشد.</p>	<p>22.2.1.1</p>			
<p>کرنش در بتن و میلگردهای غیرپیش تنیده متناسب با فاصله از محور خنثی در نظر گرفته می شود.</p>	<p>22.2.1.2</p>			
<p>حداکثر کرنش در دورترین تار فشاری بتن برابر 0.003 فرض می شود.</p>	<p>22.2.2.1</p>			
<p>از مقاومت کششی بتن در محاسبات مقاومت محوری و خمشی صرفنظر می شود</p>	<p>22.2.2.2</p>			
<p>رابطه بین تنش فشاری بتن و کرنش به صورت مستطیل، دوزنقه یا هر شکل دیگری که نتایج در توافق اساسی با آزمون های جامع ارایه نماید مجاز می باشد.</p>	<p>22.2.2.3</p>			
<p>توزیع تنش معادل مستطیلی مطابق 22.2.2.4.1 تا 22.2.2.4.3 ارضا کننده 22.2.2.3 می باشد.</p>	<p>22.2.2.4</p>			
<p>تنش فشاری <math>0.85f'_c</math> که به صورت یکنواخت روی یک ناحیه فشاری معادل، قرار گرفته بین لبه های مقطع و خط موازی با محورخنثی در فاصله <math>a</math> از تار با ماکزیمم کرنش فشاری وارد می شود. <math>a</math> از رابطه زیر محاسبه می گردد:</p> $a = \beta_1 c$	<p>22.2.2.4.1</p>			
<p>فاصله تار با کرنش فشاری حداکثر از محور خنثی <math>c</math> عمود بر محور خنثی اندازه گیری می شود.</p>	<p>22.2.2.4.2</p>			
<p>مقدار <math>\beta_1</math> مطابق با جدول 22.2.4.3 محاسبه می شود ( در اینجا به صورت روابط آمده است)</p> $\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & f'_c \leq 28 \text{ MPa} \\ 0.85 - 0.05 \frac{f'_c - 28 \text{ MPa}}{7 \text{ MPa}} & 28 \text{ MPa} < f'_c \leq 55 \text{ MPa} \\ 0.65 & f'_c > 55 \text{ MPa} \end{cases}$	<p>22.2.2.4.3</p>			

شماره بند آیین نامه	شرح						
22.5.1.1	مقاومت برشی اسمی در یک مقطع، $V_n$ از رابطه زیر محاسبه می شود: $V_n = V_c + V_s$						
9.5.1.1	برای هر ترکیب بارگذاری قابل اعمال به عضو، مقاومت طراحی هر مقطع عضو باید رابطه $\phi S_n \geq U$ را تامین نماید. برای نیروی برشی این رابطه به صورت زیر نوشته می شود: $\phi V_n > V_u$ $\phi$ طبق 21.2 محاسبه می شود.						
21.2.1	ضریب کاهش مقاومت $\phi$ مطابق جدول 21.2.1 آیین نامه برای برش، برابر 0.75 می باشد.						
22.2.4.1	اعضایی که برای مقاومت در برابر برش ناشی از زلزله طراحی می شوند و در آنها مقاومت برشی اسمی عضو کمتر از برش معادل مقاومت خمشی اسمی آن عضو است، ضریب $\phi$ برابر 0.6 منظور می شود. مقاومت خمشی اسمی عضو با در نظر گرفتن بحرانی ترین بارهای محوری ضریب دار شامل بار زلزله محاسبه می شوند.						
22.5.1.2	ابعاد مقطع طوری انتخاب می شود که معادله 22.5.1.2 برقرار باشد: $V_u \leq \phi \left( V_c + 0.066 \sqrt{f'_c} b_w d \right)$						
22.5.1.3	برای اعضای غیر پیش تنیده $V_c$ طبق 22.5.5، 22.5.6 یا 22.5.7 محاسبه می شود.						
22.5.1.6	$V_s$ مطابق بند 22.5.10 محاسبه می شود.						
22.5.2.2	برای محاسبه $V_c$ و $V_s$ در مقاطع توپر دایره ای، $d$ را می توان برابر هشتاد درصد اندازه قطر و $b_w$ را برابر قطر در نظر گرفت.						
22.5.3.1	مقدار $\sqrt{f'_c}$ برای محاسبه $V_c$ در برش یک طرفه نباید از $8.3 \text{ MPa}$ تجاوز نماید. مگر آنکه شرایط بند 22.5.3.2 برقرار باشد.						
22.5.3.2	مقدار $\sqrt{f'_c}$ برای محاسبه $V_c$ در برش یک طرفه را می توان بیش از $8.3 \text{ MPa}$ در نظر گرفت که تیر بتن مسلح یا تریچه بتنی یا تیر پیش تنیده، حداقل آرماتور مطابق بند 9.6.3.3 یا 9.6.4.2 را داشته باشد.						
9.6.3.1	استفاده از حداقل مساحت فولاد برشی $A_{v,min}$ در همه نواحی که $V_u > 0.5\phi V_c$ لازم است مگر آنکه یکی از شرایط جدول 9.6.3.1 برقرار باشد. در حالات ذکر شده در جدول 9.6.3.1 حداقل فولاد برشی $A_{v,min}$ در هر مقطعی که $V_u > \phi V_c$ باشد ضروری است. جدول 9.6.3.1 شرایطی که اگر $V_c < V_u \leq 0.5\phi V_c$ باشد استفاده از $A_{v,min}$ ضروری نیست						
	<table border="1"> <tr> <td>تیر با عمق کم</td> <td><math>h \leq 250 \text{ mm}</math></td> </tr> <tr> <td>تیری که همزمان با دال ریخته شده باشد</td> <td><math>h \leq \max(2.5t_f \text{ or } 0.5b_w)</math></td> </tr> <tr> <td>سیستم های تیرچه بتنی یک طرفه</td> <td>مطابق بند 9.8</td> </tr> </table>	تیر با عمق کم	$h \leq 250 \text{ mm}$	تیری که همزمان با دال ریخته شده باشد	$h \leq \max(2.5t_f \text{ or } 0.5b_w)$	سیستم های تیرچه بتنی یک طرفه	مطابق بند 9.8
تیر با عمق کم	$h \leq 250 \text{ mm}$						
تیری که همزمان با دال ریخته شده باشد	$h \leq \max(2.5t_f \text{ or } 0.5b_w)$						
سیستم های تیرچه بتنی یک طرفه	مطابق بند 9.8						
9.7.6.2.2	حداکثر فاصله بین میلگردهای برشی باید مطابق با جدول 9.7.6.2.2 باشد. جدول 9.7.6.2.2 حداکثر فاصله بین میلگردهای برشی						
	<table border="1"> <tr> <td><math>V_s</math></td> <td><math>s, \text{ mm}</math></td> </tr> <tr> <td><math>\leq 0.33\sqrt{f'_c} b_w d</math></td> <td><math>\min(d/2, 600 \text{ mm})</math></td> </tr> <tr> <td><math>&gt; 0.33\sqrt{f'_c} b_w d</math></td> <td><math>\min(d/4, 300 \text{ mm})</math></td> </tr> </table>	$V_s$	$s, \text{ mm}$	$\leq 0.33\sqrt{f'_c} b_w d$	$\min(d/2, 600 \text{ mm})$	$> 0.33\sqrt{f'_c} b_w d$	$\min(d/4, 300 \text{ mm})$
$V_s$	$s, \text{ mm}$						
$\leq 0.33\sqrt{f'_c} b_w d$	$\min(d/2, 600 \text{ mm})$						
$> 0.33\sqrt{f'_c} b_w d$	$\min(d/4, 300 \text{ mm})$						
9.4.3.1	برای تیرهایی که با تکیه گاه به صورت همزمان بتن ریزی می شوند، $V_u$ را می توان بر تکیه گاه محاسبه کرد و طراحی را براساس آن انجام داد.						
9.4.3.2	مقاطع بین بر تکیه گاه و مقطع بحرانی قرار گرفته به فاصله $d$ از وجه تکیه گاه را می توان برای محاسبه $V_u$ در مقطع بحرانی استفاده کرد مشروط بر آنکه: الف. عکس العمل تکیه گاهی در جهت برش اعمال شده نیروی فشاری در انتهای تیر ایجاد نماید ب. بار بالا یا نزدیک به وجه بالایی تیر به آن وارد شود ج. بار متمرکزی در فاصله بین وجه تکیه گاه و مقطع بحرانی وارد نشود.						

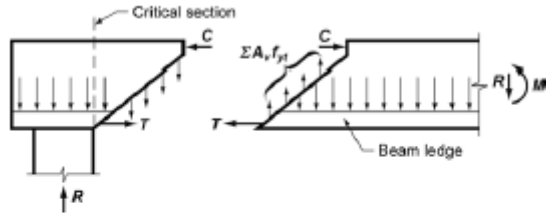


Fig. R9.4.3.2b—Location of critical section for shear in a beam loaded near bottom.

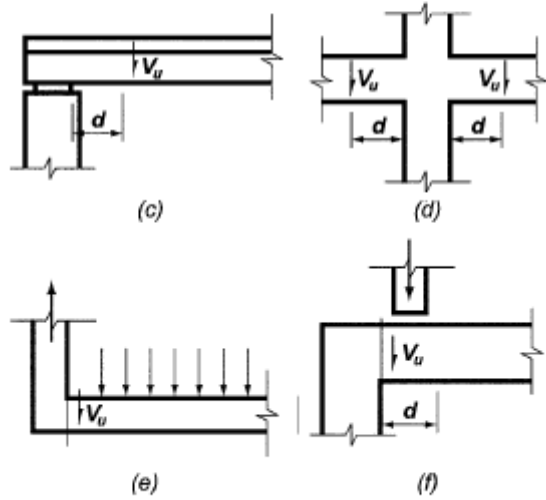


Fig. R9.4.3.2(c), (d), (e), (f)—Typical support conditions for locating factored shear force  $V_u$ .

اگر آرما تور برشی مورد نیاز باشد و از اثرات پیش‌بینی بند 9.5.4.1 بتوان صرف‌نظر کرد،  $A_{v,min}$  مطابق جدول 9.6.3.3 محاسبه می‌شود.

9.6.3.3

جدول 9.6.3.3 حداقل فولاد برشی مقطع	
نوع تیر	$\frac{A_{v,min}}{s}$
تیر غیر پیش‌تنیده	$\begin{cases} 0.062\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}} \\ \text{بزرگتر} \\ 0.35 \frac{b_w}{f_{yt}} \end{cases}$

مقادیر  $f_{yt}$  مورد استفاده برای محاسبه  $V_c$  نباید از حدود ذکر شده در بند 20.2.2.4 تجاوز کند.

22.5.3.3

مطابق جدول 20.2.2.4 حداکثر  $f_{yt}$  اجازه داده شده برای طراحی خاموت‌ها در صورت استفاده از میلگرد به عنوان مسلح کننده برشی،  $420 \text{ MPa}$  می‌باشد.

20.2.2.4

برای اعضای غیر پیش‌تنیده و بدون بار محوری،  $V_c$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

22.5.5.1

$$V_c = 0.17\lambda\sqrt{f'_c}b_wd$$

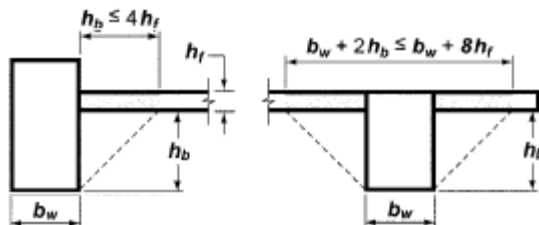
می‌توان از روابط مفصل‌تر جدول 22.5.5.1 نیز استفاده کرد:

$V_c$	
کمترین مقدار	الف. $\left(0.16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d$
	ب. $\left(0.16\lambda\sqrt{f'_c} + 17\rho_w\right) b_w d$
	ج. $\left(0.29\lambda\sqrt{f'_c}\right) b_w d$

22.5.6.1	برای اعضای غیر پیش تنیده با بار محوری فشاری، $V_c$ از رابطه زیر محاسبه می شود: $V_c = 0.17 \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$ $N_u$ در فشار مثبت در نظر گرفته می شود.
22.5.7.1	برای اعضای غیر پیش تنیده با کشش محوری قابل توجه، $V_c$ از رابطه زیر محاسبه می شود: $V_c = 0.17 \left( 1 + \frac{N_u}{3.5A_g} \right) \lambda \sqrt{f'_c} b_w d$ $N_u$ در کشش منفی و $V_c$ نمی تواند کمتر از صفر باشد.
22.5.10.1	در هر مقطعی از عضو که $V_u > \phi V_c$ میلگرد عرضی مطابق معادله 22.5.10.1 تامین گردد: $V_s \geq \frac{V_u}{\phi} - V_c$
22.5.10.5.3	$V_s$ برای مسلح سازی برشی از رابطه زیر محاسبه می شود: $V_s = \frac{A_v}{s} f_{yt} d$ که $s$ فاصله بین میلگردهای برشی و $A_v$ طبق 22.5.10.5.5 یا 22.5.10.5.6 تعریف می شود.
22.5.10.5.2	استفاده از مسلح کننده برشی مایل با زاویه حداقل 45 درجه با محور طولی و عبوری از صفحه ترک های محتمل برشی، به عنوان مسلح کننده در اعضای غیر پیش تنیده مجاز است.
22.5.10.5.4	برای خاموت های با شرایط 22.5.10.5.2، $V_s$ از رابطه زیر محاسبه می شود: $V_s = \frac{A_v}{s} f_{yt} (\sin \alpha + \cos \alpha) d$ که $\alpha$ زاویه بین خاموت های مایل و محور طولی عضو است. $s$ موازی با محور طولی اندازه گیری می شود.
22.5.10.5.5	برای خاموت های مستطیل شکل، $A_v$ مساحت موثر کلیه ساق های خاموت در فاصله $s$ می باشد.

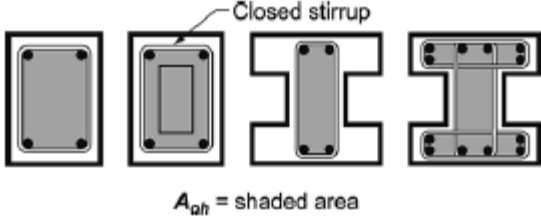
### ج- پیچش

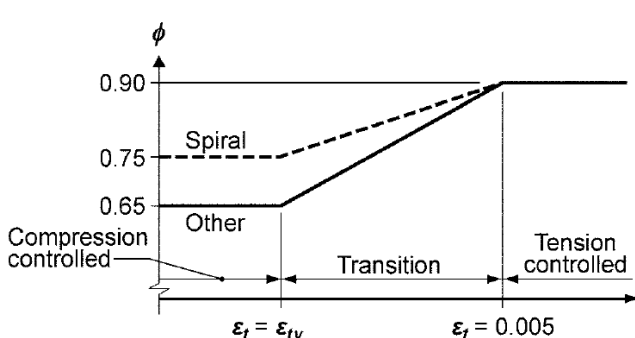
شماره بند آیین نامه	شرح
9.2.4.4	برای طراحی پیچشی مطابق بند 22.7 میزان بیرون زدگی بال تیر برای محاسبه $A_{cp}$ ، $A_g$ ، $P_{cp}$ مطابق الف و ب محاسبه می شود: الف. عرض بیرون زدگی بال شامل قسمتی از دال در طرفین تیر که به میزان تصویر بزرگتر تیر روی دال در بالا و پایین آن می باشد این مقدار لازم نیست بیشتر از چهار برابر ضخامت دال باشد. ب. بیرون زدگی بال هنگامی که برای یک مقطع توپر مقدار پارامتر $A_{cp}^2 / P_{cp}$ کمتر همین مقدار برای تیر بدون در نظر گرفتن بالها باشد نادیده گرفته می شود.
9.4.4.1	در صورتی که تحلیل هایی دقیق تر انجام نشود اجازه داده می شود پیچش حاصل از دال به صورت یکنواخت روی تیر متصل به آن توزیع شود.
9.4.4.2	برای تیری که همزمان با تکیه گاه بتن ریزی شده باشد، $T_u$ در تکیه گاه را می توان در وجه آن محاسبه کرد.





94.4.3	مقاطع بین وجه تکیه گاه و مقطع بحرانی به فاصله $d$ از وجه تکیه گاه را می توان برای $T_u$ مقطع بحرانی طراحی کرد مشروط براینکه در این فاصله پیچش متمرکزی وارد نشده باشد. در حالت اخیر، مقطع بحرانی در وجه تکیه گاه در نظر گرفته می شود.						
9.4.4.4	اجازه داده می شود $T_u$ مطابق بند 22.7.3 کاهش داده شود.						
9.5.1.1	برای هر ترکیب بارگذاری قابل اعمال به عضو، مقاومت طراحی هر مقطع عضو باید رابطه $\phi S_n \geq U$ را تامین نماید. برای نیروی برشی این رابطه به صورت زیر نوشته می شود: $\phi T_n > T_u$ $\phi$ طبق 21.2 برای پیچش برابر 0.75 می باشد.						
9.5.4.1	اگر $T_u < \phi T_{th}$ که مقدار $T_{th}$ در بند 22.7 داده شده است، می توان از اثرات پیچش صرفنظر کرد. حداقل آرماتور پیچشی مطابق بند 9.6.4 و الزامات تهیه جزئیات اجرایی مطابق 9.7.5 و 9.7.6.3 انجام می شود.						
9.5.4.2	$T_n$ مطابق بند 22.7 محاسبه می شود.						
9.5.4.3	میلگردهای طولی و عرضی مورد نیاز جهت پیچش به میلگردهای مورد نیاز برای $V_u, M_u, P_u$ افزوده می شوند تا در ترکیب با پیچش عمل نمایند.						
9.5.4.5	اجازه داده شده است که مساحت میلگردهای طولی پیچشی در ناحیه فشاری تیر به میزان $\frac{M_u}{0.9d f_y}$ که $M_u$ همزمان با $T_n$ در مقطع مورد نظر اتفاق می افتد، کاهش داد، مشروط بر آنکه مساحت میلگرد طولی کمتر از حداقل قید شده در بند 9.6.4 نباشد.						
9.6.4.1	حداقل مساحت آرماتور پیچشی در هر مقطعی که مطابق بند 22.7 $T_u \geq \phi T_{th}$ تامین گردد.						
9.6.4.2	اگر میلگردهای پیچشی مورد نیاز باشد، حداقل میلگرد عرضی $(A_v + 2A_t)min/s$ باید بزرگتر از مقادیر الف و ب باشد: الف. $0.062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}}$ ب. $0.35 \frac{b_w}{f_{yt}}$						
9.6.4.3	اگر میلگردهای پیچشی مورد نیاز باشد، حداقل مساحت آرماتورهای طولی $A_{t,min}$ برابر کمترین مقدار الف و ب است: الف. $0.42 \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$ ب. $0.42 \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0.175 b_w}{f_{yt}}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$						
22.7.1.1	این بخش در مورد اعضای کاربری دارد که $T_u \geq \phi T_{th}$ که $\phi$ در فصل 21 و پیچش آستانه $T_{th}$ در بند 22.7.4 داده شده است. اگر $T_u < \phi T_{th}$ اجازه داده می شود از اثرات پیچش در طراحی صرفنظر شود.						
22.7.1.2	مقاومت اسمی پیچشی مطابق 22.7.6 محاسبه می شود.						
22.7.1.3	برای محاسبه $T_{th}, T_{cr}$ مقدار $\lambda$ مطابق 19.2.4 محاسبه می شود. (در این کتاب بتن سازه ای مفروض، بتن با وزن معمولی است بنابراین همواره $\lambda = 1$ )						
22.7.2.1	مقدار $\sqrt{f'_c}$ مورد استفاده برای محاسبه $T_{th}, T_{cr}$ نباید از 8.3 مگاپاسکال تجاوز کند.						
22.7.2.2	مقادیر $f_y$ و $f_{yt}$ برای میلگردهای عرضی و طولی پیچشی نباید از حدود ذکر شده در بند 20.2.2.4 تجاوز کند. (در بند مذکور این مقادیر برای پیچش 420 MPa ذکر شده است)						
22.7.3.1	اگر $T_u \geq \phi T_{cr}$ و $T_u$ برای حفظ تعادل ضروری باشد، عضو برای مقاومت در برای $T_u$ طراحی می شود.						
22.7.3.2	در یک سازه نامعین که $T_u \geq \phi T_{cr}$ و کاهش $T_u$ به واسطه بازتوزیع نیروهای داخلی بعد از ایجاد ترک های پیچشی امکان پذیر باشد، اجازه داده شده است که $T_u$ به $\phi T_{cr}$ کاهش داده شود که $T_{cr}$ طبق بند 22.7.5 محاسبه می شود.						
22.7.3.3	اگر $T_u$ مطابق بند 22.7.3.2 قابل بازتوزیع باشد لنگر های خمشی و برش های ضریب دار مورد استفاده برای طراحی اعضای مجاور باید با لنگر پیچشی کاهش یافته در تعادل باشند.						
22.7.4.1	پیچش آستانه $T_{th}$ مطابق جدول 22.7.4.1 الف. محاسبه می شود، که $N_u$ در فشار مثبت، و برای کشش منفی است. جدول 22.7.4.1 الف- پیچش آستانه برای مقاطع توپر						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>نوع عضو</th> <th><math>T_{th}</math></th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>اعضای غیر پیش تنیده</td> <td><math>0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)</math></td> <td>الف</td> </tr> </tbody> </table>	نوع عضو	$T_{th}$		اعضای غیر پیش تنیده	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$	الف
نوع عضو	$T_{th}$						
اعضای غیر پیش تنیده	$0.083 \lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$	الف					

اعضای غیر پیش تنیده در معرض نیروی محوری	$0.083\lambda \sqrt{f'_c} \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33A_g \lambda \sqrt{f'_c}}}$	ج	
<p>22.7.5.1 پیچش ترک خوردگی <math>T_{cr}</math> مطابق جدول 22.7.5.1 محاسبه می شود، که <math>N_u</math> در فشار مثبت، و برای کشش منفی است.</p> <p>جدول 22.7.5.1 پیچش ترک خوردگی</p>	22.7.5.1		
<p>22.7.6.1 برای اعضای غیر پیش تنیده و پیش تنیده، <math>T_n</math> برابر کمترین مقدار الف و ب است:</p> $T_n = \frac{2A_0 A_t f_{yt}}{s} \cot \theta$ <p>الف.</p> $T_n = \frac{2A_0 A_t f_y}{P_h} \cot \theta$ <p>ب.</p> <p>که <math>A_0</math> با تحلیل مشخص می شود. <math>\theta</math> نباید کمتر از 30 درجه و بیشتر از 60 درجه باشد، <math>A_t</math> مساحت یک ساق خاموت بسته مقاوم در برابر پیچش، <math>A_l</math> مساحت میلگرد پیچشی طولی، و <math>P_h</math> محیط خط مرکزی بیرونی ترین خاموت بسته است.</p>	22.7.6.1		
<p>22.7.6.1.1 در روابط 22.7.6.1 الف و ب، اجازه داده می شود <math>A_0</math> برابر <math>0.85A_{oh}</math> منظور شود.</p>  <p><math>A_{oh}</math> = shaded area</p> <p>Fig. R22.7.6.1.1—Definition of <math>A_{oh}</math>.</p>	22.7.6.1.1		
<p>22.7.6.1.2 در روابط 22.7.6.1 الف و ب، اجازه داده می شود <math>\theta</math> برابر روابط الف و ب در نظر گرفته شود:</p> <p>الف. 45 درجه برای غیر پیش تنیده</p> <p>بند ب مربوط به اعضای پیش تنیده است در اینجا ذکر نشده است.</p>	22.7.6.1.2		
<p>22.7.7.1 ابعاد مقطع به گونه ای انتخاب شود که رابطه بند الف برقرار باشد:</p> <p>الف. برای مقاطع توپر</p> $\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$	22.7.7.1		
<p>9.7.5.1 اگر میلگردهای پیچشی مورد نیاز باشد، میلگردهای طولی پیچشی باید به صورت یکنواخت در محیط خاموت های بسته به نحوی که فاصله آنها از 300 میلی متر بیشتر نشود توزیع شود. میلگردهای طولی داخل خاموت بسته قرار می گیرد و حداقل یک میلگرد طولی در تمام گوشه ها قرار گیرد.</p>	9.7.5.1		
<p>9.7.5.2 میلگردهای طولی پیچشی، حداقل قطری برابر 0.042 برابر میلگردهای عرضی داشته باشد ولی نباید کمتر از 10mm باشد.</p>	9.7.5.2		
<p>9.7.5.3 میلگردهای طولی پیچشی، در وجه تکیه گاه در هر دو انتهای عضو مهار شوند.</p>	9.7.5.3		
<p>9.7.6.3.1 اگر میلگردهای عرضی پیچشی مورد نیاز باشد، این میلگردهای عرضی باید مطابق بند 25.7.1.6 از نوع خاموت بسته باشد.</p>	9.7.6.3.1		
<p>9.7.6.3.2 میلگردهای عرضی پیچشی باید حداقل به اندازه <math>b_t + d</math> آنسوی نقطه ای که تحلیل نشان می دهد ادامه یابد.</p>	9.7.6.3.2		
<p>9.7.6.3.3 فاصله بین میلگردهای پیچشی عرضی نباید بیش از <math>P_h/8</math> و 300 میلی متر باشد.</p>	9.7.6.3.3		

شماره بند آیین نامه	شرح								
10.4.1.1	مقاومت مورد نیاز مطابق ترکیبات بارگذاری ضریب دار فصل 5 آیین نامه محاسبه می شود. توضیح: در فصل 5 آیین نامه ترکیبات بارگذاری مورد اشاره قرار گرفته است. در این کتاب در فصل مبانی تحلیل به این ترکیبات و نیز این فصل آیین نامه اشاره شده است.								
10.4.1.2	مقاومت مورد نیاز مطابق روش های تحلیل ارائه شده در فصل 6 آیین نامه محاسبه می شود. توضیح: در فصل 6 آیین نامه روش های مجاز تحلیل مورد بررسی قرار گرفته است. در این کتاب در فصل مبانی بارگذاری و تحلیل به این روش ها و فصل مربوطه آیین نامه اشاره شده است.								
10.4.2.1	$P_u, M_u$ که در هر ترکیب بارگذاری به صورت همزمان وارد می شوند، لازم است در نظر گرفته شوند.								
10.5.1.1	برای هر ترکیب بارهای ضریبدار، مقاومت طراحی در کلیه مقاطع عضو، رابطه $\phi S_n \geq U$ شامل معادله زیر را ارضا می کند. اندرکنش بین بارها باید در نظر گرفته شود. $\phi P_n \geq P_u$ $\phi M_n \geq M_u$ $\phi V_n \geq V_u$ $\phi T_n \geq T_u$								
10.5.1.2	$\phi$ مطابق بند 21.2 محاسبه می شود.								
21.2.1	ضریب کاهش مقاومت $\phi$ باید مطابق جدول 21.2.1 انتخاب شود مگر آنکه با بندهای 21.2.2 و 21.2.3 و 21.2.4 اصلاح شود. جدول 21.2.1								
	<table border="1"> <tr> <td>نزدیک انتهای اعضای پیش تنیده که استراندها به صورت کامل توسعه نیافته اند <math>\phi</math> باید مطابق 21.2.3 انتخاب شود</td> <td>مقدار <math>\phi</math> از 0.65 تا 0.9 مطابق بند 21.2.2 انتخاب می شود</td> <td>برای خمش، نیروی محوری و ترکیب خمش و نیروی محوری</td> </tr> </table>	نزدیک انتهای اعضای پیش تنیده که استراندها به صورت کامل توسعه نیافته اند $\phi$ باید مطابق 21.2.3 انتخاب شود	مقدار $\phi$ از 0.65 تا 0.9 مطابق بند 21.2.2 انتخاب می شود	برای خمش، نیروی محوری و ترکیب خمش و نیروی محوری					
نزدیک انتهای اعضای پیش تنیده که استراندها به صورت کامل توسعه نیافته اند $\phi$ باید مطابق 21.2.3 انتخاب شود	مقدار $\phi$ از 0.65 تا 0.9 مطابق بند 21.2.2 انتخاب می شود	برای خمش، نیروی محوری و ترکیب خمش و نیروی محوری							
21.2.2	ضریب کاهش مقاومت برای خمش، نیروی محوری و ترکیب خمش - نیروی محوری مطابق جدول 21.2.2 محاسبه می شود (در اینجا شکل R21.2.2b به جای آن آورده شده است) 								
10.5.2.1	$P_n, M_n$ مطابق بند 22.4 محاسبه می شود.								
22.4.1.1	مقاومت خمشی و محوری مقطع مطابق با فرضیات بخش 22.2 محاسبه می شود. توضیح: فرضیات بخش 22.2 همان است که در فصل خمش تیرها مورد بررسی قرار گرفت.								
22.4.2.1	مقاومت اسمی فشاری مقطع $P_n$ نباید از $P_{n,max}$ بیان شده در جدول 22.4.2.1 تجاوز کند، که در جدول مذکور $P_0$ با استفاده از معادله 22.4.2.2 برای اعضای غیر پیش تنیده محاسبه می شود. جدول 22.4.2.1 حداکثر مقاومت محوری								
	<table border="1"> <tr> <td>عضو</td> <td>نوع میلگرد عرضی</td> <td><math>P_{n,max}</math></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">غیر پیش تنیده</td> <td>تنگ ها مطابق 22.4.2.4</td> <td><math>0.8P_0</math></td> </tr> <tr> <td>مارپیچ ها مطابق 22.4.2.5</td> <td><math>0.85P_0</math></td> </tr> </table>	عضو	نوع میلگرد عرضی	$P_{n,max}$	غیر پیش تنیده	تنگ ها مطابق 22.4.2.4	$0.8P_0$	مارپیچ ها مطابق 22.4.2.5	$0.85P_0$
عضو	نوع میلگرد عرضی	$P_{n,max}$							
غیر پیش تنیده	تنگ ها مطابق 22.4.2.4	$0.8P_0$							
	مارپیچ ها مطابق 22.4.2.5	$0.85P_0$							
22.4.2.2	برای اعضای غیر پیش تنیده و اعضای مرکب از بتن و فولاد، $P_0$ با رابطه زیر محاسبه می شود:								

$P_0 = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_yA_{st}$ <p>که در رابطه فوق <math>A_{st}</math>، مجموع مساحت میلگردهای طولی مقطع می باشد.</p>				
<p>22.4.2.4 تنگ هایی که به عنوان تکیه گاه جانبی میلگردهای طولی در اعضای فشاری استفاده می شوند باید شرایط بند 10.7.6.2 و 25.7.2 را تامین نمایند.</p>				
<p>22.4.2.5 میلگردهای مارپیچی که به عنوان تکیه گاه جانبی میلگردهای طولی در اعضای فشاری استفاده می شوند باید شرایط بند 10.7.6.3 و 25.7.3 را تامین نمایند.</p>				
<p>25.4.3.1 مقاومت کششی محوری اسمی یک مقطع غیر پیش تنیده، نباید از <math>P_{nt,max}</math> که از رابطه زیر بدست میآید بیشتر باشد:</p> $P_{nt,max} = f_yA_{st}$				
<p>10.5.3.1 <math>V_u</math> مطابق بند 22.5 محاسبه می شود.</p> <p>توضیح: ملاحظات طراحی برشی و بندهای مرتبط آیین نامه در فصل طراحی برشی و پیچشی تیرها تشریح شده است.</p>				
<p>10.5.4.1 اگر <math>T_u \geq \phi T_{th}</math> که <math>T_{th}</math> در 22.7 داده شده است، پیچش مطابق فصل 9 آیین نامه در نظر گرفته می شود.</p> <p>توضیح: ملاحظات طراحی پیچشی و بندهای مرتبط آیین نامه در فصل طراحی برشی و پیچشی تیرها تشریح شده است.</p>				
<p>10.6.1.1 برای ستون های غیر پیش تنیده، حداقل مساحت میلگردهای طولی برابر <math>0.01A_g</math> و حداکثر <math>0.08A_g</math> است.</p>				
<p>10.6.2.1 حداقل مساحت میلگردهای برشی، <math>A_{v,min}</math> باید در کلیه مقاطعی از عضو که <math>V_u &gt; 0.5\phi V_c</math> تعبیه شود.</p>				
<p>10.6.2.2 اگر مسلح سازی برشی مورد نیاز باشد، <math>A_{v,min}</math> برابر با مقدار بزرگتر (الف) و (ب) است:</p> <p>الف. <math>0.062\sqrt{f'_c} \frac{b_w s}{f_{yt}}</math></p> <p>ب. <math>0.35 \frac{b_w s}{f_{yt}}</math></p>				
<p>10.7.1.1 کاور بتنی میلگردها، مطابق بند 20.6.1 محاسبه می شود.</p>				
<p>10.7.1.2 طول گیرایی میلگردهای آچار مطابق بند 25.4 می باشد</p>				
<p>10.7.1.3 میلگردهای گروه شده، مطابق بند 25.6 استفاده شوند.</p>				
<p>10.7.2.1 حداقل فاصله بین میلگردها <math>S</math> باید طبق بند 25.2 باشند.</p>				
<p>10.7.3.1 برای ستون های غیر پیش تنیده، حداقل تعداد میلگردهای طولی باید طبق الف، ب یا ج باشد</p> <p>الف. سه عدد در تنگ های مثلثی</p> <p>ب. چهار عدد در تنگ های مستطیلی یا دایره ای</p> <p>ج. شش عدد محصور شده در تنگ های مارپیچ یا قاب های خمشی ویژه محصور شده با تنگ های دایره ای.</p>				
<p>10.7.4.1 شیب قسمت مایل میلگرد انتظار طولی خم شده، نسبت به محور طولی ستون نباید از 1 به 6 تجاوز نماید.</p> <p>میلگردهای بالا و پایین ناحیه خم شده میلگرد انتظار، باید موازی محورهای ستون باشند.</p>				
<p>10.7.4.2 اگر وجه ستون به اندازه 75 میلی متر یا بیشتر تو رفتگی داشته باشد، میلگردهای طولی نباید خم شوند، لازم است از میلگردهای انتظار طولی اضافی اورلب شده با میلگردهای طولی مجاور وجه تو رفته استفاده شود.</p>				
<p>10.7.5.1.1 استفاده از وصله های پوششی، وصله های مکانیکی، وصله های جوشی و وصله های اتکایی، مجاز است.</p>				
<p>10.7.5.1.2 الزامات وصله ها، باید در کلیه ترکیبات بارگذاری تامین شوند.</p>				
<p>10.7.5.1.3 وصله میلگردهای آچار، مطابق بند 22.5 می باشد و در وصله های پوششی الزامات 10.7.5.2 و در وصله های اتکایی، 10.7.5.3 را تامین نمایند.</p>				
<p>10.7.5.2.1 اگر نیروی ایجاد شده در میلگرد در اثر بارهای ضریب دار فشاری باشد، می توان از وصله فشاری استفاده کرد. اجازه داده شده است که طول وصله پوششی فشاری مطابق الف یا ب کاهش داده شود، ولی طول وصله پوششی نمی تواند کمتر از 300 میلی متر باشد:</p> <p>الف. برای ستون های با تنگ های بسته، که تنگ ها در سراسر طول وصله در هر دو جهت مساحتی کمتر از <math>0.0015hs</math> نداشته باشند، طول وصله پوششی را می توان در 0.83 ضرب کرد. ساق های تنگ در راستای عمود بر بعد <math>h</math> در محاسبه مساحت موثر در نظر گرفته می شوند.</p> <p>ب. برای ستون ها با تنگ های مارپیچی، که مارپیچ در طول وصله ضوابط بند 25.7.3 را ارضا کند، می توان طول وصله را در 0.75 ضرب کرد.</p>				
<p>10.7.5.2.2 اگر نیروی ایجاد شده در میلگرد در اثر بارهای ضریب دار کششی باشد، وصله پوششی کششی مطابق جدول 10.7.5.2.2 استفاده می شود.</p> <p>جدول 10.7.5.2.2 کلاس وصله پوششی کششی</p>				
<table border="1"> <tr> <td data-bbox="185 1998 517 2033">تنش کششی میلگرد</td> <td data-bbox="517 1998 817 2033">جزئیات وصله</td> <td data-bbox="817 1998 1145 2033">نوع وصله</td> </tr> </table>	تنش کششی میلگرد	جزئیات وصله	نوع وصله	
تنش کششی میلگرد	جزئیات وصله	نوع وصله		

کلاس A	کمتر از 50 درصد میلگردها در هر مقطع وصله شده باشند و وصله های پوششی در میلگردهای مجاور حداقل به اندازه $l_d$ نسبت به هم جابجا شوند	$\leq 0.5f_y$
	سایر موارد	
	کلاس B	در همه حالات
جزئیات میلگردهای برشی مطابق بند 25.7.2 و 25.7.3 برای مارپیچ ها و 25.7.4 برای تنگ ها است.		10.7.6.1.2
میلگردهای طولی باید تکیه جانبی لازم مطابق 10.7.6.2 با تنگ ها یا قلاب ها، و مطابق 10.7.6.3 با میلگردهای مارپیچ داشته باشند مگر آنکه آزمایشها و تحلیل سازه، مقاومت مناسب و قابل قبول بودن ساخت و ساز را نشان دهند.		10.7.6.1.5
اگر آنکربولت ها بالای ستون یا پدستال قرار داده شوند، بولت ها باید با تنگ های عرضی به نحوی که حداقل چهار میلگرد طولی ستون یا پدستال را در بر بگیرند مهار شوند. تنگ های عرضی در 125 میلی متری بالای ستون یا پدستال توزیع می شوند و حداقل شامل دو میلگرد 13 یا سه میلگرد 10 باشند.		10.7.6.1.6
در هر طبقه، تنگ یا قلاب پایین نباید بیش از نصف فاصله قلاب یا تنگ بالای فونداسیون یا دال، فاصله داشته باشد.		10.7.6.2.1
در هر طبقه، قلاب یا تنگ به نحوی زیر پایین ترین آرماتور افقی دال، کتیبه یا درپوش برشی قرار داده شود که فاصله آن بیش از نصف فواصل بین تنگ ها یا قلاب ها نباشد. اگر تیرها و دستک ها در هر چهار وجه ستون قرار گرفته اند، تنگ یا قلاب بالایی، نباید در فاصله بیشتر از 75 میلی متر از پایین ترین میلگرد افقی کم عمق ترین تیر یا دستک قرار داده شود.		10.7.6.2.2
در هر طبقه، پایین مارپیچ روی دال یا فونداسیون قرار داده می شود.		10.7.6.3.1
در طبقه بالای مارپیچ مطابق جدول 10.7.6.3.2 قرار داده می شود.		10.7.6.3.2
جدول 10.7.6.3.2		
قالب بندی در انتهای ستون	الزامات ادامه دادن	
تیرها یا دستک ها در کلیه وجوه ستون قاب شده اند	تا سطح پایین ترین میلگرد طولی در اعضای که در بالا نگهداری می شوند ادامه داده شود.	
تیرها یا دستک ها در کلیه وجوه ستون قاب نشده اند	تا سطح پایین ترین میلگرد طولی در اعضای که در بالا نگهداری می شوند ادامه داده شود. تنگ های اضافی ستون ها تا بالای نقطه انتهایی مارپیچ در دال، کتیبه یا درپوش برشی ادامه داده شوند	
ستون های کتیبه دار	تا سطحی که قطر یا عرض کتیبه دو برابر ستون است ادامه داده شوند	
هر گاه میلگردهای طولی تو رفتگی داشته باشند، تکیه گاه های افقی با استفاده از تنگ ها، قلاب ها، مارپیچ ها یا قسمت هایی از کف فراهم گردد و به نحوی طراحی شوند که 1.5 برابر مولفه افقی نیروی محاسبه شده در قسمت خم شده میلگرد تو رفته را تحمل نمایند.		10.7.6.4.1
اگر میلگردهای عرضی برای تحمل نیروهای ناشی از خم های تورفته تعبیه شوند، تنگ ها، قلاب ها و مارپیچ ها نباید فاصله ای بیشتر از 150 میلی متر محل خم داشته باشند.		10.7.6.4.2
در صورت نیاز، آرماتور برشی به صورت تنگ، قلاب یا مارپیچ تعبیه شود.		10.7.6.5.1
حداکثر فاصله بین آرماتورهای برشی مطابق جدول 10.7.6.5.2 باشد:		10.7.6.5.2
جدول 10.7.6.5.2 حداکثر فاصله بین آرماتورهای برشی		
$V_u$	حداکثر فاصله S به میلی متر	ستون های غیر پیش تنیده
$\leq 0.33 \sqrt{f'_c} b_w d$	مقدار کمتر	d/2
		600
$> 0.33 \sqrt{f'_c} b_w d$	مقدار کمتر	d/4
		300

## قسمت دوم

مراحل گام به گام طراحی اعضا

1. کنترل  $A_s, min$ : اگر مقدار  $A_s < A_s, min$  باشد محاسبات با قرار دادن  $A_s = A_s, min$  ادامه یابد:

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b_w d, \frac{1.4}{f_y} b_w d\right)$$

علاوه بر این مطابق بند 9.3.1.1 حداقل  $h$  کنترل شود. ارضا شدن یا عدم ارضای این حداقل (که در حالت اخیر به معنای نیاز به محاسبات دقیق خیز است) اعلام می شود.

2. (رابطه تعادل و تنش کرنش) با فرض  $f_s = f_y$  ارتفاع بلوک فشاری را محاسبه می کنیم:

$$a = \beta_1 c = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

3. محاسبه  $c$ :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

4. (رابطه سازگاری تغییر شکل ها) محاسبه  $\epsilon_s$ :

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \epsilon_{cu}$$

5. در صورتی که  $\epsilon_s < \epsilon_y$  فرض اولیه تسلیم فولاد کششی نادرست می باشد و نمی توان مقطع را مطابق شرایط آیین نامه ACI تحلیل کرد. علاوه بر این لازم است  $\epsilon_s > 0.004$  باشد. در غیراینصورت و در صورتی که  $\epsilon_s > \epsilon_y$  هر چند فولاد تسلیم شده است ولی مقطع پر آرماتور می باشد. مطابق آیین نامه در صورتی که  $\epsilon_s > 0.004$  فرض اولیه درست بوده می توان محاسبات را ادامه داد.

6. (رابطه تعادل) محاسبه  $T$ :

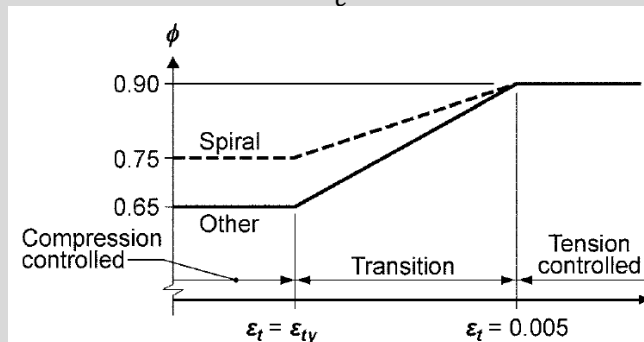
$$T = A_s \cdot f_y$$

7. (رابطه تعادل) محاسبه  $M_n$ :

$$M_n = T \cdot (d - 0.5a)$$

8. محاسبه ضریب کاهش مقاومت  $\phi$  طبقه نمودار شکل 10 و رابطه:

$$\epsilon_t = \frac{d_t - c}{c} \epsilon_{cu}$$

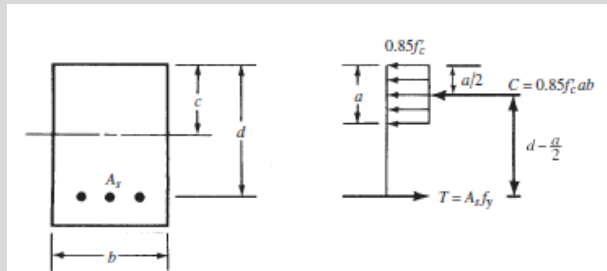


شکل 10. (تکراری) حالات رفتاری مختلف مقطع براساس کرنش فولاد کششی و انتخاب  $\phi$  براساس آن مطابق آیین نامه ACI

9. گزارش  $M_u$ :

$$M_u = \phi M_n$$

حالت 1. ابعاد تیر معلوم باشد (شکل 16).



شکل 16. وضعیت مقطع در حالت نهایی برای طراحی تیر بتنی با مقطع مستطیل مسلح شده با فولاد کششی

1. کنترل های ابعادی برای  $h$ ,  $b$  انجام دهید.
2. با توجه به وضعیت محیطی و بند 20.6.1.3 آیین نامه حداقل کاور را بدست آورید یا از روابط تقریبی  $d$  را بدست آورید.

3.  $M_u$  را دریافت کنید. (فرض شده است وزن تیر در محاسبه  $M_u$  قبلا دخالت داده شده است.)

4. ابتدا فرض می کنیم:  $\phi = 0.9$  (در ادامه با محاسبه کرنش ها این فرض را کنترل خواهیم کرد)

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} \quad 5$$

6. با ترکیب دو رابطه تعادل زیر رابطه بین  $M_n$  و  $A_s$  را به صورت یک معادله درجه 2 می نویسیم:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$\sum M_i = M_n \rightarrow M_n = A_s f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

بنابراین با ترکیب دو رابطه و تعریف  $\rho = \frac{A_s}{bd}$  خواهیم داشت:

$$M_n = \rho f_y b d^2 \left(1 - \frac{f_y}{1.7 f'_c} \cdot \rho\right)$$

با حل این معادله درجه 2،  $\rho$  به صورت زیر بدست می آید:

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}}\right)$$

که

$$R_n = M_n / (b d^2)$$

$$A_s = \rho b d \quad 7$$

8. کنترل  $A_{s,min}$ : اگر مقدار  $A_s < A_{s,min}$  باشد محاسبات با قرار دادن  $A_s = A_{s,min}$  ادامه یابد:

$$A_{s,min} = \max\left(\frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b_w d, \frac{1.4}{f_y} b_w d\right)$$

10. (رابطه تعادل و تنش کرنش) با فرض  $f_s = f_y$  ارتفاع بلوک فشاری را محاسبه می کنیم:

$$a = \beta_1 c = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

11. محاسبه  $c$ :

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

12. (رابطه سازگاری تغییر شکل ها) محاسبه  $\epsilon_s$ :

$$\epsilon_s = \frac{d - c}{c} \epsilon_{cu}$$

9. اگر  $\epsilon_s < 0.004$  باشد آنگاه مقطع پرآرماتور است و از نظر آیین نامه قابل استفاده نیست. (بند 9.3.3.1 آیین نامه) در

این حالت ممکن است مقطع با آرماتور فشاری قابل طراحی باشد.



10. اگر  $\epsilon_s \geq 0.005$  باشد فرض  $\phi = 0.9$  قابل قبول بوده مقدار  $A_s$  گزارش می شود. در غیراینصورت فرض اولیه  $\phi = 0.9$  قابل قبول نبوده؛ لازم است ابعاد مقطع اصلاح شود (به عنوان مثال عمق  $d$  افزایش یابد) مراحل طراحی مجدداً انجام شود. البته می توان به عنوان راه حل دیگر در اینجا مقدار  $\phi$  را براساس مقدار  $\epsilon_s$  و با استفاده از نمودار 21.2.2 آیین نامه کاهش داد و با همان ابعاد قبل محاسبات را تکرار نمود و مقدار  $A_s$  جدید را گزارش کرد.

الگوریتم 3 طراحی خمشی تیر با مقطع مستطیل با آرماتور کششی تنها: ابعاد تیر نا معلوم باشد

1. مقدار  $\rho_{max}$  محاسبه کنید.
2. قرار دهید:  $\rho = \frac{1}{2}\rho_{max}$  (این مقدار اولیه معمولاً نسبت منطقی از آرماتور مقطع در اختیار می گذارد)
3.  $\phi = 0.9$
4.  $M_n = M_u/\phi$
5. محاسبه کنید:

$$R_n = \rho f_y \left(1 - \frac{\rho f_y}{1.7 f'_c}\right)$$

6. محاسبه کنید:  $bd^2 = M_n/R_n$
7. اگر  $\frac{d}{b} = 2$  آنگاه  $d = \sqrt[3]{(2M_n)/R_n}$  :  $b = d/2$  :  $A_s = \rho bd$  :  $h = d + d_s + cover$
8. اگر  $d = b$  آنگاه  $d = \sqrt[2]{M_n/(R_n b)}$  :  $b = d$  :  $A_s = \rho bd$  :  $h = d + d_s + cover$
9. کنترل  $A_s, min$  اگر مقدار  $A_s < A_s, min$  باشد محاسبات با قرار دادن  $A_s = A_s, min$  ادامه یابد:

$$A_{s, min} = \max\left(\frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b_w d, \frac{1.4}{f_y} b_w d\right)$$

10. کنترل  $b, h$  از نظر حداقل های آیین نامه و خیز
11. گزارش مقادیر  $A_s, h, b$  برای حالت  $\frac{d}{b} = 2$
12. گزارش مقادیر  $A_s, h, b$  برای حالت  $d = b$
13. نکته ای که لازم است در اینجا مورد تاکید قرار گیرد آنست که در این حالت نیازی به کنترل کرنش در فولاد کششی برای  $\phi$  نمی باشد. با انتخاب  $\rho$  کمتر از  $\rho_{max}$  اطمینان حاصل می شود که همواره  $\epsilon_s \geq 0.005$  خواهد شد و  $\phi = 0.9$ .

الگوریتم 4 طراحی خمشی تیر با مقطع مستطیل با آرماتور کششی و فشاری

1. در طراحی مقطع با آرماتور کششی و فشاری ابعاد مقطع معلوم است.  $b, h, d$
2.  $\phi = 0.9$
3. از رابطه  $A_{s, max} = \rho_{max} bd = \left(\frac{3}{8}\right) \cdot (0.85\beta_1 \frac{f'_c}{f_y}) bd$  فوق  $A_{s, max}$  را محاسبه می کنیم. ابتدا مقطع را با آرماتور کششی تنها کنترل می کنیم.
4.  $M_n = M_u/\phi$
5.  $a = \frac{A_{s, max} \cdot f_y}{0.85 f'_c b}$
6.  $M_{n1} = A_{s, max} f_y \left(d - \frac{a}{2}\right)$
7. اگر  $M_{n1} \geq M_n$  نیازی به آرماتور فشاری نیست و مقطع را می توان با آرماتور کششی طراحی کرد و از همان الگوریتم طراحی مقطع مستطیل شکل با آرماتور کششی تنها، می توان استفاده کرد.
8.  $M_{n2} = M_n - M_{n1}$

$$c = a/\beta_1 \quad 9$$

$$\epsilon'_s = \frac{c-d'}{c} \cdot (0.003) \quad 10$$

$$f'_s = E_s \epsilon'_s \text{ در غیر این صورت } f'_s = f_y \text{ اگر } \epsilon'_s \geq \epsilon_y \quad 11$$

$$A'_s = \frac{M_{n2}}{f'_s(d-d')} \quad 12$$

$$A_{s2} = \frac{A'_s f'_s}{f_y} \text{ ج-18 خواهیم داشت:} \quad 13$$

$$14 \text{ میلگرد کششی مورد نیاز: } A_s = A_{s,max} + A_{s2} \text{ و میلگرد فشاری مورد نیاز } A'_s \text{ خواهد بود.}$$

الگوریتم 5. طراحی خمشی تیر با مقطع T شکل

1. در طراحی تیر با مقطع T شکل ابعاد تیر مشخص است.

$$2. \quad \phi = 0.9 \text{ فرض می کنیم.}$$

$$3. \quad M_n = M_u / \phi$$

4. ابتدا فرض می کنیم:  $a \leq h_f$  و تیر مثل یک مقطع مستطیلی به عرض  $b = b_e$  طراحی می کنیم.

5. با ترکیب دو رابطه تعادل زیر رابطه بین  $M_n$  و  $A_s$  را به صورت یک معادله درجه 2 می نویسیم:

$$\sum F_x = 0 \rightarrow a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$\sum M_i = M_n \rightarrow M_n = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

بنابراین با ترکیب دو رابطه و تعریف  $\rho = \frac{A_s}{bd}$  خواهیم داشت:

$$M_n = \rho f_y b d^2 \left( 1 - \frac{f_y}{1.7 f'_c} \cdot \rho \right)$$

با حل این معادله درجه 2،  $\rho$  به صورت زیر بدست می آید:

$$\rho = \frac{0.85 f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2 R_n}{0.85 f'_c}} \right)$$

که

$$R_n = M_n / (b d^2)$$

$$6. \quad A_s = \rho b d$$

7. کنترل  $A_{s,min}$ : اگر مقدار  $A_s < A_{s,min}$  باشد محاسبات با قرار دادن  $A_s = A_{s,min}$  ادامه یابد:

$$A_{s,min} = \max \left( \frac{0.25 \sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b_w d, \frac{1.4}{f_y} b_w d \right)$$

8. (رابطه تعادل و تنش کرنش) با فرض  $f_s = f_y$  ارتفاع بلوک فشاری را محاسبه می کنیم:

$$a = \beta_1 c = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

9. اگر  $a \leq h_f$  فرض اولیه درست بوده و مقدار  $A_s$  گزارش می شود در غیر این صورت بلوک فشاری به جان منتقل شده و لازم است مراحل از بند 11 ادامه یابد.

10. اگر  $a \leq \frac{3}{8} \beta_1 d$  باشد فرض اولیه  $\phi = 0.9$  برقرار است و مقدار  $A_s$  گزارش می شود در غیر این صورت با افزایش عمق مقطع مراحل از بند 1 تکرار می شود.

11. پایان

12. میلگردهای که با تنش فشاری بال های تیر در تعادل است (قسمت ج):

$$A_{sf} = \frac{0.85f'_c(b - b_w)h_f}{f_y}$$

و لنگر معادل آن:

$$M_{nf} = A_{sf} \cdot f_y \left( d - \frac{h_f}{2} \right)$$

13.  $M_{nw} = M_n - M_{nf}$  لنگر تحمل شده توسط جان تیر

14. فولاد معادل این لنگر به روش معمول محاسبه می شود:

$$\rho = \frac{0.85f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0.85f'_c}} \right)$$

که

$$R_n = M_n / (bd^2)$$

$$A_{sw} = \rho b d \quad .15$$

$$A_s = A_{sf} + A_{sw} \quad .16$$

17. کنترل  $A_{s,min}$ : اگر مقدار  $A_s < A_{s,min}$  باشد محاسبات با قرار دادن  $A_s = A_{s,min}$  ادامه یابد:

$$A_{s,min} = \max \left( \frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} \cdot b_w d, \frac{1.4}{f_y} b_w d \right)$$

$$a = \frac{A_s f_y - h_f (b - b_w)}{b_w} \quad .18$$

19. اگر  $a \leq \frac{3}{8} \beta_1 d$  باشد فرض اولیه  $\phi = 0.9$  برقرار است و مقدار  $A_s$  گزارش می شود در غیر اینصورت با افزایش

عمق مقطع مراحل از بند 1 تکرار می شود.

معمولا در طراحی نسبت  $A_v/S$  و حداکثر فاصله بین خاموت ها، گزارش می شود و طراح با استفاده از این مقادیر، به ترسیم جزئیات مناسب اقدام می کند.

1. ابعاد مقطع  $b_w, d, h$
2. برش نهایی را با استفاده از تحلیل سازه بدست آورید.  $V_u$
3. مقدار  $\phi$  را می توان برابر 0.75 گرفت مگر آنکه ملاحظات خاص بند 22.2.4.1 برقرار باشد، بدون در نظر گرفتن جزئیات این بند برای طرح لرزه ای (ترکیب بار مورد نظر شامل بار زلزله باشد) می توان  $\phi = 0.6$  گرفت.
4. مشخصات مصالح  $f_{yt}, f'_c$
5. کنترل مقدار  $f_{yt}$  مطابق بند 20.2.2.4. اگر مقدار آن از 420MPa بیشتر باشد. از میلگرد نمیتوان به عنوان خاموت استفاده کرد. می توان برای ادامه مراحل طراحی  $f_{yt} = 420 \text{ MPa}$  فرض کرد.
6. بند 22.5.3.1 را برای مقدار مجاز  $f'_c$  بررسی کنید.  $\sqrt{f'_c} < 8.3 \text{ MPa}$ . در صورتی که شرایط بند 22.5.3.2 برقرار باشد می توان این بررسی را انجام نداد. معمولا در اکثر تیرها شرایط این بند برقرار است.
7. محاسبه  $V_c$  مطابق بند طبق 22.5.5، 22.5.6 یا 22.5.7 انجام می شود. برای بیشتر تیرها:
 
$$V_c = 0.17\lambda \sqrt{f'_c} b_w d$$
8. کنترل بند 22.5.1.2 جهت اطمینان از کفایت ابعاد مقطع، اگر رابطه
 
$$V_u \leq \phi (V_c + 0.066 \sqrt{f'_c} b_w d)$$
 برقرار نباشد باید ابعاد مقطع اصلاح شود زیرا خرابی برشی اتفاق می افتد. در غیراینصورت طراحی را می توان ادامه داد.
9. اگر  $V_u < 0.5\phi V_c$  یا شرایط جدول 9.6.3.1 برقرار باشد نیازی به مسلح سازی برشی نیست و  $\frac{A_v}{s} = 0$ .
10. اگر  $0.5\phi V_c < V_u < \phi V_c$  آرماتور برشی حداقل مطابق 9.6.3.3 مورد نیاز است. مقدار  $\frac{A_{v,min}}{s}$  برابر مقدار بزرگتر
 
$$\frac{A_v}{s} = \frac{A_{v,min}}{s} \text{ و } 0.062\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}}$$
 می باشد. به عبارت دیگر  $\frac{A_v}{s} = \frac{A_{v,min}}{s}$ .
11.  $V_s = V_u/\phi - V_c$
12.  $\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{f_{ys}d}$
13. مقدار  $\frac{A_v}{s}$  با  $\frac{A_{v,min}}{s}$  مقایسه شود در صورتی که  $\frac{A_v}{s} < \frac{A_{v,min}}{s}$  باشد  $\frac{A_v}{s} = \frac{A_{v,min}}{s}$ . مقدار  $\frac{A_{v,min}}{s}$  برابر مقدار بزرگتر
 
$$\frac{A_v}{s} = \frac{A_{v,min}}{s} \text{ و } 0.062\sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}}$$
 می باشد.
14. حداکثر فاصله بین خاموت ها با استفاده از جدول 9.7.6.2.2 محاسبه می شود:
 

جدول 9.7.6.2.2 حداکثر فاصله بین میلگردهای برشی	
$V_s$	$s, \text{ mm}$
$\leq 0.33\sqrt{f'_c} b_w d$	$\min(d/2, 600 \text{ mm})$
$> 0.33\sqrt{f'_c} b_w d$	$\min(d/4, 300 \text{ mm})$
15. مقادیر  $\frac{A_v}{s}$  و  $s_{max}$  گزارش می شود. ■

1. برای طراحی پیچشی نیاز به خواص هندسی ویژه ای از مقاطع است. در ادامه تعریف و نحوه محاسبه این خواص هندسی تشریح می گردد.

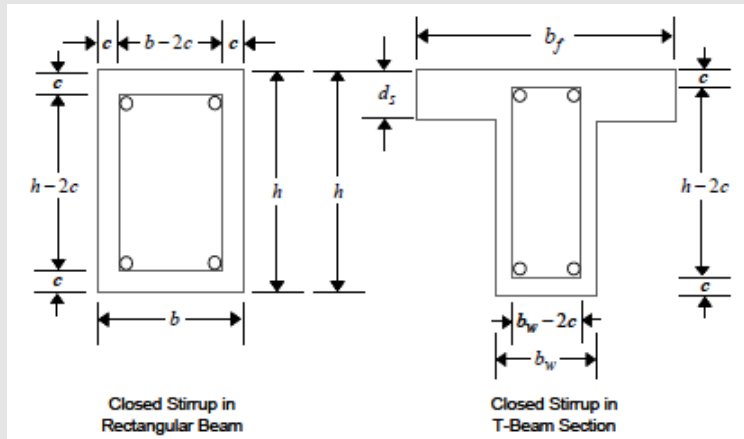
$A_{cp}$ : مساحت محصور با محیط پیرامونی مقطع

$A_{oh}$ : مساحت محصور با خط مرکزی بیرونی ترین خاموت بسته پیچشی

$A_0$ : مساحت خالص محصور با مسیر جریان برشی

$P_{cp}$ : محیط پیرامونی مقطع

$P_h$ : محیط محصور با خط مرکزی بیرونی ترین خاموت بسته پیچشی



برای مقاطع مستطیل شکل:

$$\begin{aligned} A_{cp} &= bh \\ A_{oh} &= (b - 2c)(h - 2c) \\ A_0 &= 0.85A_{oh} \\ P_{cp} &= 2b + 2h \\ P_h &= 2(b - 2c) + 2(h - 2c) \end{aligned}$$

برای مقاطع T شکل خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_w h + (b_f - b_w) d_s \\ A_{oh} &= (b_w - 2c)(h - 2c) \\ A_0 &= 0.85A_{oh} \\ P_{cp} &= 2b_f + 2h \\ P_h &= 2(h - 2c) + 2(b_w - 2c) \end{aligned}$$

می توان به عنوان مقدار اولیه برای  $c$ ، با در نظر گرفتن 50 میلی متر کاور و میلگرد برشی از نمره 10، مقدار آن را برابر 55 میلی متر در نظر گرفت.

$$\phi = 0.75 \rightarrow T_n = T_u / \phi \quad 2.$$

3. به مقدار  $V_u$  در مقطع مورد نظر نیز نیازمندیم

4. با استفاده از بند 22.7.7.1 کفایت ابعاد مقطع را کنترل می کنیم. در صورتی که رابطه این بند برقرار باشد می توان

طراحی را ادامه داد در غیر اینصورت مقطع دچار خرابی خواهد شد و لازم است ابعاد مقطع اصلاح گردد. ■

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u P_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66 \sqrt{f'_c}\right)$$

5. محاسبه  $T_{th}$  مطابق بند 22.7.4.1 محاسبه می شود.

نوع عضو	$T_{th}$	
اعضای غیر پیش تنیده	$0.083\lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$	الف
اعضای غیر پیش تنیده در معرض نیروی محوری	$0.083\lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33A_g \lambda \sqrt{f'_c}}}$	ج

6. اگر  $T_n < T_{th}$  نیازی به مسلح سازی پیچشی نیست. ■

7. در صورتی که پیچش از نوع همسازی است و شرایط بند 22.7.3.2 فراهم باشد می توان  $T_u \geq \phi T_{cr} \rightarrow T_u = \phi T_{cr}$

نوع عضو	$T_{cr}$	
اعضای غیر پیش تنیده	$0.33\lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right)$	الف
اعضای غیر پیش تنیده در معرض نیروی محوری	$0.33\lambda \sqrt{f'_c} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}}\right) \sqrt{1 + \frac{N_u}{0.33A_g \lambda \sqrt{f'_c}}}$	ج

در غیر اینصورت این کاهش مجاز نمی باشد

8. محاسبه میلگردهای طولی و عرضی پیچشی با استفاده از بند 22.7.6.1

$$T_n = \frac{2A_0 A_t f_{yt}}{s} \text{ الف.}$$

$$T_n = \frac{2A_0 A_l f_y}{P_h} \text{ ب.}$$

9. اگر  $A_l < A_{l,min}$  مطابق بند 9.6.4.3 لازم است  $A_l = A_{l,min}$  برابر حداقل مقدار دو رابطه زیر است:

$$0.42 \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

$$0.42 \sqrt{f'_c} \frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0.175 b_w}{f_{yt}}\right) P_h \frac{f_{yt}}{f_y}$$

10. حداقل میلگرد عرضی  $(A_v + 2A_t)min/s$  باید بزرگتر از مقادیر الف و ب باشد:

$$\text{الف. } 0.062 \sqrt{f'_c} \frac{b_w}{f_{yt}} \quad \text{ب. } 0.35 \frac{b_w}{f_{yt}}$$

در صورتی که این شرط برقرار نباشد می توان  $A_t/s$  را آنقدر افزایش داد تا این شرط برقرار شود.

11. جزییات ترسیمی میلگردهای پیچشی مطابق بند 9.7.5 و 9.7.6 تهیه می شوند. ■

1. محاسبه نقطه A معادل نیروی محوری فشاری خالص:

$$P_{n,0} = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}$$

مطابق توضیحات داده شده مقدار  $\phi P_{n,max}$  از رابطه زیر محاسبه می شود ( $\phi = 0.65$ ):

$$\phi P_{n,max} = 0.8\phi[0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]$$

کلیه نقاط روی منحنی اندرکنش که  $\phi P_n > \phi P_{n,max}$  به این مقدار کاهش داده می شود (نقطه A). این محدوده با خط راست نمایش داده می شود.

2. برای محاسبه سایر نقاط مقادیر زیر برای Z انتخاب می شود:

$$z = 0.5, 0.25, 0$$

برای محدوده ای که کلیه میلگردها در فشار هستند

$$z = -1$$

نقطه تعادل و

$$z = -2, -2.5, -4, -6$$

برای سایر نقاط

3. به ازای هر مقدار Z به ترتیب مقادیر زیر محاسبه می شود:

$$m = \frac{z * \epsilon_y - 0.003}{d_1}$$

$$\epsilon_{s,i} = 0.003 + m * d_i$$

$$c = \frac{-0.003}{m}$$

$$a = \beta_1 c \quad \text{if } a > h \rightarrow a = h$$

و نیروی تمام میلگردها از روابط:

$$f_{s,i} = E_s \epsilon_{s,i}, \quad -f_y \leq f_{s,i} \leq -f_y$$

$$\text{if } d_i > a \rightarrow F_{s,i} = (f_{s,i}) A_{s,i}$$

$$\text{if } d_i \leq a \rightarrow F_{s,i} = (f_{s,i} - 0.85f'_c) A_{s,i}$$

و نیروی فشاری بتن از روابط:

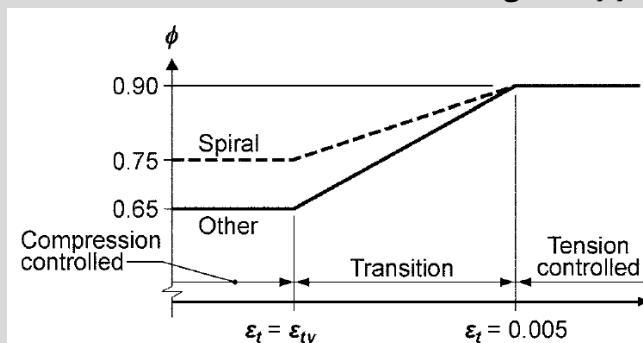
$$a = \beta_1 c, C_c = (0.85f'_c) ab$$

و در نهایت  $M_n, P_n$  از روابط زیر:

$$P_n = C_c + \sum F_{s,i}$$

$$M_n = C_c \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + \sum F_{s,i} \left( \frac{h}{2} - d_i \right)$$

برای هر جفت  $M_n, P_n$  با استفاده از مقدار  $\epsilon_{s1} = z * \epsilon_y$  و منحنی زیر مقدار  $\phi$  بدست می آید ( $z \leq -1$  کنترل شده فشاری هستند و  $\phi$  برابر 0.65 می باشد).



4. آخرین نقطه معادل کشش محوری خالص از رابطه زیر بدست می آید(برای کشش  $\emptyset$  برابر 0.9 منظور می شود):

$$T_n = \sum -f_y A_{si} \blacksquare$$