بررسی ایمنی ساختمانهای طرح شده توسط آیین نامه بتن ایران

فریبرز ناطقی الهی، استاد پژوهشکده مهندسی سازه پژوهشگاه
کیومرث زند پارسا، عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی و دانشجوی دکترای سازه
علی تاجبخش، کارشناس ارشد مهندسی سازه

۱- چکیده

طراحی ساختمانهای بتنی در کشور عموماً بر پایه آیین نامه بتن *ACI* انجام می گیرد؛ لذا، در این مقاله برای ارزیابی حاشیه ایمنی آیین نامه ایران با آیین نامه *ACI* مقایسه‌ای عددی بر روی سه ساختمان سه، شش و دوازده طبقه با سیستم قاب بتنی خمشی و قابلیت شکل پذیری زیاد انجام شده‌است. بارگذاری زلزله براساس آیین نامه ۲۸۰۰ جدید ایران و روش تحلیل استاتیکی می‌باشد. پس از بارگذاری، مقایسه ای به صورت طراحی موردی که شامل درصد فولاد، بارنهایی ستونها، حداکثر مقدار میلگرد خمشی و برشی تیرها و نیروی برشی نهایی مقاوم در اتصالات می باشد، انجام شد. براساس نتایج به دست آمده، حاشیه ایمنی در اتصالات طبق آیین نامه بتن ایران بیشتر از آیین‌نامه *ACI* و ایمنی تیرهای طرح شده توسط آیین نامه ایران نیز بیشتر از آیین‌نامه *ACI* است. ایمنی حاصل از طراحی براساس آیین‌نامه *ACI* در مورد ستونها بیشتر از آیین نامه‌بتن‌ایران می‌باشد. در این راستا تأثیر کنترل باربری اتصال بر باربری ستونها نیز بررسی شده است.

۲- مقدمه

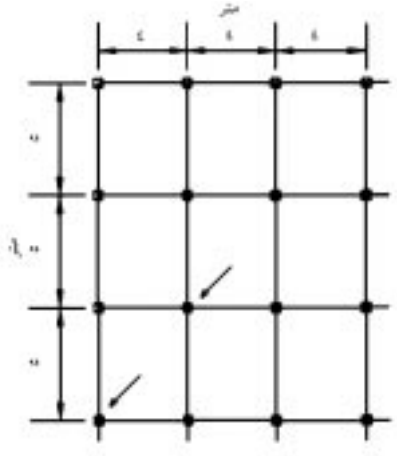
آیین‌نامه ها در طراحی مقاوم ساختمانها نقش بسیار مهمی را دارا می‌باشند. به منظور اطمینان از ایمنی ساختمان درهنگام وقوع زلزله لازم است معیارهایی از آیین نامه انتخاب و به کار برده شود تا از شکست نابهنگام آن بتوان جلوگیری نمود. ضوابط طراحی مقاطع بتنی در آیین نامه ها برای مناطق زلزله خیز به گونه‌ای است که از وقوع شکست برشی جلوگیری شود. این جنبه مطلوب از طراحی بر اساس ایجاد شکل پذیری درساختمان فراهم می‌شود. بر این اساس، مقایسه‌ای بین ضوابط طراحی ساختمانها با شکل پذیری زیاد در آیین‌نامه‌بتن‌ایران[۱] و آیین نامه بتن *ACI* [۲] انجام شده است. برای دستیابی به نتایج این مقایسه، مطالعاتی بر روی سه‌ساختمان با تعداد طبقات مختلف انجام شده است[۳]. در نهایت با بررسی نتایج به دست آمده حاشیهٔ ایمنی هر یک از آیین نامه ها برای اجزای مختلف مقایسه می گردد.

۳- مشخصات ساختمانها

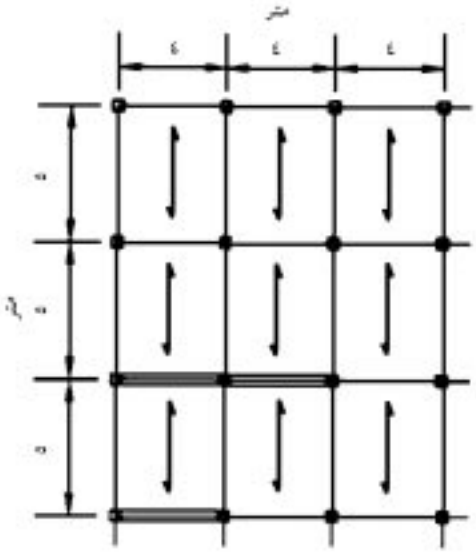
برای مقایسه آیین نامه های یاد شده ساختمانهای سه، شش و دوازده طبقه با سیستم سازه ای قاب خمشی بتنی با شکل پذیری بالا *(R=10)* در دو جهت مورد بررسی قرار گرفت. سقف طبقات تیرچه بلوک و ارتفاع کلیه طبقات ۳/۲ متر می‌باشد. موقعیت ستونهای مقایسه شده (ستون گوشه و میانی) در شکل (۱) و موقعیت تیرهای مقایسه شده در شکل (۲) مشخص شده است. لازم به ذکر است که در این مقاله فقط نتایج مربوط به ساختمان شش طبقه ارائه شده‌است که با نتایج ساختمانهای سه و دوازده طبقه نیز مشابه می‌باشد.

٤- ستونها

در هر دو آیین نامه بتن ایران و *ACI* پارامتر مورد اختلاف در طرح ستونها ضرایب تشدید لنگر می‌باشد. در جدول(۱) ضرایب تشدید لنگر مشاهده می‌شود.



شکل (۱): موقعیت ستونهای مقایسه شده در پلان



شکل (۲): موقعیت تیرهای مقایسه شده در پلان تیر ریزی

جدول (۱): روابط ضرایب تشدید لنگر در آیین نامه بتن ایران و ACI

ضرایب تشدید لنگر	آیین نامه بتن ایران	آیین نامه ACI
ضریب تشدید انحنای قطعه	$\delta_b = \frac{C_m}{1-\frac{Pu}{0.65Pc}}$ $C_m = 1$	$\delta_b = \frac{C_m}{1-\frac{Pu}{0.7Pc}}$ $C_m = 1$
ضریب تشدید تغییر مکان جانبی	$\delta_s = \frac{1}{1-\frac{\Sigma Pu}{0.65\Sigma Pc}}$	$\delta_s = \frac{1}{1-\frac{\Sigma Pu}{0.7\Sigma Pc}}$

٤-١- نتایج به دست آمده از مقایسه ستونها براساس ضرایب تشدید لنگر

مقایسهٔ درصد فولاد در ستونها برای ساختمان شش طبقه در جدول (۲) و (۳) ارائه شده است. پارامترهای به کار رفته در این جدولها شامل ρ درصد فولاد، A_S مقدار سطح مقطع فولاد ستون بر حسب سانتیمتر مربع، P_u بار طراحی، P_{uxy} بار نهایی قابل تحمل توسط ستون و $\frac{P_u}{P_{uxy}}$ ایمنی ستون می‌باشد.

٤-٢- مقایسه ستونها

در طرح ستونها بین آیین نامه بتن ایران و آیین نامه *ACI* تفاوتهایی وجود دارد که هر کدام از این تفاوتها بررسی می گردد.

٤-٢-١- ترکیب ضرایب بار

پس از اعمال ضریب ۰/۷۵ مقایسه‌ای بین ضرایب بار در دو آیین نامه انجام شده که در جدول (٤) مشاهده می‌شود. به علت کاهش ضرایب بار در آیین نامه بتن ایران، نیروهای طراحی در ستونها کمتر از آیین نامه بتن *ACI* می گردد.

جدول (۲): مقایسه درصد فولاد و ایمنی ستون میانی در ساختمان شش طبقه [٤]

ستون میانی (سانتیمتر)	آیین نامه ACI	آیین نامه بتن ایران
ستون طبقه اول در ابعاد ٤٥×٤٥	ρ=2.5% ⟶ A_s=50.62 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.55$	ρ=2.5% ⟶ A_s=50.62 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.3$
ستون طبقه دوم در ابعاد ٤٥×٤٥	ρ=2% ⟶ A_s=40.5 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.4$	ρ=2% ⟶ A_s=40.5 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.22$
ستون طبقه سوم در ابعاد ٤٥×٤٥	ρ=1.25% ⟶A_s=25.31 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.34$	ρ=1.25% ⟶A_s=25.31 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.12$
ستون طبقه چهارم در ابعاد ۳۵×۳۵	ρ=3.5% ⟶A_s=42.87 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.81$	ρ=3.5% ⟶ A_s=42.87 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.74$
ستون طبقه پنجم در ابعاد ۳۵×۳۵	ρ=2.2% ⟶A_s=26.95 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.26$	ρ=1.8% ⟶A_s=22.05 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.13$
ستون طبقه ششم در ابعاد ۳۵×۳۵	ρ=1% ⟶ A_s=12.25 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.10$	ρ=1% ⟶A_s=12.25 $\frac{P_u}{P_{uxy}} = 0.02$

٤-٢-٢- ضریب ایمنی بتن و فولاد

ضرایب کاهش مقاومت در هر دو آیین نامه درجدول (۵) ارائه گردیده‌است. تأثیر مستقیم ضرایب کاهش مقاومت در تعیین مقدار بار مقاوم نهایی ستون قابل محاسبه می باشد. بر اساس محاسبات انجام شده در سه ساختمان مورد بررسی، بار مقاوم نهایی ستون به وسیله فرمول برسلر برای مقاطعی که تحت اثر خمش دو محوری می‌باشند درآیین نامه بتن ایران بیشتراز آیین نامه *ACI* است.

٤-٢-٣- حداقل مقاومت خمشی ستونها

کنترل بند ۲۱-٤-۲-۲ آیین نامه *ACI* وبند ۲۰-۵-۲-٤ آیین نامه بتن ایران که برای ضوابط ویژه طراحی در برابر زلزله است به صورت رابطه (۱) می باشد:

$$\sum M_e \geq 1.2 \sum M_g \qquad (۱)$$

بر اساس رابطه (۱)، مجموع لنگر خمشی مقاوم ستونها در محل اتصال باید ۲۰ درصد بیشتر از مجموع لنگر خمشی مقاوم تیرها باشد. لنگر خمشی مقاوم تیرها درآیین نامه بتن ایران کمتر از آیین نامه *ACI* است (علت آن در بخش ۵-۱ مطرح شده است)؛ لذا، در طبقاتی که رابطه (۱) بر طراحی ستون حاکم شود (به عنوان مثال، ستون طبقه پنجم جدول ۲ و ۳) می‌توان چنین بیان نمود که در آیین نامه *ACI* به علت بیشتر بودن لنگر خمشی مقاوم تیرها باید لنگر خمشی ستونها بیشتر از لنگر خمشی مقاوم ستونها در آیین نامه بتن ایران باشد. براین‌اساس، ممکن است برای طرح ستون در آیین‌نامه *ACI* به درصد فولاد بیشتری نیاز شود.

جدول (۳): مقایسه درصد فولاد و ایمنی ستون گوشه در ساختمان شش طبقه [٤]

ستون گوشه (سانتیمتر)	آیین نامه ACI	آیین نامه بتن ایران
ستون طبقه اول در ابعاد ٤٥×٤٥	$\rho=2.2\% \rightarrow A_s=44.5$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.4$	$\rho=2.2\% \rightarrow A_s=44.5$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.22$
ستون طبقه دوم در ابعاد ٤٥×٤٥	$\rho=1.2\% \rightarrow A_s=24.3$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.25$	$\rho=1.2\% \rightarrow A_s=24.3$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.08$
ستون طبقه سوم در ابعاد ٤٥×٤٥	$\rho=1\% \rightarrow A_s=20.25$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.18$	$\rho=1\% \rightarrow A_s=20.25$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.03$
ستون طبقه چهارم در ابعاد ۳۵×۳۵	$\rho=1.8\% \rightarrow A_s=22.05$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.49$	$\rho=1.8\% \rightarrow A_s=22.05$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.37$
ستون طبقه پنجم در ابعاد ۳۵×۳۵	$\rho=1.5\% \rightarrow A_s=18.37$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.14$	$\rho=1.2\% \rightarrow A_s=$۱٤/۷ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.04$
ستون طبقه ششم در ابعاد ۳۵×۳۵	$\rho=1\% \rightarrow A_s=12.25$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.04$	$\rho=1\% \rightarrow A_s=12.25$ $\frac{P_u}{P_{uxy}}=0.007$

جدول (٤): مقایسه ترکیب ضرایب بار (با احتساب ۰/۷۵)

آیین نامه	ضرایب بار		
	بار مرده	بار زنده	بار زلزله
آیین نامه ACI	۱/۰۵	۱/۲۷۵	۱/٤
آیین نامه‌بتن ایران	۱	۱/۲	۱/۲

جدول (۵): مقایسه ضرایب کاهش مقاومت

آیین نامه	ضریب کاهش مقاومت	
	بتن	فولاد
آیین نامه ACI	۰/۷	۰/۷
آیین نامه بتن ایران	۰/٦	۰/۸۵

٤-۳- بررسی روش تقلیل ظرفیت باربری در آیین نامه بتن ایران [۱]

بر اساس بند ۱۳-۹ آیین‌نامه بتن ایران ضریب تقلیل ظرفیت باربری که کوچکتر از یک می‌باشد در بار محوری و لنگر خمشی ستونها ضرب می‌شود. نتایج این روش نسبت به روش تشدید لنگر محافظه کارانه است و در صورتی این روش را می‌توان برای قطعات فشاری مهار نشده به کاربرد که مقدار درصد آرماتور منفی در تیرهای متصل به دو انتهای قطعه فشاری کمتر از ۰/۰۱ نباشد و رابطه (۲) برقرار باشد:

$$K'\frac{L_u}{r}<40 \qquad (۲)$$

در رابطه (۲)، K' ضریب طول مؤثر، L_u طول مهار نشده عضو فشاری و r شعاع ژیراسیون ستون می‌باشد.

بر اساس محاسبات انجام شده در ستونهای هر سه ساختمان، رابطه (۲) برقرار نمی‌باشد؛ بنابراین، از روش تقلیل ظرفیت باربری آیین نامه بتن ایران نمی‌توان در طرح ستونهای این سه ساختمان استفاده نمود.

۵- تیرها

بر اساس محاسبات انجام شده بر روی تیرهای دهانه میانی و کناری در هر سه ساختمان، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی مقاوم تیرها در آیین نامه بتن ایران به علت کاهش ترکیب ضرایب بار کمتر از آیین نامه *ACI* است؛ ولی با وجود کاهش نیروها، مقدار سطح مقطع میلگردهای خمشی و برشی تیرها در آیین نامه بتن ایران بیشتر از آیین نامه *ACI* است که علت آن استفاده از ضرایب کاهش مقاومت (بتن و فولاد) به کار رفته در آیین نامه ایران است.

۵-۱- لنگر مقاوم تیرها

از دلایل پایین تر بودن ضریب اطمینان ستونها در آیین نامه بتن ایران می‌توان کاهش لنگر مقاوم تیرها در مقایسه با آیین نامه *ACI* را نام برد. این موضوع در هر دو آیین نامه بررسی می‌گردد.

۵-۱-۱- محاسبه لنگر مقاوم تیرها در آیین نامه ACI [۵]

برای محاسبه لنگر مقاوم تیرها در آیین نامه *ACI* از روابط (۳) و (٤) استفاده می گردد:

$$A_s f_y = 0.85 f'_c ab \Rightarrow a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \qquad (۳)$$

$$M_n = 0.9 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \qquad (٤)$$

۵-۱-۲- محاسبه لنگر مقاوم تیرها در آیین نامه بتن ایران [۱]

برای محاسبه لنگر مقاوم تیرها در آیین نامه بتن ایران از روابط (۵) و (٦) استفاده می گردد:

$$0.85 A_s f_y = 0.85 \times 0.6 f'_c ab \Rightarrow a = \frac{A_s f_y}{0.6 f'_c b} \qquad (۵)$$

(٦)

$$M_n = 0.85 A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

در رابطه (۵) و (٦)، b عرض تیر، a ارتفاع بلوک تنش فشاری مستطیلی، d ارتفاع مؤثر تیر و M_n لنگر مقاوم تیر می‌باشد.

۵-۲- نتیجهٔ مقایسه تیرها

بر اساس نتایج به دست آمده، ایمنی تیرهای طرح شده در آیین نامه بتن ایران بیشتر از آیین نامه *ACI* می‌باشد. این نتایج برای ساختمان شش طبقه در جدول (٦) و (۷) ارائه شده است.

جدول (٦): مقایسه حداکثر مقدار لنگر (M_u)، حداکثر مقدار میلگرد خمشی (A_s) و لنگر مقاوم نهایی در اتصال تیر و ستون (M_r) در تیر دهانه میانی ساختمان شش طبقه [٤]

تیر میانی (سانتیمتر)	مقایسه M_u ، A_s و M_r در تیر دهانه میانی	
	آیین نامه ACI	آیین نامه بتن ایران
تیرطبقه اول در ابعاد ٤٠×۳۵	M_u=18.26 ton.m A_s=17.09 cm^2 M_r=28.3 ton.m	M_u=16.11 ton.m A_s=17.61 cm^2 M_r=24.6 ton.m
تیر طبقه دوم در ابعاد ٤٠×۳۵	M_u=19.79 ton.m A_s=18.94 cm^2 M_r=30.8 ton.m	M_u=17.48 ton.m A_s=20 cm^2 M_r=27.9 ton.m
تیر طبقه سوم در ابعاد ٤٠×۳۵	M_u=18.51 ton.m A_s=17.39 cm^2 M_r=28.7 ton.m	M_u=16.36 ton.m A_s=18.02 cm^2 M_r=25.9 ton.m
تیر طبقه چهارم در ابعاد ٤٠×۳۵	M_u=15.39 ton.m A_s=13.87 cm^2 M_r=23.67 ton.m	M_u=13.52 ton.m A_s=14 cm^2 M_r=21.32 ton.m
تیر طبقه پنجم در ابعاد ٤٠×۳۵	M_u=11.94 ton.m A_s=10.34 cm^2 M_r=18.23 ton.m	M_u=10.69 ton.m A_s=10.33 cm^2 M_r=16.53 ton.m

٦- اتصالات

نیروی برشی نهایی وارد به اتصال و نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال دو نیروی مؤثر در اتصال می‌باشد [۵]. در این راستا، تفاوتهای موجود بین دو آیین نامه در ارزیابی هریک از این نیروها بررسی می گردد.

جدول (۷): مقایسه نیروی برشی (V_u) و حداکثر مقدار میلگرد برشی (A_v) در تیر میانی ساختمان شش طبقه [٤]

تیر میانی (سانتیمتر)	مقایسه A_v ,V_u در تیر میانی	
	آیین نامه ACI	آیین نامه بتن ایران
تیرطبقه اول در ابعاد ٤٠×۳۵	V=17.35 ton A_v=0.91 cm^2	V=15.54 ton A_v=0.96 cm^2
تیر طبقه دوم در ابعاد ٤٠×۳۵	V=18.33 ton A_v=0.96 cm^2	V=16.45 ton A_v=1.01 cm^2
تیر طبقه سوم در ابعاد ٤٠×۳۵	V=17.51 ton A_v=0.91 cm^2	V=15.9 ton A_v=0.98 cm^2
تیر طبقه چهارم در ابعاد ٤٠×۳۵	V=15.5 ton A_v=0.81 cm^2	V=14.8 ton A_v=0.87 cm^2
تیر طبقه پنجم در ابعاد ٤٠×۳۵	V=13.43 ton A_v=0.7 cm^2	V=12.4 ton A_v=0.76 cm^2

٦-۱- نیروی برشی نهایی مؤثر به اتصال (V_u)

این نیرو باید بر اساس بیشترین نیروی کششی که ممکن است در آرماتورهای کششی تیرهای دو سمت اتصال و نیز برش موجود در ستونهای بالا و پایین اتصال به وجود آید، محاسبه گردد. برای تعیین این مقادیر فرض می‌شود که در تیرهای دو سمت اتصال، مفصلهای پلاستیک در هر ستون تشکیل شده باشد. این موضوع در این دو آیین نامه محاسبه می گردد.

٦-۱-۱- نیروهای مؤثر در تعیین V_u در آیین نامه ACI

برای محاسبه مقدار V_u در آیین نامه *ACI* لازم است برش حاصل از میلگردهای کششی (بالای مقطع تیر سمت چپ ستون)، برش حاصل از میلگردهای کششی (پایین مقطع تیر سمت راست ستون) و برش ستون در نظر گرفته شود که به ترتیب بر اساس روابط (۷)، (۸) و (۹)

محاسبه می گردد:

$$T_1 = A_{s1}\left(1.25 f_y\right) \quad (۷)$$

$$T_2 = A_{s2}\left(1.25 f_y\right) \quad (۸)$$

$$V_u\left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right) = M_u = 0.9 M_n \quad (۹)$$

در رابطهٔ (۹)، M_n لنگر خمشی تیر، V_uبرش ستون و M_u به صورت روابط (۱۰) و (۱۱) محاسبه می‌شود:

$$1.25 A_s f_y = 0.85 f_c' ab \quad (۱۰)$$

$$M_u = 0.9 M_n = 1.25 A_s f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (۱۱)$$

۶-۱-۲- نیروهای موٴثر در تعیین V_u در آیین نامه بتن ایران

برای محاسبه مقدار V_u در آیین‌نامه بتن‌ایران باید برش حاصل از میلگردهای کششی (بالای مقطع تیر)، برش‌حاصل از میلگردهای کششی (پایین مقطع تیر) وبرش ستون در نظر گرفته شود که به ترتیب بر اساس روابط (۱۲)، (۱۳) و (۱٤) محاسبه می گردد:

$$T_1 = A_{s1}\left(1.4 \times 0.85 f_y\right) = A_{s1}\left(1.19 f_y\right) \quad (۱۲)$$

$$T_2 = A_{s2}\left(1.4 \times 0.85 f_y\right) = A_{s2}\left(1.19 f_y\right) \quad (۱۳)$$

$$V_u\left(\frac{h_1 + h_2}{2}\right) = M_u \quad (۱٤)$$

در رابطهٔ (۱٤)، M_u لنگر خمشی تیر به صورت‌روابط (۱۵) و (۱٦) محاسبه می‌شود:

$$0.85 \times 1.4 A_s f_y = 0.85 \times 0.6 f_c' ab \quad (۱۵)$$

$$M_u = 0.85 \times 1.4 A_s f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) = 1.19 A_s f_y\left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (۱٦)$$

۶-۲- نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال (V_r)

برای تعیین نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال، نخست‌ضوابط هر یک از آیین نامه ها بررسی می‌شود.

۶-۲-۱- ضوابط نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال (V_r) در آیین نامه ACI

طبق بند ۲۱-٦-۳ و با در نظر گرفتن ضریب کاهش مقاومت ϕ = ۰/۸۵ نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال شامل اتصال‌محصور شده، اتصالاتی که در دو یا سه وجه مقابل محصور شده اند و سایر حالات به ترتیب براساس روابط (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) محاسبه می گردد:

$$V_r = 4.505\sqrt{f_c'} A_j \quad (۱۷)$$

$$V_r = 3.4\sqrt{f_c'} A_j \quad (۱۸)$$

$$V_r = 2.72\sqrt{f_c'} A_j \quad (۱۹)$$

۶-۲-۲- ضوابط نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال (V_r) در آیین نامه بتن ایران

طبق بند ۲۰-۵-٤-۱-۳ آیین نامه بتن ایران نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال شامل اتصال محصور شده، اتصالاتی که در دو یا سه وجه مقابل محصور شده اند و سایر حالات به ترتیب بر اساس روابط (۲۰)، (۲۱) و (۲۲) محاسبه می گردد:

$$V_r = 10 A_j V_c = 1.2\sqrt{f_c'} A_j \quad (۲۰)$$

$$V_r = 7.5 A_j V_c = 0.9\sqrt{f_c'} A_j \quad (۲۱)$$

$$V_r = 6 A_j V_c = 0.72\sqrt{f_c'} A_j \quad (۲۲)$$

در روابط مذکور، مقدار V_c براساس بند ۱۲-۳ آیین نامه بتن ایران برابر $0.12\sqrt{f_c'}$ می‌باشد.

۶-۳- مقایسه نیروی مقاوم نهایی اتصال

در هر دو آیین نامه مقدار A_j (مساحت موٴثر سطح مقطع در داخل یک اتصال) یکسان است و در آیین نامه‌بتن ایران واحدها نیوتن بر میلیمتر مربع می‌باشد؛ لذا، پس از تبدیل واحدها برای $f_c' = 210\ kg/cm^2$ مقادیر نیروی برشی مقاوم مقایسه می‌شوند.

۶-۳-۱- نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال در آیین نامه ACI

نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال در آیین نامه *ACI* شامل اتصال محصور شده، اتصالاتی‌که در دو یا سه وجه مقابل محصور شده‌اند و سایر حالات به ترتیب بر اساس روابط (۲۳)، (۲٤) و (۲۵) محاسبه- می گردد:

$$V_r = 65.28 A_j \quad (۲۳)$$

$$V_r = 49.27 A_j \quad (۲٤)$$

$$V_r = 39.41 A_j \quad (۲۵)$$

۶-۳-۲- نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال در آیین نامه بتن ایران

نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال در آیین نامه بتن ایران شامل اتصال محصور شده، اتصالاتی‌که در دو یا سه وجه مقابل محصور شده‌اند و سایر حالات‌به‌ترتیب بر اساس روابط (۲٦)، (۲۷) و (۲۸) محاسبه- می گردد:

$$V_r = 54.99 A_j \quad (۲٦)$$

$$V_r = 41.24 A_j \quad (۲۷)$$

$$V_r = 32.99 A_j \quad (۲۸)$$

براساس‌ضرایب روابط تعیین‌نیروی برشی مقاوم نهایی‌نتیجه گرفته- می‌شود که مقدار نیروی برشی مقاوم نهایی در آیین نامه بتن ایران

کمتر از آیین نامه *ACI* است. این نتایج برای ساختمان شش طبقه در جدول (۸) ارائه شده است.

۷- نتیجه گیری

با توجه به مقایسه های انجام شده، اهم نتایج این بررسی عبارتند از:

۷-۱- ایمنی اتصالات

نیروی برشی نهایی مؤثر به اتصال تقریباً در دو آیین نامه برابر می باشد؛ ولی، نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال در آیین نامه بتن ایران کمتر از آیین نامه *ACI* است. بر این اساس، ایمنی اتصالات طرح شده در این سه ساختمان طبق آیین نامه بتن ایران بیشتر از آیین نامه *ACI* می باشد.

جدول (۸): مقایسه نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال (V_r) و نیروی برشی نهایی موثر به اتصال (V_u) در اتصالات ساختمان شش طبقه [٤]

مقایسه اتصالات در ساختمان شش طبقه (سانتیمتر)	آیین نامه ACI		آیین نامه بتن ایران	
	V_u (TON)	V_r (TON)	V_u (TON)	V_r (TON)
اتصال ستون میانی در ابعاد ٤٥×٤٥	۱۳۷/٦	۱۳۲/۱	۱۳۹/۲	۱۱۱/۳
اتصال ستون گوشه در ابعاد ٤٥×٤٥	۸٤/۲	۷۹/۸	۸۲/۸	٦٦/۸
اتصال ستون میانی در ابعاد ۳۵×۳۵	۱۰۰/۲	۷۹/۹	۹٦/۳	٦۷/۳
اتصال ستون گوشه در ابعاد ۳۵×۳۵	٦۱/۳	٤۸/۲	۵۷/٦	٤۰/٤

۷-۲- ایمنی تیرها

با توجه به بیشتر بودن مقدارمیلگردهای خمشی و برشی و با وجود کمتر بودن نیروهای محاسباتی تیرها، ایمنی تیرهای طرح شده در این سه‌ساختمان‌طبق آیین نامه بتن ایران بیشتر از آیین نامه *ACI* می باشد.

۷-۳- ایمنی ستونها

بر اساس مقایسهٔ باربری ستونها می‌توان بیان نمود که برای سه ساختمان مقایسه شده در آیین نامه *ACI* ایمنی ستونها بیشتر است. ایمنی ستونها به روش جبران کاهش مقاومت برشی اتصالات نیز بستگی دارد. در این راستا، این موضوع بررسی و تقسیم‌بندی می‌شود.

۷-۳-۱- افزایش مقاومت برشی اتصال به وسیله آرماتور برشی

ایمنی ستونها در این سه ساختمان طبق آیین‌نامه *ACI* در صورت استفاده ازآرماتور برشی در اتصال، بیشتر می‌باشد. اما براساس بند ۲۱-٦-۳ آیین نامه *ACI*، کمیته *ACI-318* تصمیم گرفته است که مقاومت برشی اتصال را تنها به صورت تابعی از مقاومت فشاری بتن بیان نماید. طبق بند ۲۰-۵-٤-۱-۳ آیین نامه بتن ایران، روابط تعیین مقاومت برشی اتصال براساس مقاومت فشاری بتن می‌باشد؛ بنابراین، با توجه به ضوابط هر دو آیین نامه در مورد مقاومت برشی اتصال، فقط استفاده از فولاد برشی حداقل که مقدار آن نیز دقیقاً برابر می‌باشد، مجاز است. به عبارتی، افزودن فولاد برشی در اتصال به افزایش مقاومت‌برشی‌اتصال منجر نخواهد شد.

۷-۳-۲- افزایش مقاومت برشی اتصال با افزایش مقاومت فشاری بتن اتصال

نیروی برشی مقاوم نهایی اتصال درآیین نامه بتن ایران کمتر از آیین‌نامه *ACI* می‌باشد؛ لذا بر این اساس، ایمنی‌ستونها در این سه‌ساختمان طبق‌آیین‌نامه‌بتن ایران بیشتر از آیین نامه *ACI* می گردد.

۷-۳-۳- افزایش مقاومت برشی اتصال با افزایش مقاومت فشاری بتن تیر

افزایش مقاومت فشاری بتن تیر به کاهش مقدار آرماتورهای کششی و در نتیجه کاهش برش حاصل از میلگردهای کششی در اتصال و همچنین به‌افزایش نیروی برشی مقاوم‌اتصال منجر می‌شود. در این حالت نیز نتایج به دست آمده تغییر چندانی نمی‌کند.

۷-۳-٤- افزایش مقاومت برشی اتصال به وسیله افزایش ابعاد مقاطع

افزایش ابعاد مقطع تیر یا ستون به افزایش سطح مؤثر اتصال منجر می‌شود. با توجه به کمتر بودن نیروی مقاوم برشی اتصال در آیین نامه بتن ایران و در صورت افزایش بُعد همهٔ ستونها، ایمنی ستونها در این سه ساختمان طبق‌آیین نامه بتن ایران بیشتر می‌باشد؛ در نهایت، در حالاتی که اتصالات کنترل کننده باشند و بر اساس آیین نامهٔ ایران نیاز به افزایش ابعاد ستون باشد، احتمالاً ضریب اطمینان طراحی ستون نسبت به *ACI* بیشتر می شود.

۸- مراجع

۱-آیین نامه بتن ایران بخش اول و دوم، نشریه شماره ۱۲۰، دفتر تحقیقات ومعیارهای فنی سازمان برنامه و بودجه، ۱۳۷۵.

۲- نقیه، مجید رضا. آیین نامه سازه های بتن آرمه و تفسیر *ACI 318-89 (92)*، تهران: انتشارات ارکان، ۱۳۷۲.

۳- ناطقی الهی، فریبرز؛ زند پارسا، کیومرث؛ تاجبخش، علی. "مقایسه روشهای طراحی مقاوم ساختمانهای بتنی"، تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، شماره گزارش ۶-۹۹-۷۸، ۱۳۷۸.

٤- تاجبخش، علی. " مقایسه روشهای طراحی مقاوم ساختمانهای بتنی"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی‌سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، ۱۳۷۷.

۵- طاحونی، شاپور. "طراحی سازه های بتن مسلح"، جلد اول و دوم، تهران: انتشارات دهخدا، ۱۳۷٤.

ویراستار: مریم مشایخی