

ارزیابی آزمایشگاهی و عددی مقاومت و شکل پذیری ستونهای بتنی دایره‌ای با دورپیچ‌های معمولی و متقاطع

غلامرضا هوائی^{۱*}؛ ابوالقاسم کرامتی^۲

چکیده

در این مطالعه رفتار آزمایشگاهی و عددی ستونهای بتنی با مقطع دایره‌ای و با دور پیچ معمولی و متقاطع تحت بارهای خارج از مرکز (ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی) مورد بررسی قرار گرفته و مقاومت و شکل پذیری ستونهای دایره‌ای بتنی با دور پیچ‌های متقاطع در مقایسه با ستونهای با دورپیچ معمولی مورد ارزیابی واقع شده است. تعداد ۱۴ نوع ستون با قطر ثابت ۲۵۰ میلی‌متر و با ارتفاع ۲۰۰۰ میلی‌متر تحت خروج از مرکزیت‌های متفاوت قرار گرفتند. همچنین برای ارزیابی دقیق‌تر شکل‌پذیری، آرماتورهای عرضی با دو تنش تسلیم متفاوت، انتخاب شدند. نتایج نشان داد که ستونهای با دورپیچ معمولی در همه نمونه‌ها مقاومت بالاتری نسبت به ستونهای با دورپیچ متقاطع داشته، در صورتیکه ستونهای با دورپیچ متقاطع شکل‌پذیری مناسب‌تری داشتند. به علاوه، استفاده از آرماتورهای عرضی با تنش تسلیم بالاتر باعث افزایش شکل‌پذیری قابل ملاحظه‌ای نسبت به آرماتورهای با تنش تسلیم کمتر گردید.

کلمات کلیدی: ستون‌های بتنی، محصور شدگی، مقاومت، شکل‌پذیری، بار خارج از مرکز

Experimental and Numerical Evaluation of Strength and Ductility of Regular and Cross Spirally Circular Reinforced Concrete Columns under Eccentric Loading

Gh. R. Havaei – A. Keramati

ABSTRACT

This research investigates the behavior of reinforced concrete columns subjected to eccentric loading (combination of axial loading and bending moment) with experimental and numerical methods. The columns are reinforced and confined with regular spiral and cross spiral to enhance their strength and ductility. Fourteen R/C circular columns subjected to different load eccentricity with two different grades of spirals steel are experimentally tested. The force, axial and lateral displacement and concrete strains in different locations are measured during the testing. The columns are 2000 mm long and 250 mm diameter. The results show that regular spirally circular columns have more strength as compared with the cross spirally circular columns but the ductility of cross spirally columns has increased with respect to the regular ones. It was also observed that the use of higher yield strength for transverse reinforcement caused considerable increased ductility with respect to lower yield strength reinforcements.

KEYWORDS : Concrete Columns, Strength, Ductility, Eccentric Loading, Confinement, Cross Spirals

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۲/۲۹

تاریخ اصلاحات مقاله: ۱۳۸۸/۴/۲۳

^{۱*} نویسنده مسئول و دانشجوی دکتری سازه، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

Email: havaei@aut.ac.ir

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر Email: keramati@aut.ac.ir



دورپیچ‌های عرضی را ارائه داد که به دورپیچ‌های متقاطع مشهور شد. او با این کار ضمن رعایت گامهای آئین نامه ACI از یک دور برگشت دورپیچ‌های معمولی استفاده کرد. بدین ترتیب او در آزمایشات گوناگونی که انجام داد، افزایش قابل ملاحظه شکل‌پذیری را ملاحظه نمود. او این آزمایشات را بر روی ستونهای بتنی دایره‌ای تحت بار محوری خالص را انجام داد. [۵]

هیندی و تورچک در سال ۲۰۰۷ نیز تعداد ۱۲ ستون بتنی را تحت دو بار رفت و برگشتی محوری و جانبی آزمایش نمودند. آنها ملاحظه نمودند شکل‌پذیری ستون‌های با دورپیچ متقاطع بطور قابل ملاحظه ای افزایش یافته بود. [۶]

۲- برنامه آزمایش:

در این مطالعه تعداد ۱۴ ستون بتنی دایره‌ای مسلح با دو دسته متفاوت فولادهای عرضی شامل دورپیچ‌های معمولی و دورپیچ متقاطع مورد آزمایش قرار گرفتند. برای بررسی کاملتر چگونگی عملکرد دورپیچ‌های متقاطع، تعداد ۲ ستون از نمونه‌های فوق با چرخش ۹۰ درجه‌ای در جهت عرضی دورپیچ‌های متقاطع آزمایش شدند. همه ستونها تحت بار خارج از مرکز (ترکیب نیروی محوری و لنگر خمشی) قرار گرفتند. همچنین برای بررسی دقیق‌تر محصورشدگی هسته بتنی، آرماتورهای عرضی از دو دسته متفاوت AII (تنش تسلیم ۳۲۳ مگاپاسکال) و AIII (تنش تسلیم ۴۳۵ مگاپاسکال) انتخاب و رفتار آنها مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایشات یاد شده در آزمایشگاه سازه دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر انجام گرفت. ستونهای آزمایش شده به ارتفاع ۲۰۰۰ میلی‌متر بود که دارای دو ناحیه ماهیچه‌دار در ابتدا و انتهای ستون بودند. این دو ناحیه ماهیچه‌دار علاوه بر آنکه امکان اعمال بار خارج از مرکز را فراهم می‌کرد، باعث هدایت شکست به ناحیه میانی ستونها نیز می‌گردید. با توجه به اینکه پارامترهای مورد مطالعه محدود به مقاومت متقاطع تسلیم دورپیچ‌های عرضی و خروج از مرکزیت بود، و از طرفی دورپیچ‌های متقاطع در دو شکل اجرایی آن پیاده گردید، لذا تعداد نمونه‌ها برابر ۱۴ انتخاب گردید.

۲-۱- جزئیات نمونه‌ها

ستونهای مورد مطالعه همگی در چهارچوب آئین‌نامه بتن آمریکا (ACI-۳۱۸-۰۸) مورد بررسی قرار گرفتند با توجه به محدودیت‌های آزمایشگاهی، همه ستونها ابتدا بطور کامل محاسبه و طراحی و سپس به مقیاس $\frac{1}{3}$ طراحی و اجرا

خرابی و آسیب‌دیدگی شدید و ضعف باربری تعداد زیادی از ساختمانها و پل‌ها در بررسی‌های گذشته بر روی سازه‌های بتنی، اصلاح و بهبود رفتار آنها را ضروری نموده است.

ستونهای بتنی مسلح به عنوان عناصر کلیدی سازه‌های بتنی مسلح، بیشترین تأثیر را در این میان بر عهده داشته‌اند. در این میان مقاومت و شکل‌پذیری ستونهای بتنی نقش اساسی و اصلی را در افزایش باربری این نوع سازه‌ها داشته‌اند. مطالعات بسیار زیادی وجود دارد که اهمیت آرماتورهای جانبی را بر روی مقاومت و شکل‌پذیری ستونهای بتن‌آرمه نشان می‌دهد.

هنگامی که یک ستون تحت بارهای فشاری قرار می‌گیرد، بتن به صورت جانبی منبسط می‌شود. انبساط هسته مرکزی بتن، توسط میلگردهای جانبی مهار می‌شود و در حقیقت آرماتورهای عرضی، تنش‌هایی به هسته بتنی منتقل می‌کنند. علاوه بر رفتار خاموت‌ها در ستونهای مربع و مستطیل، مطالعات زیادی نیز در زمینه رفتار دورپیچ‌های عرضی در ستونهای دایره‌ای انجام شده که از آن بعنوان محصورشدگی غیرفعال یاد می‌شود.

بیشتر این مطالعات بر روی دورپیچ‌های معمولی (Regular) صورت گرفته و رفتار آنها به هنگام تحمل بارهای محوری فشاری بررسی شده است. اولین مدل ریاضی برای محصورشدگی غیرفعال با فولادهای عرضی دورپیچ توسط ریچارت و همکارانش در سال ۱۹۲۸ ارائه گردید. آنها در این مدل تنش دورپیچ‌های عرضی را بصورت تابعی از هندسه و مقاومت فولادهای عرضی بیان کردند. [۱]

پارک ولسلی نیز در سال ۱۹۷۸ مدل ریاضی خاصی برای تنش کرنش ستونهای دور پیچ با بارمحوری ارائه دادند که در آن مدل منحنی تنش کرنش به چهار ناحیه فرضی تقسیم و برای هر کدام رابطه‌ای نوشته شده بود. [۲] اما یکی از مدل‌های مهمی که بر پایه تعداد زیادی از مطالعات قبلی بدست آمد، مدل ماندنر و همکارانش در سال ۱۹۸۸ بود. مدل ماندنر که از کاملترین مدل‌های محصورشدگی غیرفعال با دورپیچ‌های جانبی محسوب می‌شود، نقش دورپیچ را در افزایش شکل‌پذیری ستونهای محصور شده نشان داد. [۳] در آئین نامه بتن آمریکا (ACI-۳۱۸-۰۸) نیز استفاده از دورپیچ‌های عرضی برای محصور کردن ستونهای بتنی پیشنهاد شده است. [۴]

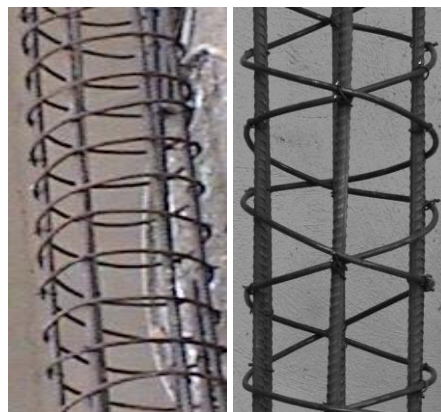
در سالهای اخیر و با توجه به محدودیت‌های مندرج در آئین‌نامه‌ها، محققان علوم سازه‌ای استفاده از روش‌های جدید را بررسی کرده‌اند. هیندی در سال ۲۰۰۵ شکل جدیدی از

جدول ۱: جزئیات ستونهای مورد آزمایش

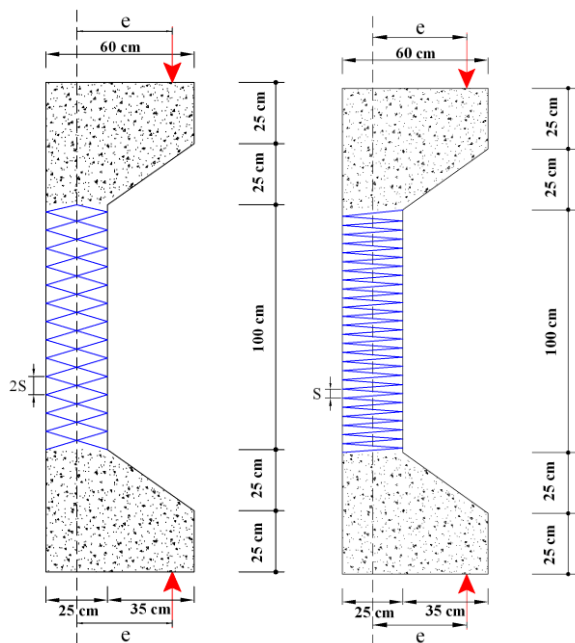
شماره	نوع دورپیچ نام ستون	نوع دورپیچ	خروج از مرکزیت		نوع خاموتهای دورپیچ
			mm	%	
۱	RSC-1 Regular	Regular	۱۲۵	۵۰	A _{II}
۲	RSC-2 Regular	Regular	۱۸۷/۵	۷۵	A _{III}
۳	RSC-3 Regular	Regular	۲۵۰	۱۰۰	A _{III}
۴	RSC-4 Regular	Regular	۱۸۷/۵	۷۵	A _{II}
۵	RSC-5 Regular	Regular	۲۵۰	۱۰۰	A _{II}
۶	RSC-6 Regular	Regular	۱۲۵	۵۰	A _{III}
۷	CSCL-1 Cross	Cross	۱۸۷/۵	۷۵	A _{II}
۸	RSCL-2 Cross	Cross	۱۲۵	۵۰	A _{III}
۹	RSCL-3 Cross	Cross	۲۵۰	۱۰۰	A _{II}
۱۰	RSCL-4 Cross	Cross	۱۲۵	۵۰	A _{II}
۱۱	RSCL-5 Cross	Cross	۱۸۷/۵	۷۵	A _{III}
۱۲	RSCL-6 Cross	Cross	۲۵۰	۱۰۰	A _{III}
۱۳	RSCLR-1 Cross	Cross	۲۵۰	۱۰۰	A _{II}
۱۴	RSCLR-2 Cross	Cross </td <td>۲۵۰</td> <td>۱۰۰</td> <td>A_{III}</td>	۲۵۰	۱۰۰	A _{III}

گردیدند. برای بررسی پارامتری اساسی مقاومت و شکل پذیری، ستونها در سه دسته طراحی و مورد آزمایش قرار گرفتند. تعداد ۶ تا از ستونها با دورپیچهای معمولی و گام ۷۵ میلی متر (۱-۶) RSC، تعداد ۶ تا از ستونها با دورپیچهای متقاطع و گام ۱۵۰ میلی متر (حجم آرماتور عرضی یکسان با حالت دورپیچ معمولی) (۱-۶) CSCLR و ۲ تا از ستونها نیز با دورپیچ متقاطع و گام ۱۵۰ میلی متر ولی با ۹۰ درجه چرخش دورپیچها در راستای عرضی ستون (۱-۲) CSCR مورد آزمایش واقع شدند. نکته اساسی اینکه فاصله گام دورپیچها در حالت متقاطع ۱۵۰ میلی متر اختیار شده، دوربرگشت دورپیچ بوده که تغییر ندادن در نسبت آرماتور عرضی، فاصله گام حالت متقاطع به دو برابر حالت معمولی یعنی ۱۵۰ میلی متر افزایش یافته است، و در حقیقت حجم آرماتورهای عرضی در هر سه دسته ستونها ثابت و برابر بوده است. این بدان دلیل است که پارامتر گام ستون مورد مطالعه نبوده و فقط نوع دورپیچ و چگونگی اجرای آن مورد نظر بوده است. در شکل ۱ چگونگی اجرای دورپیچهای عرضی در هر سه دسته مورد آزمایش نشان داده شده است.

همانگونه که گفته شد قطر ستونهای اصلی مقیاس نشده مورد طراحی، ۷۵۰ میلی متر بوده که به دلیل محدودیتهای آزمایشگاهی و هزینههای اقتصادی با مقیاس ۱/۳ طراحی و اجرا شده است که بدین ترتیب قطر مقطع مورد مطالعه در ستونها ۲۵۰ میلی متر می باشد. ضخامت پوشش بتنی اطراف هسته بتنی ستونها نیز ۲۰ میلی متر می باشد. در شکل ۲ مشخصات اجرایی ستونها و مقاطع آنها نمایش داده شده است.

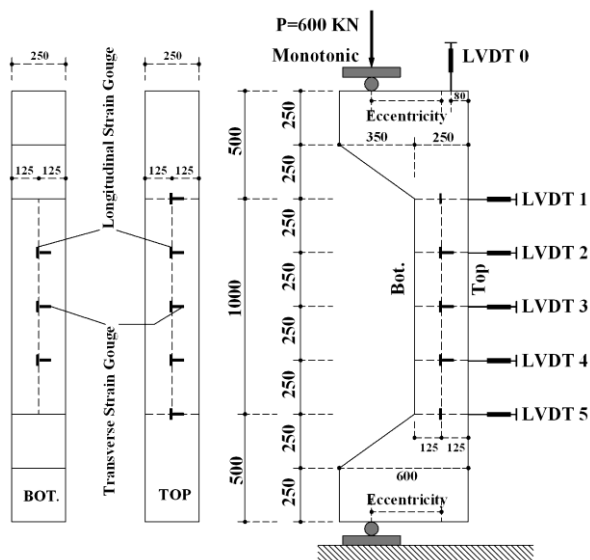


شکل ۱: نحوه ی اجرای دورپیچ ها



در جدول ۱ نیز جزئیات ستونهای مورد آزمایش و پارامترهای مورد بررسی درج شده است. بعنوان مثال ستون CSCL-۶ با استفاده از دورپیچ متقاطع محصور شده و محل تقاطع دورپیچها در دو ناحیه جانبی ستون واقع می شود. این ستون با خروج از مرکزیت ۵۰ درصد (۱۲۵ میلی متر) تحت بار خارج از مرکز جک هیدرولیک آزمایشگاه قرار گرفته و آرماتور عرضی استفاده شده در آن از دسته A_{III} می باشد.

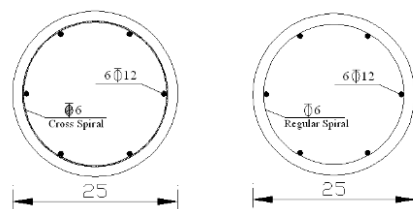
کرنش سنج نیز در وجه جانبی و تعداد ۱۰ کرنش سنج نیز در وجه کششی ستون نصب گردید. تعداد ۶ عدد LVDT، دستگاه اندازه‌گیری جابجایی، نیز در نظر گرفته شد که یکی در بالای ستون و برای اندازه‌گیری چرخش و ۵ تای دیگر در مقاطع ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ مستقر گردید. در شکل ۴ موقعیت کرنش‌سنج‌ها و LVDT‌ها بر روی ستون بتنی مشخص گردیده است.



شکل ۴: موقعیت کرنش‌سنج‌ها و LVDT‌ها بر روی ستون

۲-۲- تنظیم و بارگذاری نمونه‌ها

همه ستونها با استفاده از جک هیدرولیکی ۶۰۰ کیلونیوتنی آزمایشگاه سازه دانشگاه صنعتی امیرکبیر در مدت ۲۰ روز آزمایش شدند، هر ستون بتنی در بالا و پائین ستون تحت بار خارج از مرکز قرار گرفت. بدلیل شبیه سازی رفتار زلزله در ستونها، از نظر شرایط مرزی امکان چرخش بالا و پائین ستون حول محور Z (عمود بر محور صفحه) فراهم گردید و در بالای ستون علاوه بر چرخش حول محور Z در جهت عمودی نیز امکان حرکت وجود داشت. در سایر درجات آزادی نیز شرایط ثابت و صد در صد گیردار در نظر گرفته شد. کرنش‌سنج‌ها و LVDT‌ها نیز با توجه به توضیحات داده شده در محل خود نصب و مستقر و بوسیله سیم و رابط Data Logger، به رایانه مرکزی سیستم متصل شد. تمام اطلاعات مربوط به قرائت‌های کرنش‌سنج‌ها و LVDT نیز توسط اپراتور دستگاه ثبت و جک هیدرولیک نیز به صورت مونوتونیک تا مرحله بعد از گسیختگی و شکست نهایی ستون، بار را به هر ستون وارد می‌کرد. در این حالت اطلاعات مربوط به بار و جابجایی نیز توسط رایانه متصل به جک ثبت می‌گردید. شکل ۵، نحوه آزمایش هر ستون

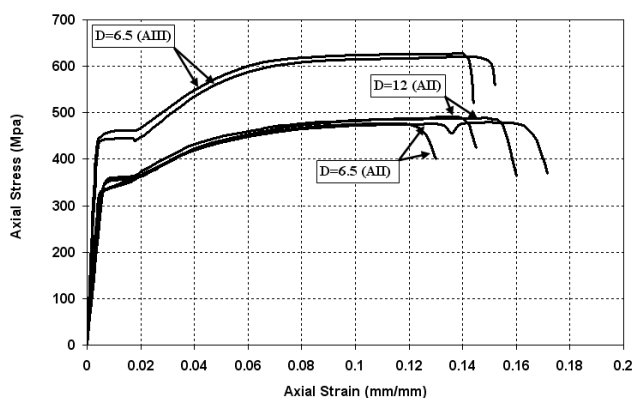


Model Section
Cross Spiral

Model Section
Regular Spiral

شکل ۲: جزئیات نمونه‌ها

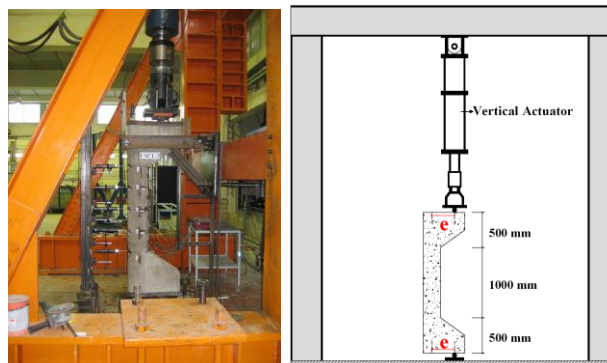
همانگونه که در اشکال مشخص است هر ستون دارای ۶ عدد میلگرد طولی به قطر ۱۲ میلی‌متر است و نسبت آرماتورهای طولی در ستون معادل ۰/۰۱۴ می‌باشد. همچنین آرماتورهای عرضی نیز به قطر ۶/۵ میلی‌متر در دو دسته AII (fy=۳۲۳ MPa) و AIII (fy=۴۳۵ MPa) شده) انتخاب و اجرا شدند. در شکل [۳] نمودار تنش-کرنش آرماتورهای مورد استفاده در هر ستون، بدست آمده در آزمایشگاه مقاومت مصالح دانشگاه صنعتی امیرکبیر، آورده شده است.



شکل ۳: نمودار تنش-کرنش آرماتورهای مصرفی

دانه بندی مصالح بتنی نیز در محدوده مجاز ASTM-C۲۳ تهیه و بتن مورد نیاز بر مبنای مقاومت هدف ۳۰ مگاپاسکال تهیه و ساخته شد. از تمام ستونهای بتن ریزی شده، نمونه‌های مکعبی تهیه و پس از ۲۸ روز آزمایش مقاومت فشاری بعمل آمد که میانگین بدست آمده حدود ۳۱ مگاپاسکال بود. بدلیل اندازه‌گیری دقیق‌تر مقاومت و تطبیق با واقعیت، همه‌ی آزمایشات پس از رسیدن به زمان ۹۰ روز از بتن‌ریزی انجام شد، تا همه‌ی نمونه‌ها به مقاومت نهایی خود نزدیک شده باشند، ضمن آنکه مقاومت فشاری بتن همه‌ی نمونه‌ها در زمان آزمایش (حدود ۹۰ روز) نیز بدست آمده متوسط آنان حدود ۲۴/۱ مگاپاسکال بود. بر روی هر ستون تعداد ۲۴ عدد کرنش سنج سری (۱۲۰±۳Ω) PL-۶۰-۱۱ در نظر گرفته شد. تعداد ۶ کرنش سنج در وجه فشاری و در مقاطع ۲، ۳ و ۴ ستون، تعداد ۸

را نشان می‌دهد.



شکل ۵: نحوه آزمایش هر ستون

۳- بررسی نتایج آزمایشات

۳-۱- رفتار کلی

رفتار کلی ستونها با توجه به خارج از مرکز بودن همه ی بارها، مشابه هم بود. بعنوان مثال همه ستونها پس از انحنای میانه‌ی ستون شکسته شدند. به تناسب افزایش باری که به ستونها وارد می‌شد و بعلت تنش‌های وارده هسته بتنی به میلگردهای عرضی، صدای ایجاد ترک در بتن شنیده می‌شد.

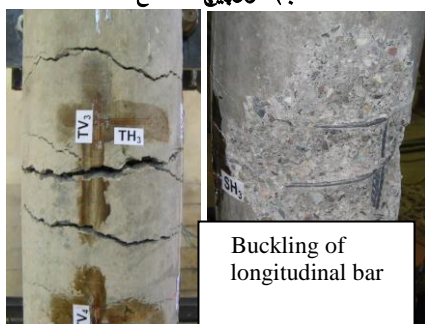
بیشترین تغییر مکان جانبی نیز در میانه ارتفاع ستون صورت گرفت. ترک‌های اولیه و در پایان گسیختگی ستون نیز از ناحیه کششی ستون آغاز و صورت گرفت. گسیختگی پایانی نیز در میانه‌ی ستونها و پس از تسلیم کامل ستون انجام شد. پس از تسلیم کامل ستون بارپذیری ستونها کاهش یافت. همچنین مشاهدات نشان داد که به تناسب بارگیری ستون ابتدا میلگردهای طولی تسلیم شدند که این عمل همراه با ایجاد ترک‌های اولیه در ناحیه‌ی کششی ستون نیز بود، پس از آن با کاهش سختی و افزایش نرخ جابجایی در پایان ستون به ظرفیت پایانی خود رسید و آرماتورهای فشاری شروع به کمانش کردند که در نتیجه مفصل پلاستیک ایجاد و گسیختگی کامل در ستون ایجاد و سپس سختی ستون به تدریج کاهش و صفر شد. بطور کلی معلوم شد که ستونهای با دورپیچ‌های معمولی مقاومت بالاتری نسبت به ستونهای با دورپیچ‌های متقاطع داشته و از طرفی ستونهای با دورپیچ متقاطع شکل‌پذیری بهتری نسبت به ستونهای با دورپیچ معمولی دارند. در شکل ۶ چگونگی شکست ستون در هر سه تیپ ستونها نشان داده شده است.



الف) دورپیچ متقاطع با چرخش ۹۰ درجه



ب) دورپیچ متقاطع



ج) دورپیچ معمولی

شکل ۶: نحوه شکست ستون در هر سه تیپ ستونها

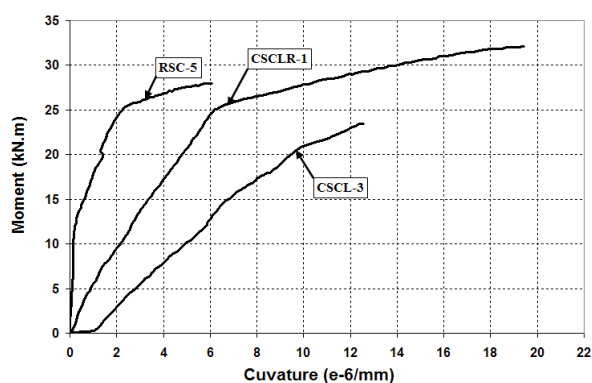
۳-۲- رفتار بار جابجایی

منحنی بار- جابجایی نمونه‌های با خروج از مرکزیت ۷۵ درصد (۱۸۷/۵ میلی‌متر) و ۱۰۰ درصد (۲۵۰ میلی‌متر) در اشکال ۷ و ۸ نشان داده شده است. منظور از جابجایی، میزان حرکت قائم جک هیدرولیک است که به شکل کنترل شده به ستون اعمال می‌شود.

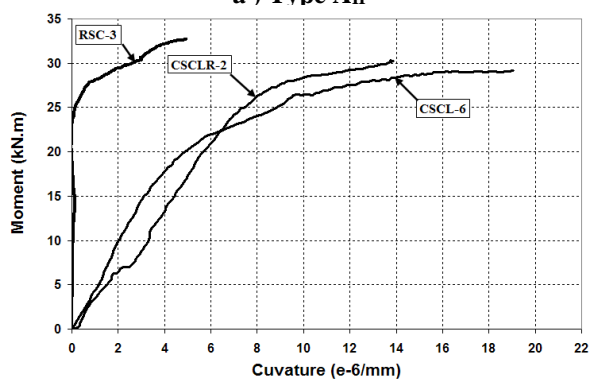
همه نمونه‌ها تا قبل از تسلیم آرماتورهای کششی (نقطه Y) نزدیک به رفتار خطی داشتند. برای مثال آرماتورهای کششی در ستون CSCL-۶ در نیروی حدود ۱۰۰ کیلونیوتن و جابجایی متناظر ۶/۴ میلی‌متر تسلیم شدند. سختی اولیه سکانتی نیز معادل ۱۶/۰۱ کیلونیوتن بر میلی‌متر بود. پس از تسلیم آرماتورهای کششی سختی ستون کاهش پیدا کرد تا اینکه آرماتورهای فشاری کمانش کردند و مفصل پلاستیک تشکیل شد (F) در این حالت نیروی نهایی ستون معادل ۱۲۰ کیلونیوتن با جابجایی معادل ۱۶/۶ میلی‌متر بود. رفتار عمومی نمودار بار- جابجایی در حد فاصل بین نقاط Y و F غیرخطی و محدب بود. آنچه مشخص شد، این است که عملکرد و سطح زیر منحنی

۳-۳- رفتار- لنگر- انحنای

در اشکال ۹ و ۱۰ منحنی لنگر- انحنای ستونهای مورد آزمایش برای میانه نمونه‌ها نشان داده شده است. با استفاده از مقادیر کرنش طولی در سه نقطه از هر مقطع ستون، می‌توان انحنای را بدست آورد. به این ترتیب که پروفیل کرنش در مقطع محاسبه شده و شیب متوسط آن که نمایانگر انحنایست تعیین می‌شود. در مواردی که یکی از سه کرنش سنج طولی کار نکرده‌اند نیز می‌شود انحنای را با داشتن دو نقطه بدست آورد. این محاسبات در هر مقطع و در هر لحظه انجام شده است. در این مطالعه معلوم شد در ستونهای با دورپیچ‌های معمولی در هر دو دسته AII و AIII سختی خمشی و ظرفیت لنگر بهبود یافته بود. رفتار ستونهای با دورپیچ‌های متقاطع نیز در هر دو دسته AII و AIII متفاوت بود. در این ستونها علاوه بر افزایش ظرفیت لنگر و سختی خمشی نمونه‌ها، ظرفیت انحنای ستون نیز بسیار بهبود یافته بود. در جدول ۲ میزان سختی اولیه، مشخصات نیرو و جابجایی نقاط تسلیم و گسیختگی و همچنین سختی ثانویه برای تمام نمونه‌ها در مقایسه با یکدیگر نشان داده شده است.



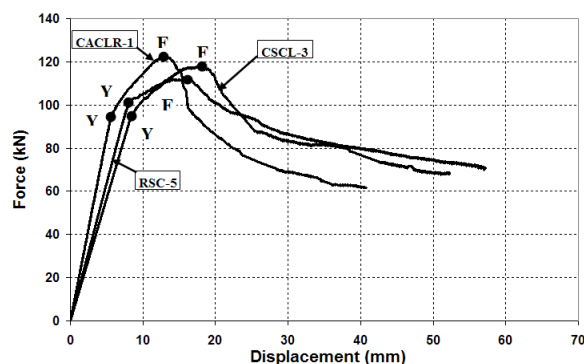
a) Type AII



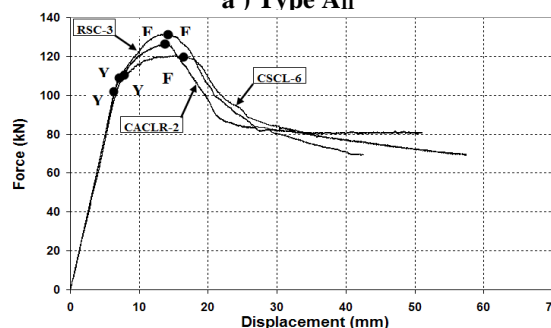
b) Type AIII

شکل ۹: منحنی لنگر- انحنای ستونهای مورد آزمایش برای میانه نمونه‌های با خروج ۱۰۰ درصد

حداکثر Y و F بیشتر مرتبط با نوع و چگونگی محصورشدگی آرماتورهای عرضی داشت. در ستونهای با دورپیچ‌های متقاطع به تناسب افزایش خروج از مرکزیت شکل‌پذیری نیز بهبود یافته بود. در صورتیکه این مسئله در ستونهای با دورپیچ معمولی تأثیری چندانی نداشت.

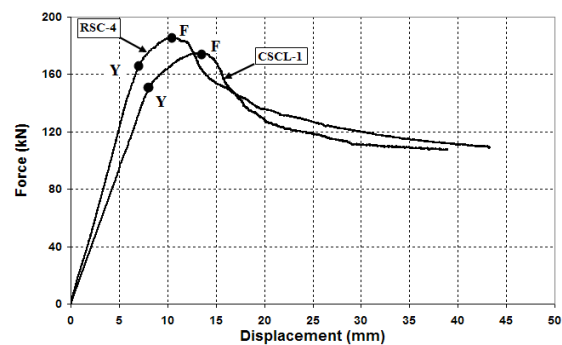


a) Type AII

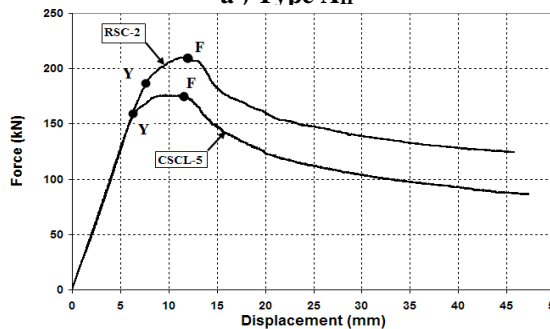


b) Type AIII

شکل ۷: منحنی بار- جابجایی نمونه‌های با خروج از مرکزیت ۱۰۰ درصد

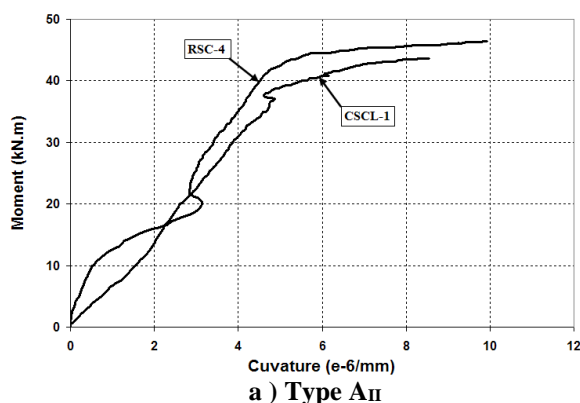
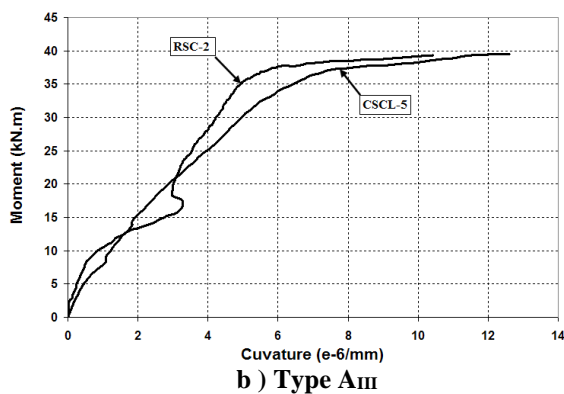


a) Type AII



b) Type AIII

شکل ۸: منحنی بار- جابجایی نمونه‌های با خروج از مرکزیت ۷۵ درصد



شکل ۱۰: منحنی لنگر- انحنای ستونهای مورد آزمایش برای میانه نمونه‌های باخروج ۷۵ درصد

جدول ۲: نتایج آزمایشات

ستون	سختی اولیه	مقاومت تسلیم		سختی ثانویه	مقاومت گسیختگی نهایی	
	(KN/mm)	نیرو (KN)	جابجایی (mm)	(KN/mm)	نیرو (KN)	جابجایی (mm)
RSC-1	۳۰/۳	۲۳۶/۴۶	۷/۸	۲۶/۴۲	۲۸۶/۶۶	۱۰/۸۵
RSC-2	۲۳/۷۲	۱۹۱/۴۵	۸/۰۷	۱۸/۰۲	۲۰۹/۹۸	۱۱/۶۵
RSC-3	۱۵/۲۸	۱۱۰/۹۴	۷/۲۶	۹/۱۹	۱۳۱/۶۲	۱۴/۳۲
RSC-4	۲۳/۲۱	۱۶۹/۲	۷/۲۹	۱۶/۸۴	۱۸۴/۸۶	۱۰/۹۸
RSC-5	۱۱/۹۴	۱۰۲/۸۲	۸/۶۱	۶/۹۴	۱۱۱/۴۹	۱۶/۰۶
RSC-6	۲۲/۶۵	۲۹۳/۶۶	۱۲/۹۶	۲۱/۰۰	۳۱۱/۱۲	۱۴/۸۱
CSCL-1	۱۸/۲۱	۱۵۳/۳۶	۸/۴۳	۱۳/۰۱	۱۷۴/۳۴	۱۳/۴
CSCL-2	۲۸/۱۵	۲۶۵/۵	۹/۴۳	۲۶/۰۶	۲۶۶/۸۸	۱۰/۲۴
CSCL-3	۱۱/۱۱	۹۴/۶۸	۸/۵۲	۶/۸۰	۱۱۷/۵۶	۱۷/۲۸
CSCL-4	۲۴/۶۲	۲۴۳/۲۵	۹/۸۸	۲۱/۵۹	۲۶۳/۲۲	۱۲/۱۹
CSCL-5	۲۳/۹۷	۱۶۳/۰۲	۶/۸	۱۵/۶۶	۱۷۵/۲۷	۱۱/۱۹
CSCL-6	۱۴/۵۱	۱۰۸/۸۱	۷/۵	۷/۳۰	۱۲۰/۲	۱۶/۴۶
RSCLR-1	۱۶/۲۳	۹۶/۷۳	۵/۹۶	۹/۳۴	۱۲۱/۹۶	۱۳/۰۵
RSCLR-2	۱۴/۲۳	۱۱۱/۸۶	۷/۸۶	۸/۶۳	۱۲۵/۲۴	۱۴/۵۱

مدلسازی که دارای ۱۳۵۲۰ المان Solid شش وجهی تیپ C۲D۸ و ۱۷۶۰ المان Solid گره‌ای تیپ C۲D۶ بود انجام شد. برای میلگردها نیز از المان تراس تیپ T۳D۲ استفاده و در بتن جاسازی گردید. شرایط مرزی نیز همانند حالت آزمایشگاهی بود.

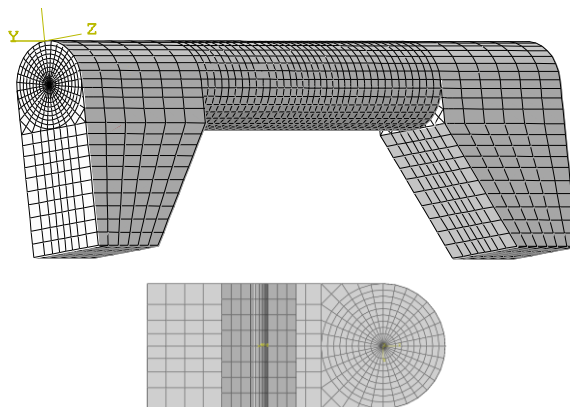
۴- بررسی نتایج عددی

۴-۱- مدلسازی هندسی

بدلیل اهمیت بررسی محصورشدگی در انواع دورپیچ‌ها و تفاوت موجود میان مقاومت تسلیم این دورپیچ‌ها، لذا از المان سه بعدی نرم افزار اجزاء محدود ABAQUS (ویرایش ۱-۸-۶) برای کلیه نمونه‌ها استفاده گردید.

کلیه نمونه‌های آزمایشگاهی موضوع این تحقیق، همانطور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است مش بندی سه بعدی و

مشخص گردید که نتایج عددی شباهت و نزدیکی زیادی با نتایج آزمایشگاهی دارند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از آنالیز عددی برای این نوع آزمایشات دست کم برای پارامترهای مورد مطالعه اطمینان لازم را دارد. همچنین تهیه منحنی‌های اندر کنش بار-لنگر معلوم نمود که هر چند نمونه‌های مورد آزمایشی همگی در ناحیه کششی منحنی واقع شده‌اند ولی اختلاف چندانی با نتایج آزمایشات دارد.



شکل ۱۱: مش بندی سه بعدی و مدلسازی

۲-۴- خصوصیات مصالح

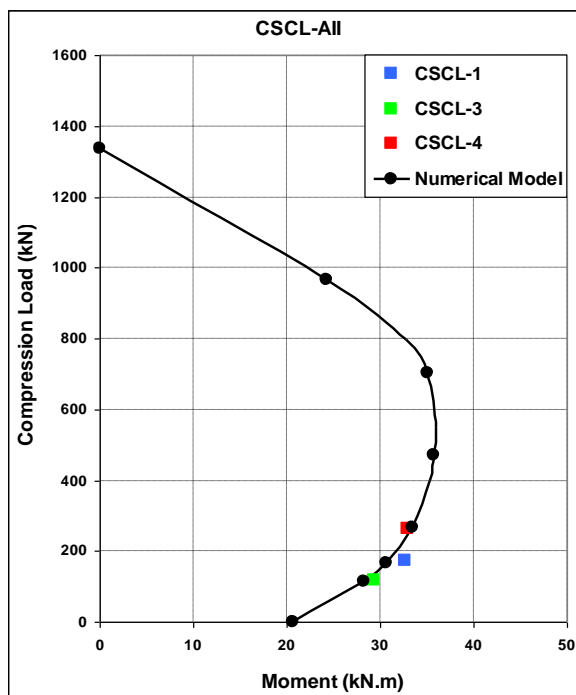
برای رفتار مکانیکی مصالح بتن با استفاده از مدل ترکیبی اطلاعات عددی خواسته شده بصورت فرضی انتخاب گردیدند زیرا تفاوت خاصی نسبت به بتن آزمایش شده نداشتند. مقاومت کششی بتن نیز معادل ۱۰٪ مقاومت نهایی فشاری بتن انتخاب گردید که نزدیک به مقدار معادل نمونه آزمایش کششی بتن مورد استفاده در آزمایشات بود. مدول الاستیسته بتن معادل ۳۰۰۰۰ مگاپاسکال، ضریب پواسون معادل ۰/۲ و دانسیته بتن ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مکعب لحاظ گردید. همچنین تنش گسیختگی معادل ۲/۳ مگاپاسکال و انرژی شکست G_f^I معادل ۱۲۴ نیوتن بر متر در نظر گرفته شد. انرژی شکست در حقیقت سطح زیر منحنی تنش-جابجایی تا مرحله ترک خوردگی می‌باشد. مشخصات مکانیکی فولاد معرفی در ستونها نیز شامل مدول الاستیسته معادل ۲۰۶۹۰۰ مگاپاسکال، ضریب پواسون ۰/۳ و دانسیته آن معادل ۸۷۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب در هر دو دسته AII و AIII لحاظ گردید.

۳-۴- شرایط مرزی

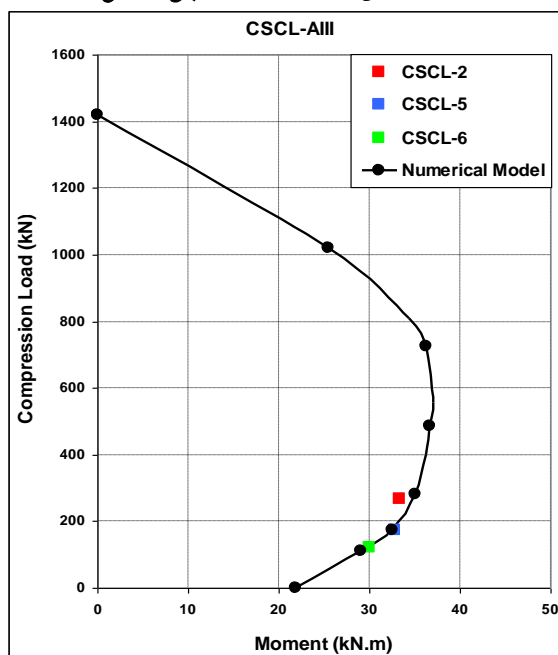
با توجه به شرایط آزمایشگاهی نمونه‌ها، در مدلسازی عددی نیز شبیه حالت آزمایشی عمل گردید. بدین ترتیب که در بالای نمونه در جهت اعمال بار و همچنین حول محور موازی افق و در پائین نمونه فقط حول محور موازی افق جابجایی و چرخش ستون آزاد گردید. همچنین شرایط بارگذاری نیز شبیه مدل آزمایشگاهی به شکل مونوتونیک در نظر گرفته شد.

۵- مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی

برای ارزیابی رفتار عددی و آزمایشگاهی، نمونه‌های CSCL(۱-۶) مدلسازی و مورد تحلیل عددی قرار گرفت. در شکل ۱۲-الف و ب، نمودارهای اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی نمونه‌های با دورپیچ متقاطع تهیه و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. با ملاحظه نتایج بدست آمده



شکل ۱۲-الف: کنترل درستی مدل سازی نتایج عددی با آزمایشگاهی نمونه‌های با دورپیچ متقاطع



شکل ۱۲-ب: کنترل درستی مدل سازی نتایج عددی با آزمایشگاهی نمونه‌های با دورپیچ متقاطع

۶- نتیجه‌گیری

به ازای هر ۲۵ درصد افزایش خروج از مرکزیت حدود ۵۰ درصد افزایش یافته بود.

• نتایج نشان می‌دهد در همه خروج از مرکزیت‌های موجود، ستونهای با دورپیچ معمولی مقاومت‌های تسلیم و گسیختگی بیشتری نسبت به ستونهای با دورپیچ متقاطع داشتند. در همه خروج از مرکزیت‌ها مقاومت تسلیم و گسیختگی دورپیچ‌های معمولی و متقاطع در دسته AIII بالاتر بود. همچنین به تناسب افزایش خروج از مرکزیت شکل‌پذیری نیز بهبود یافته و بین ۱۵ تا ۲۵ درصد افزایش یافته بود.

• رفتار عمومی ستون‌های با دورپیچ معمولی و ستون‌های با دورپیچ متقاطع به هم نزدیک و مشابه بود.
• ستونهای با دورپیچ متقاطع در مجموع شکل‌پذیری بیشتری از ستونهای با دورپیچ ساده داشتند.
• نتایج نشان می‌دهد هر چه خروج از مرکزیت بار بیشتر شود، مقاومت‌های تسلیم و گسیختگی ستونها در هر دو دسته دورپیچ‌های عرضی کاهش یافته ولی شکل‌پذیری افزایش یافته بود.
• مشخص گردید هر چه خروج از مرکزیت بار بیشتر شود، نسبت مقاومت ستونهای با دورپیچ ساده با دسته AIII

۷- مراجع

- LAMBERT-AIKHIONBARE N, TABSH SW. CONFINEMENT OF HIGH STRENGTH CONCRETE COLUMNS WITH WELDED WIRE FABRIC. ACI STRUCT J 2001; 98(5): 677-85. [۸]
- RICHART, F.E., BRANDTZAEG, A. AND BROWN, R.L., "A STUDY OF THE FAILURE OF CONCRETE UNDER COMBINED COMPRESSIVE STRESS", UNIVERSITY OF ILLINOIS, BULLETIN No. 185, 1928. [۱]
- BUDEK AM, PRIESTLEY MJN, LEE CO. SEISMIC DESIGN OF COLUMNS WITH HIGH-STRENGTH WIRE AND STRAND AS SPIRAL REINFORCEMENT. ACI STRUCT J 2002; 99(5):660-70 [۹]
- PRIESTLEY, M. J. N., AND PARK, R. (1987). "STRENGTH AND DUCTILITY OF CONCRETE BRIDGE COLUMNS UNDER SEISMIC LOADING." ACI J., 84(1), 61-76 [۲]
- TANAKA H, PARK R. SEISMIC DESIGN AND BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH INTERLOCKING SPIRALS. ACI STRUCT J 1993; 90(2): 192-203. [۱۰]
- MANDER JB, PRIESTLEY MJN, PARK R. "THEORETICAL STRESS-STRAIN MODEL FOR CONFINED CONCRETE". J STRUCT ENGGG ASCE V 1988;114(8):1804-26. [۳]
- KUNNATH SK, EL-BAHY A, TAYLOR A, STONE W. CUMULATIVE SEISMIC DAMAGE OF REINFORCED CONCRETE BRIDGE PIERS. TECHNICAL REPORT NCEER-97-0006, UNIVERSITY OF CENTRAL FLORIDA, NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY, ORLANDO, FLORIDA; 1997. [۱۱]
- ACI COMMITTEE 318. BUILDING CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE (ACI 318-08) AND COMMENTARY (318R-08). FARMINGTON HILLS (MI): AMERICAN CONCRETE INSTITUTE; 2008, p. 430. [۴]
- TURECHEK W. CYCLIC BEHAVIOR OF R/C CIRCULAR COLUMNS CONFINED WITH OPPOSING SPIRALS. MASTER THESIS, DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING AND CONSTRUCTION, BRADLEY UNIVERSITY, PEORIA, IL, USA; 2006. [۱۲]
- HINDI R, AL-QATTAWI M, ELSHARIEF A. INFLUENCE OF DIFFERENT CONFINEMENT PATTERNS ON THE AXIAL BEHAVIOR OF R/C COLUMNS. IN: PROCEEDINGS OF THE ASCE-SEI 2005 STRUCTURES CONGRESS, NEW YORK, NY; APRIL 20-24, 2005. [۵]
- HINDI R, TURECHEK W. EXPERIMENTAL BEHAVIOR OF CIRCULAR CONCRETE COLUMNS UNDER REVERSED CYCLIC LOADING. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS. SEPTEMBER 2006 ARTICLE IN PRESS [۶]
- SAATCIOGLU M, GRIRA M. CONFINEMENT OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH WELDED REINFORCEMENT GRIDS. ACI STRUCT J 1999; 96(1):29-39. [۷]

