



ارزیابی اقتصادی قابهای خمشی بتن آرمه متعارف با شکل پذیریهای مختلف

رضا عباس نیا^۱، مهدی بابائی^۲

۱- دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، نارمک

۲- دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، نارمک

Mbabaei@iust.ac.ir

خلاصه

شکل پذیری در میزان نیروی جذب شده توسط سازه تاثیر قابل توجه داشته و میزان قابلیت رفتار غیر خطی سازه را نشان می‌دهد. در این مقاله به منظور مقایسه قابهای خمشی از نظر اقتصادی و تاثیر شکل پذیری در میزان مصالح مصرفی، قابهای خمشی بتن آرمه متعارف با شکل پذیریهای مختلف و با تعداد طبقات مختلف (۵ و ۱۰ طبقه) به عنوان نماینده انتخاب شده و با رعایت کلیه ضوابط آبا برای هر گروه، طراحی شده‌اند. پس از تیپ بندی مناسب و رعایت نکات اجرایی و تهیه نقشه‌های اجرایی، میزان مصالح مصرفی (بتن و فولاد) تعیین شده و کلیه هزینه‌ها با توجه به فهرست بهای موجود (سال ۸۶) برآورد شده‌اند. این هزینه‌ها تنها شامل هزینه مصالح مصرفی در ساخت تیرها، ستونها و فونداسیونها می‌باشند و هزینه سقف و سایر هزینه‌های سازه‌ای لحاظ نشده‌اند زیرا تغییر نوع شکل پذیری تاثیری در سایر هزینه‌ها نداشته و فقط در طراحی تیرها، ستونها و فونداسیونها موثر می‌باشد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که اختلاف مصالح مصرفی و هزینه سازه‌های با شکل پذیری زیاد و متوسط با افزایش تعداد طبقات روند کاهشی دارد.

کلمات کلیدی: قابهای خمشی بتن آرمه، آیین‌نامه آبا، شکل پذیری، ارزیابی اقتصادی

مقدمه

مسئله طراحی سازه‌های بتن آرمه مقاوم در برابر زلزله همچون طراحی سازه‌های بتنی، فولادی یا انواع دیگر برای شرایط بارگذاری دیگر، اساساً مشخص کردن تغییر شکل‌ها و نیروها در یک طرح اولیه و فراهم کردن این شرایط با ایجاد تناسب و جزئیات مناسب برای اعضاء و اتصالات آنها می‌باشد. بطور کلی هدف از طراحی یک سازه برای مقابله با بارهای مورد انتظار تأمین ضوابط ایمنی و بهره برداری می‌باشد. لذا روند کار تعیین کردن تقاضا (demand) و فراهم کردن ظرفیت (Capacity) لازم برای تقاضای مورد انتظار در یک سازه خاص می‌باشد. به دلیل وجود عدم اطمینان در تخمین بارها و ظرفیت اعضاء و اتصالات سازه‌ای، مسئله طراحی سازه مقاوم در برابر زلزله پیچیده می‌باشد. اما اطلاعات گردآوری شده در طی سه دهه گذشته از مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی و همچنین ارزیابی رفتار سازه‌ای در زلزله‌های اخیر، یک پایه قوی برای برخورد با این مسئله خاص را فراهم کرده است. مشابه طراحی برای سایر شرایط بارگذاری، بطور کلی طراحی لرزه‌ای به نقاطی از سازه توجه دارد که تحت تقاضای شدید قرار دارند بطوریکه تحلیل‌ها و آزمایشات نشان می‌دهند. یعنی تأکید خاص در نقاطی است که خرابی آنها بخش مهمی از سازه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. طراحی لرزه‌ای به عنوان یک زمینه مطالعاتی خاص مورد توجه قرار گرفته است زیرا بر خلاف طراحی برای نیروهای باد نیاز به ملاحظات خاص می‌باشد. در طراحی ساختمان برای باد معمولاً فراهم کردن سختی و مقاومت کافی برای سازه کفایت می‌کند. در حالیکه در طراحی لرزه‌ای پارامتر دیگری به نام شکل پذیری یا ظرفیت تغییر شکل غیر الاستیک باید مورد توجه قرار گرفته و تأمین گردد. این نیاز از آنجا ناشی می‌شود که معمولاً طراحی بسیاری از سازه‌ها برای پاسخ الاستیک به زلزله‌های متوسط تا قوی غیر اقتصادی می‌باشد. برای مقابله با چنین زلزله‌هایی، آیین‌نامه‌ها مقرر می‌دارند که سازه باید دارای شکل پذیری کافی باشد تا به واسطه تغییر شکلهای غیر الاستیک انرژی حاصل از حرکات زمین را جذب و تلف کند. اما تغییر شکل‌های به وجود آمده در یک سازه مقاوم در برابر زلزله باید برای محافظت المانهایی از سازه که جزئی از سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی نمی‌باشند کنترل شود. در حقیقت این اعضاء که نقشی در مقابله با بارهای جانبی نداشته و شکل پذیری کافی برای آنها پیش بینی نمی‌شود، در مکانیزم کلی عمل کرده و آسیب می‌بینند.

^۱ دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

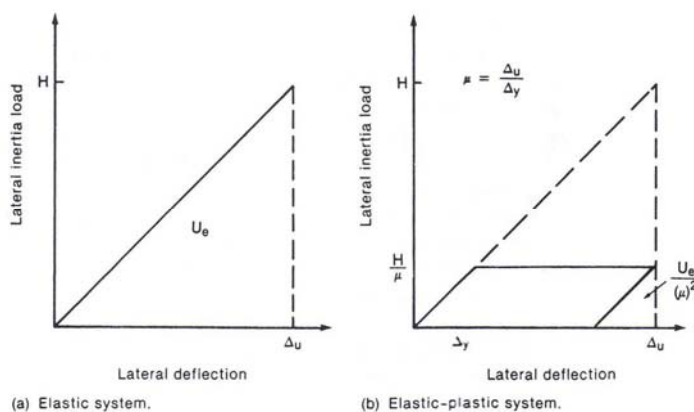
^۲ دانشجوی دکتری سازه دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

نیاز به طرح مناسب

بدلیل وجود بارها و تغییر شکل های قابل توجه مورد انتظار در نواحی بحرانی سازه به هنگام زلزله و بدلیل عدم اطمینان از شدت و محتوای حرکات زمین در یک سایت خاص، ایده اصلی طرح باید مناسب باشد. منظور از ایده طرح مناسب، سازه‌ای با شکل و ترکیب مناسب است که تحت اثر زلزله رفتار خوبی از خود نشان می‌دهد. سازه‌های با شکل متقارن، یکنواخت و بدون غیر پیوستگی در جرم، هندسه، سختی یا مقاومت برای طراحی لرزه‌ای مناسب بوده و دارای مزایای اقتصادی می‌باشند. اگرچه این ایده‌ها بر خلاف میل برخی از آرشیکت‌ها می‌باشد. افزایش درجه نا معینی سازه یک ایده مناسب و عامل مؤثر در شکل پذیری می‌باشد. جاری شدن و تسلیم در نواحی بحرانی تنش و باز پخش مجدد نیروها به نواحی با تنش پایین اساس عملکرد سازه شکل پذیر می‌باشد. لذا فراهم کردن درجات نا معینی بیشتر در سازه، شکل پذیری را افزایش می‌دهد. به همان اندازه که ایده مناسب برای طرح سازه اهمیت دارد، جزئیات کافی برای آرماتورگذاری اعضاء و اتصالات برای تأمین مقاومت و شکل پذیری کافی مهم می‌باشد. این جزئیات باید به گونه‌ای باشند که از شکست ترد اعضاء جلوگیری شود. خصوصاً اعضایی که تحت برش قرار دارند و نقاطی که تنش پیوستگی در آن زیاد است اهمیت خاصی دارند. علاوه بر آن باید اقداماتی برای اتصال مناسب قسمت‌هایی از سازه که با یکدیگر به صورت یکپارچه عمل می‌کنند انجام شود. آزمایشات و مشاهدات نشان داده‌اند که ساختمان های بتن آرمه که بطور مناسب طراحی، جزء بندی و ساخته شده‌اند، مقاومت، سختی و ظرفیت تغییر شکل غیر الاستیک (شکل پذیری) لازم در برابر زلزله‌های مهم را داشته‌اند. [۱]

شکل پذیری در طراحی لرزه‌ای

بطور کلی، طراحی اقتصادی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله باید با هدف فراهم کردن مشخصات دینامیکی و سازه‌ای انجام شود. بطوریکه سازه سطح پاسخ مناسبی تحت اثر زلزله طرح داشته باشد. بزرگی حداکثر تغییر شکل قابل قبول بستگی به نوع سازه و عملکرد آن دارد. در برخی سازه‌های لاغر مانند برج‌ها و دودکشها، پایداری سازه بستگی به سختی و پایداری عضو اصلی نگهدارنده سازه دارد. در اینگونه سازه‌ها تسلیم در عضو اصلی قابل تحمل نبوده و طراحی باید برای پاسخ الاستیک انجام شود. اما برای بسیاری از ساختمان‌ها خصوصاً قابهای با اتصالات گیردار، فراهم کردن شرایط تسلیم و تشکیل مفاصل پلاستیک در برخی اعضای تحت تنش بحرانی، طرح را اقتصادی می‌کند. یعنی سازه برای سطح نیروی زلزله کمتری نسبت به حالت الاستیک طراحی می‌شود. تحلیل و تجربه نشان داده‌است که سازه‌هایی که از درجه نا معینی کافی برخوردارند، ایمنی بیشتری در برابر حرکات قوی زمین دارند. مطالعات نشان می‌دهد که تحت اثر رکوردهای مختلف زلزله، حداکثر تغییر مکانهای جانبی سازه با رفتار الاستیک و سازه با رفتار پلاستیک-جانبی یکسان Δ_u نشان می‌دهد. [۲]



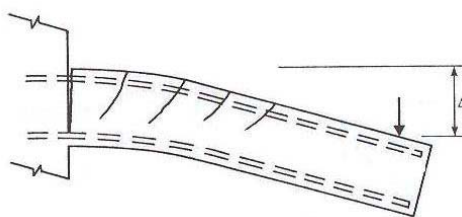
شکل ۱- تاثیر ضریب شکل پذیری در نیروی جانبی و انرژی کرنشی

نسبت حداکثر تغییر مکان Δ_u به تغییر مکان تسلیم Δ_y ، ضریب شکل جابجایی μ نامیده می‌شود:

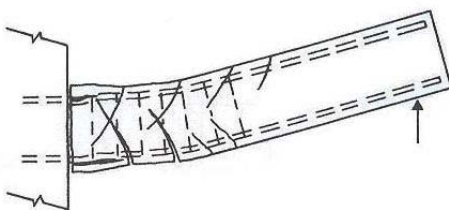
$$\mu = \frac{\Delta_u}{\Delta_y} \quad (1)$$

در شکل فوق دیده می‌شود که برای ضریب شکل پذیری ۴، بار جانبی مؤثر بر سازه الاستیک-پلاستیک $1/\mu = 1/4$ برابر سازه الاستیک و انرژی جذب شده در هر سیکل بارگذاری $1/\mu^2 = 1/16$ برابر خواهد بود. بنابراین اگر یک سازه شکل پذیر باشد می‌توان آنرا برای نیروهای زلزله کمتری طراحی کرد. شکل پذیری یک تیر در صورتی افزایش می‌یابد که ρ/ρ_b کاهش یافته و ρ/ρ_b افزایش یابد، که ρ_b در صد آرماتور در حالت بالانس، ρ' در صد آرماتور فشاری و ρ در صد آرماتور کششی است. وقتی یک عضو بتن آرمه تحت اثر بار قرار می‌گیرد، ترک های خمشی و برشی مطابق شکل (۲)

گسترش می یابند. اگر جهت بار عوض شود، این ترک ها بسته شده و ترک های جدید ایجاد می شوند. پس از چند مرحله بارگذاری متناوب، عضو به صورت شکل (۳) در می آید. [۲]



شکل ۲ - ترک ایجاد شده در اثر بار رو به پایین



شکل ۳ - ترک ایجاد شده در اثر بار رو به بالا

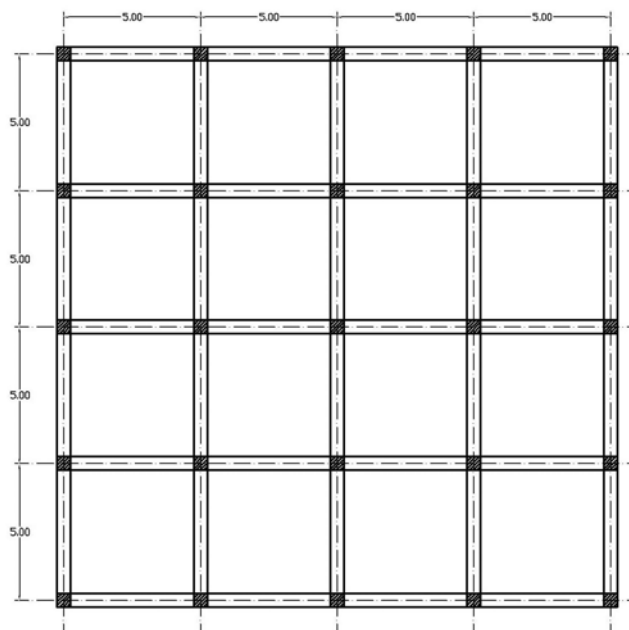
ناحیه سمت چپ تیر به یک سری بلوک هایی از بتن تقسیم می شود که توسط عملکرد داوول (dowel action) آرماتورهای طولی و اصطکاک داخل ترک انتقال می یابد. پس از خرد شدن بتن روی آرماتور، میلگردهای طولی کمانش خواهند کرد، مگر آنکه توسط خاموت ها یا حلقه های با فواصل نزدیک به هم محصور شده باشند. همچنین قلابها بتن هسته محصور شده ایجاد کرده و شکل پذیری را افزایش می دهند. باید توجه داشت که در رابطه ضریب شکل پذیری، Δ تغییر شکل انتهای تیر یا انتهای ساختمان می باشد. چون بیشتر تغییر شکل در نواحی ترک خورده متمرکز می شود، لذا شکل پذیری انحناء، Φ_u / Φ_y ، باید چند برابر شکل پذیری تغییر شکل مورد نیاز، μ ، باشد. در یک ستون با خاموت دور پیچ، انبساط جانبی بتن داخل دور پیچ، آرماتور دور پیچ را تحت کشش قرار می دهد و این به نوبه خود موجب یک فشار محصور کننده در بتن هسته می شود که مقاومت و شکل پذیری هسته افزایش می یابد. این به دلیل آن است که هم مقاومت و هم شکل پذیری بتن تحت اثر تنش های فشاری سه محوری افزایش می یابد. آیین نامه ها مقرر می دارند که تیرها، ستون ها و هر انتهای دیوارهای برشی در نواحی که انتظار جاری شدن آرماتور می رود باید با حلقه محصور شوند. حلقه ها به صورت خاموت ها یا دور پیچ های نزدیک به هم بوده و انتهای آنها با زاویه ۱۳۵ درجه خم می شود. حلقه ها باید آرماتورهای طولی را محصور کرده و تکیه گاه جانبی برای آنها ایجاد کنند. حلقه ها می توانند دایره ای یا مستطیلی باشند و تابع شکل مقطع تیرها و ستون ها باشند. حلقه ها علاوه بر محصور کردن بتن هسته، از کمانش آرماتورهای طولی جلوگیری کرده و به صورت آرماتور برشی نیز عمل می کنند.

مطالعات موردی

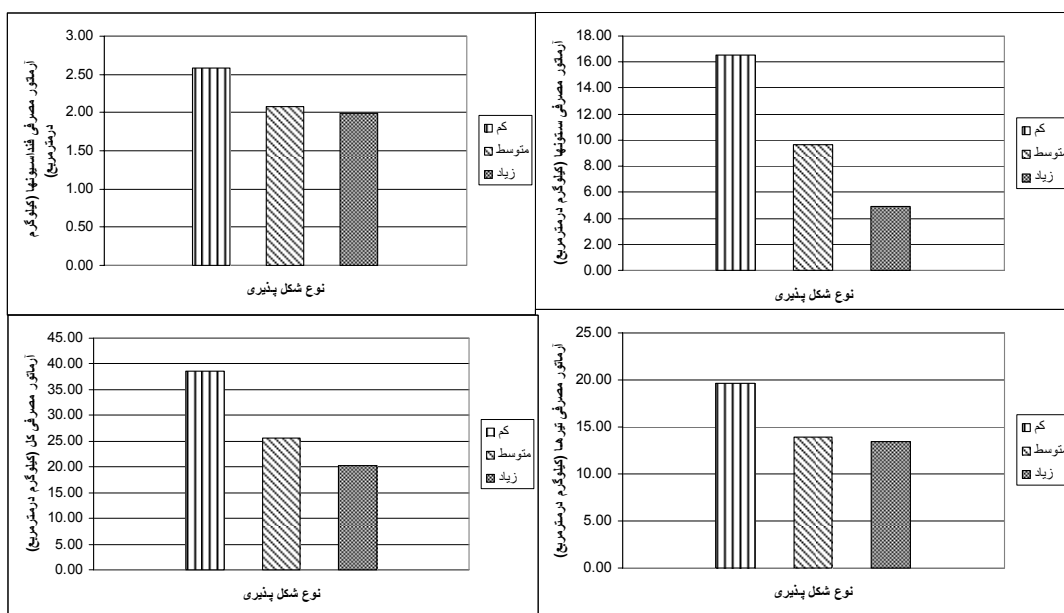
برای مقایسه تأثیر شکل پذیری در قابهای خمشی بتن آرمه هم از نظر حجم و وزن مصالح مصرفی و هم از نظر اقتصادی و مسائل اجرایی، دو گروه قاب خمشی در نظر گرفته شده اند. گروه اول شامل یک سازه ۵ طبقه می باشد که برای شکل پذیری کم، متوسط و زیاد با دقت کافی طراحی شده اند. ابعاد تیرها و ستونها در این گروه برای شکل پذیری های مختلف ثابت در نظر گرفته شده اند بطوریکه درصد آرماتور برای هر نوع شکل پذیری در محدوده مجاز آیین نامه قرار گرفته است [۳]. شکل (۴) پلان تیپ طبقات این گروه را نشان می دهد. ارتفاع طبقات به طور مساوی برابر ۳/۵ متر فرض شده است. در برآورد میزان مصالح مصرفی فقط مصالح تیرها و ستونها و فونداسیونها لحاظ شده اند و مصالح مصرفی مربوط به سقفها به دلیل عدم تأثیر نوع شکل پذیری در آن، لحاظ نشده اند. مقاومت مصالح و بارگذاری ثقلی و عوامل دیگر برای همه سازه ها یکسان در نظر گرفته شده است. کلیه ضوابط آیین نامه بتن ایران «آبا» در تحلیل و طراحی و تهیه نقشه های اجرایی مد نظر قرار گرفته است. شکل (۵) میزان آرماتور مصرفی این گروه را بر حسب شکل

پذیری‌های مختلف نشان می‌دهند. شکل (۶) تغییرات هزینه برآورد شده برای آرماتور و بتن مصرفی و هزینه قالب بندی را برای انواع شکل‌پذیری نشان می‌دهد. [۴]

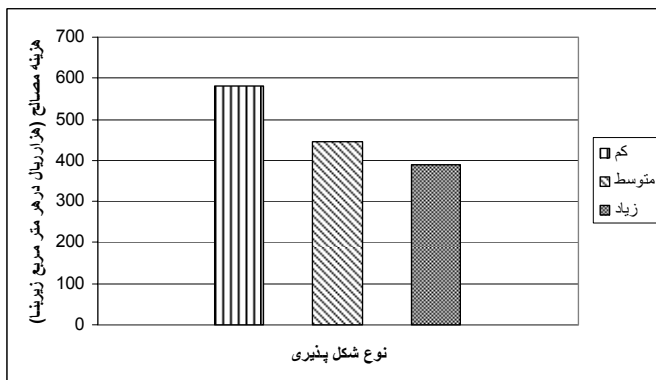
گروه دوم شامل یک سازه ۱۰ طبقه می‌باشد که برای شکل‌پذیری‌های متوسط و زیاد طراحی شده‌اند. در این گروه نیز ابعاد تیرها و ستونها برای هر دو شکل‌پذیری یکسان در نظر گرفته شده‌است. پلان تیپ طبقات این گروه نیز مشابه گروه قبلی (شکل ۴) و ارتفاع طبقات ۳/۵ متر فرض شده‌است. شکل (۷) میزان آرماتور مصرفی و شکل (۸) تغییرات هزینه برآورد شده را نشان می‌دهند. در طراحی و تحلیل این گروه نیز کلیه ضوابط آبا رعایت شده و نقشه‌های اجرایی دقیق تهیه و براساس آن میزان آرماتور مصرفی همراه با لیستوفر و بتن مصرفی برآورد شده‌است. در شکل‌های (۹) و (۱۰) تغییرات آرماتور مصرفی با ارتفاع نشان داده شده‌است و در شکل (۱۱) تغییرات هزینه با ارتفاع مقایسه شده‌است. اعتبار محدوده این تغییرات بین دو گروه یعنی سازه‌های ۵ تا ۱۰ طبقه می‌باشد و تغییرات به صورت خطی نشان داده شده‌اند.



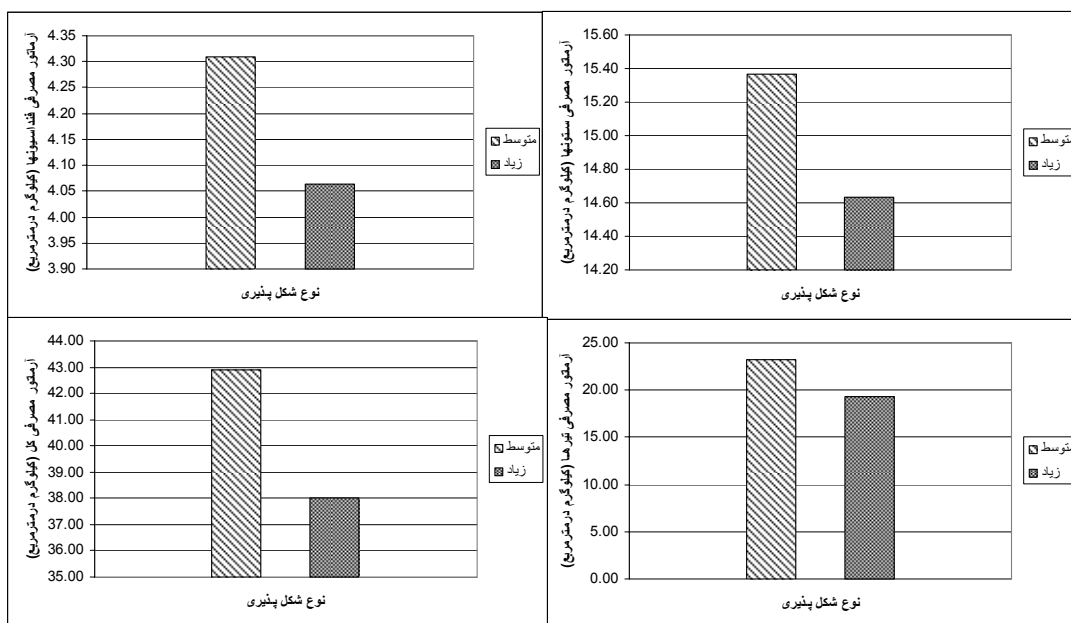
شکل ۴ - پلان تیپ طبقات



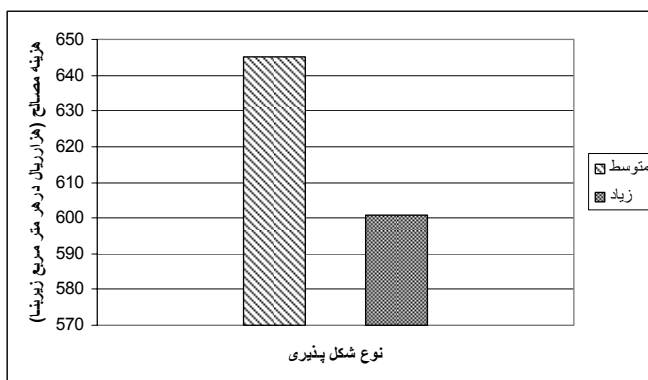
شکل ۵ - آرماتور مصرفی سازه‌های ۵ طبقه بر حسب شکل‌پذیری‌های مختلف



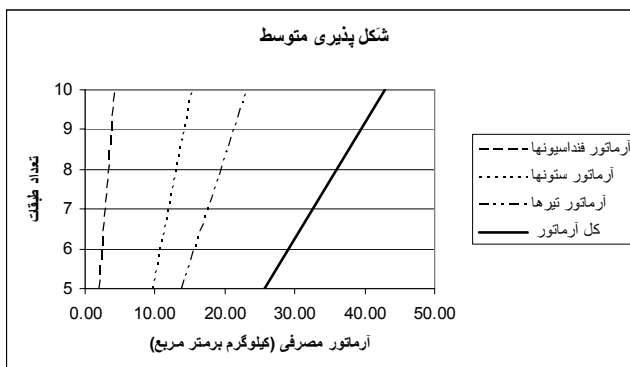
شکل ۶- هزینه مصالح سازه‌های ۵ طبقه بر حسب شکل پذیری‌های مختلف



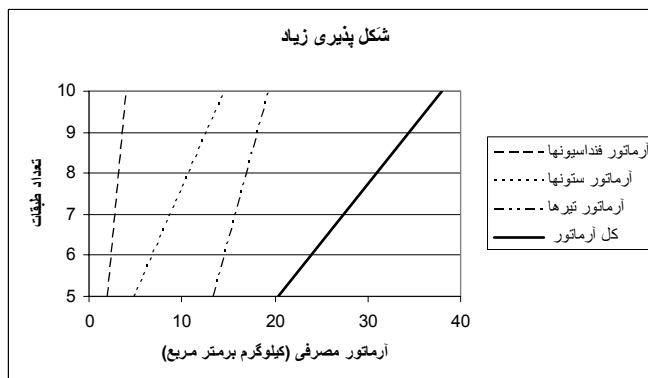
شکل ۷- آرماتور مصرفی سازه‌های ۱۰ طبقه بر حسب شکل پذیری‌های مختلف



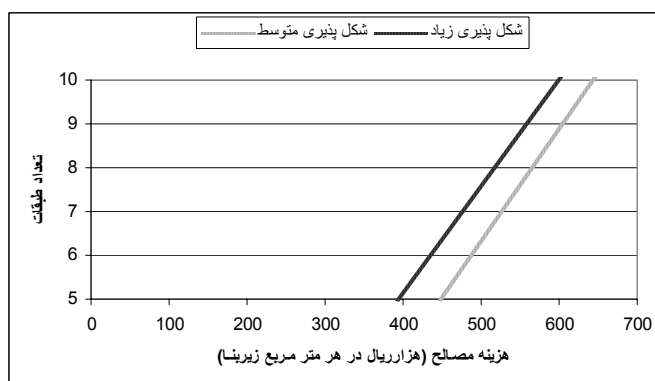
شکل ۸- هزینه مصالح سازه‌های ۱۰ طبقه بر حسب شکل پذیری‌های مختلف



شکل ۹ - تغییرات میزان آرماتور مصرفی با ارتفاع ساختمان برای شکل پذیری متوسط



شکل ۱۰ - تغییرات میزان آرماتور مصرفی با ارتفاع ساختمان برای شکل پذیری زیاد



شکل ۱۱ - تغییرات هزینه مصالح مصرفی با ارتفاع ساختمان برای شکل پذیریهای متوسط و زیاد

خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله هدف مقایسه اقتصادی قابهای بتن آرمه با شکل پذیری های مختلف می باشد و برای این منظور سازه های متعارف ۵ و ۱۰ طبقه در نظر گرفته شده و با ارضاء کلیه ضوابط طراحی میزان مصالح مصرفی و هزینه آنها برآورد شده است. بطوری که انتظار می رود هزینه و مصالح مصرفی برای سازه های با شکل پذیری بیشتر نسبت به بقیه حالات کمتر می باشد. برای سازه ۱۰ طبقه با شکل پذیری زیاد آرماتور مصرفی در حدود ۸۸ درصد سازه با شکل پذیری متوسط بدست آمده است. در سازه ۵ طبقه با شکل پذیری زیاد، آرماتور مصرفی در حدود ۷۹ درصد سازه با شکل پذیری متوسط بدست



آمده است. در سازه ۵ طبقه با شکل پذیری متوسط، آرماتور مصرفی در حدود ۶۶ درصد و با شکل پذیری زیاد در حدود ۵۲ درصد سازه با شکل پذیری کم می باشد. نتایج حاکی از آن است که این اختلاف با افزایش تعداد طبقات روند کاهشی دارد. بطوریکه در سازه‌های ۵ تا ۱۰ طبقه اختلاف فولاد سازه‌های با شکل پذیری زیاد و متوسط از حدود ۲۱ درصد به ۱۲ درصد رسیده است ولی به هر حال در صورت دقت در اجرا و رعایت نکات ویژه طراحی در تأمین شکل پذیری لازم برای نقاط بحرانی سازه، می توان صرفه‌جویی اقتصادی قابل ملاحظه‌ای در مصرف آرماتور فراهم کرد. اهمیت این موضوع زمانی آشکارتر می‌شود که نتایج بدست آمده در این مقاله برای سازه‌های متعارفی است که در حال حاضر اکثر ساختمان‌ها در کشور در این محدوده تعداد طبقات اجرا می‌شود.

مراجع

1. Naeim F. (2001) The Seismic Design Handbook. 2nd Edition, 463-561.
2. MacGregor J. G. (1997) Reinforced Concrete, Mechanics and Design. 3rd Edition.
۳. نشریه شماره ۱۲۰، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۰)، آیین‌نامه بتن ایران «آبا».
۴. فهرست بهای واحد پایه رشته ابنیه، (۱۳۸۶)، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.