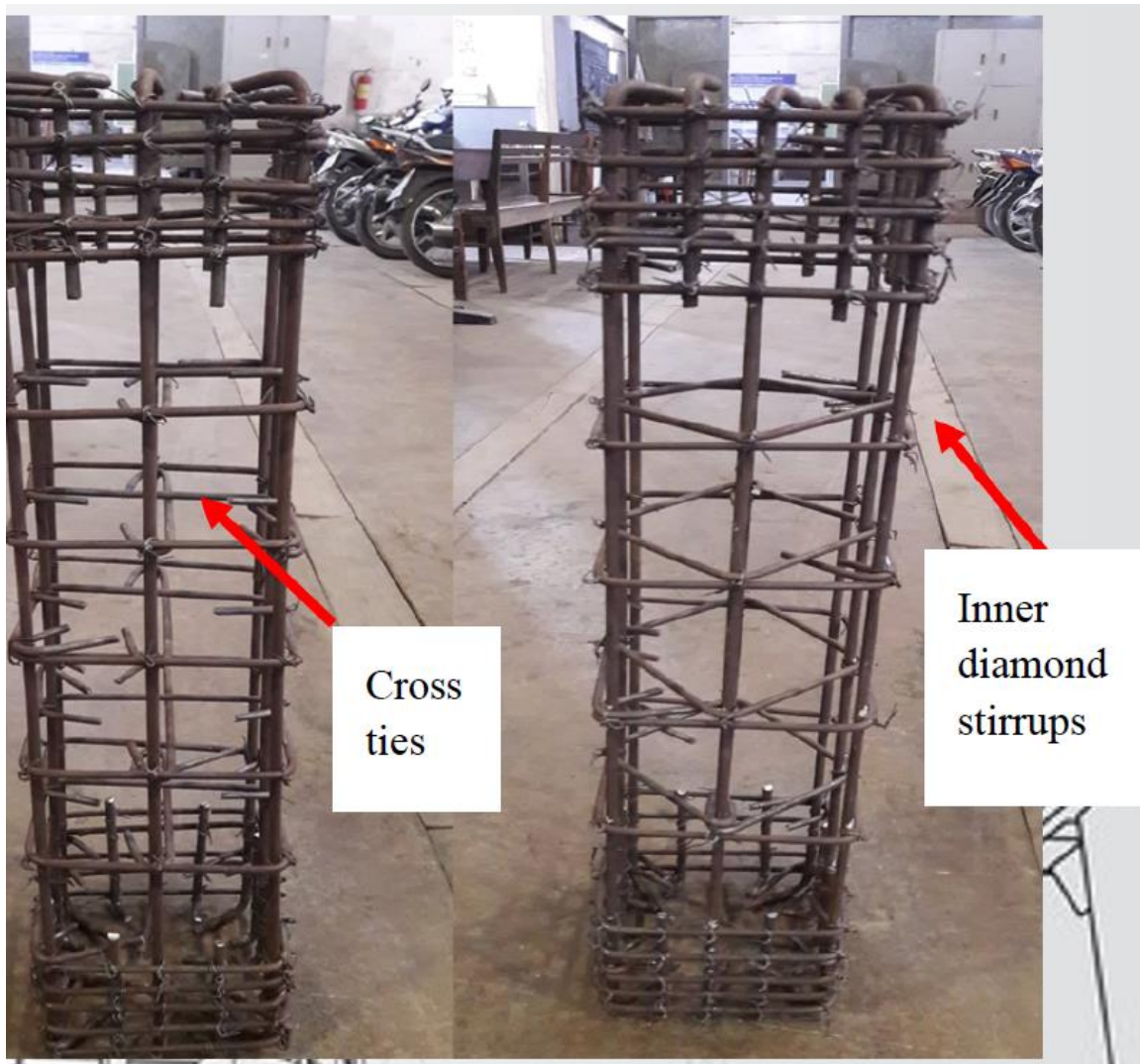


مقایسه مهاربندی میلگردهای طولی ستون با سنجاقی و میلگرد لوزی شکل

در طراحی و اجرای ستون‌های بتن آرمه، یکی از نکات بسیار مهم، مهار جانبی میلگردهای طولی است؛ خصوصاً وقتی فاصله بین میلگردهای طولی بیش از ۱۵ سانتی‌متر باشد. آیین‌نامه‌ها (مانند مبحث نهم مقررات ملی ساختمان ایران و ACI 318) تأکید دارند که این میلگردهای میانی نباید بدون مهار رها شوند، چون ممکن است در بارگذاری فشاری و به‌ویژه در هنگام زلزله، دچار کمانش شوند و مقاومت ستون را به‌شدت کاهش دهند.



برای مهار این میلگردها دو راهکار رایج وجود دارد: استفاده از میلگردهای سنجاقی (قلاب دوخت) یا استفاده از میلگردهایی با فرم لوزی شکل (ضربدری). هر کدام از این روش‌ها، مزایا، محدودیت‌ها و شرایط خاص خودشان را دارند. در این مقاله، با نگاهی دقیق و مهندسی، این دو روش را از نظر عملکرد سازه‌ای، رفتار لرزه‌ای، اجرایی و اقتصادی مقایسه می‌کنیم.

تعریف روش‌ها

میلگرد سنجاقی (Crosstie یا Stitch Tie): میلگردی کوتاه با خم ۱۳۵ درجه در حداقل یکی از سرها که بین میلگردهای طولی میانی و خاموت‌های اصلی قرار می‌گیرد تا میلگرد میانی را از یک یا چند جهت مهار کند.

میلگرد لوزی شکل (Diagonal or Diamond Tie): یک میلگرد خم شده به صورت لوزی یا X که داخل مقطع ستون قرار گرفته و چند میلگرد میانی را به صورت همزمان محصور می‌کند. این میلگرد معمولاً از چهار ضلع مورب تشکیل می‌شود و یک فرم بسته ایجاد می‌کند.



(a) A photo of a side view



(b) A photo of a closer look

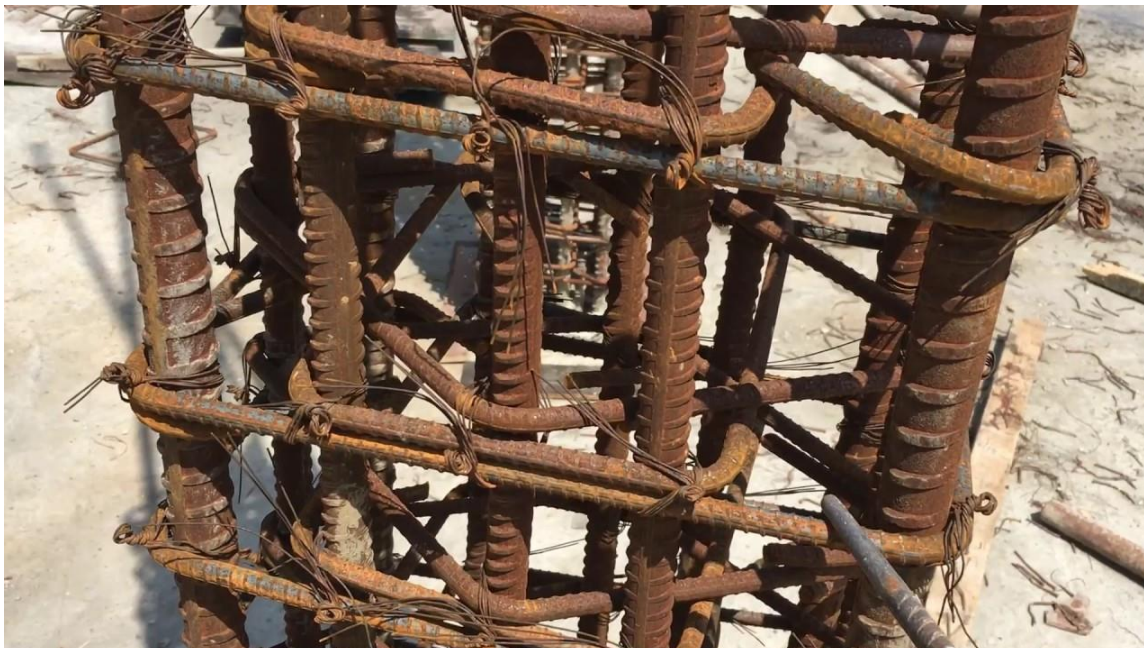
1. عملکرد سازه‌ای و لرزه‌ای

مهار جانبی و جلوگیری از کمانش:

هر دو روش در صورت اجرای صحیح، می‌توانند عملکرد مناسبی در مهار میلگردهای میانی داشته باشند. اما تفاوت‌هایی نیز دارند:

- سنجاقی، میلگرد میانی را از یک یا دو جهت (بسته به تعداد سنجاقی‌ها) مهار می‌کند.

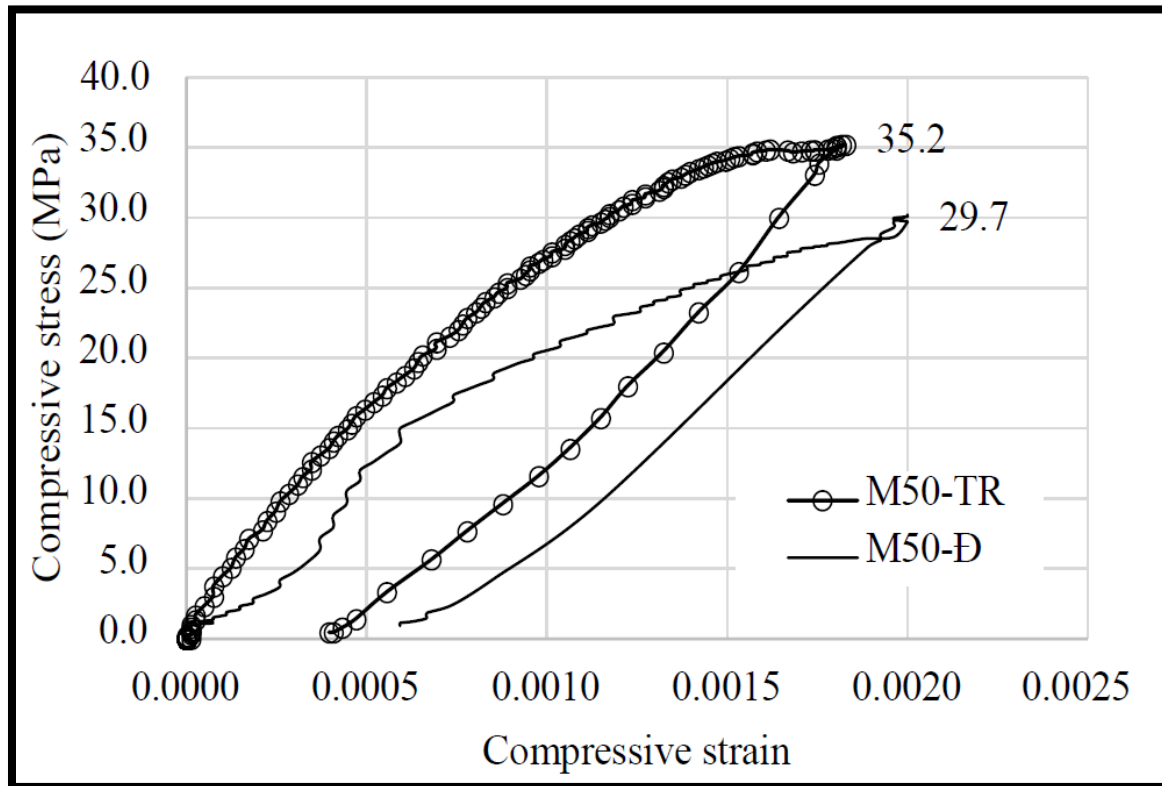
- لوزی شکل، در صورت طراحی مناسب، می‌تواند چند میلگرد میانی را به‌طور همزمان و از جهات مختلف محصور کند. بنابراین از نظر تئوری، لوزی شکل پوشش کامل‌تری فراهم می‌کند.



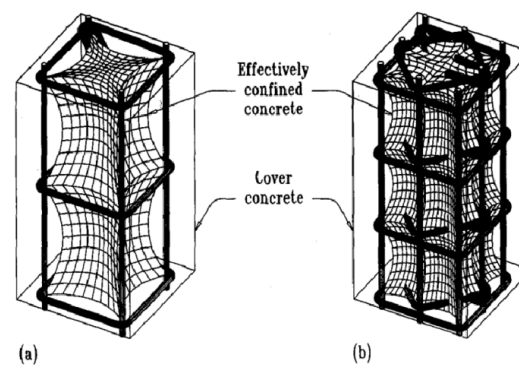
ظرفیت فشاری ستون و شکل‌پذیری:

به‌طور سنتی این‌طور تصور می‌شده که خاموت‌های لوزی شکل در مقایسه با سنجاقی‌ها (cross ties) برای بهبود عملکرد سازه‌های المان‌های قائم (مانند ستون‌های بتن آرمه و دیوارها) گزینه بهتری هستند، چراکه خاموت لوزی شکل بسته است، در حالی که سنجاقی‌ها این خاصیت را ندارند.

مطالعه‌ای انجام شده که نشان می‌دهد در ساختمان‌های کم‌ارتفاع تر میلگردهای لوزی به دلیل محصورشدگی بیشتر، تا ۱۸ درصد مقاومت فشاری بیشتری رو برای ستون به ارمغان آوردند در حالیکه میلگردهای سنجاقی کرنش بیشتری را تجربه کرده‌اند و بنابر این می‌توان گفت شکل‌پذیری بیشتری داشته‌اند.

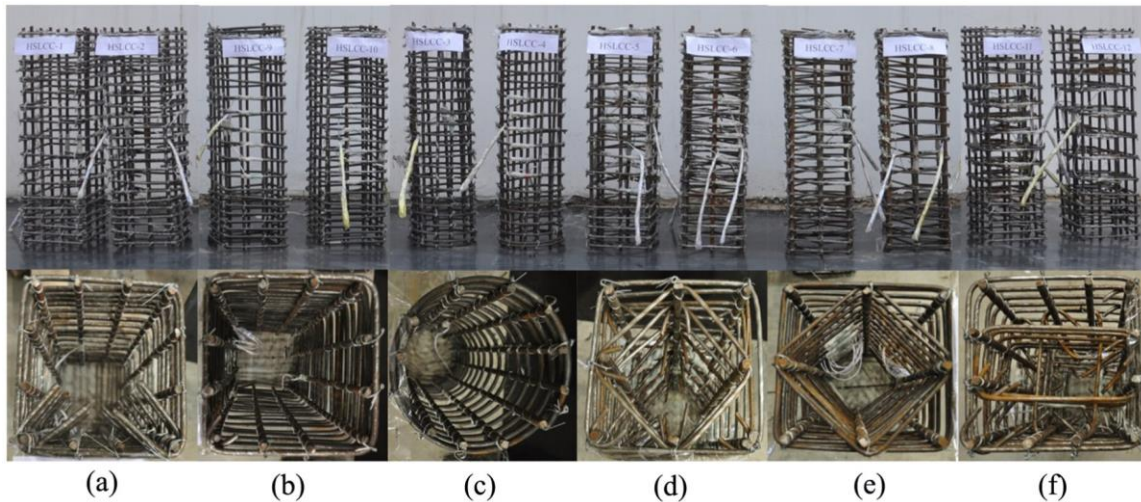


در آزمایش‌های مختلف، ستون‌هایی که با سنجاقی مهار شده بودند، در برخی موارد شکل‌پذیری بیشتری از خود نشان دادند. دلیل این موضوع، انعطاف‌پذیری بیشتر میلگردهای مستقل سنجاقی و رفتار نرم‌تر آن‌ها در فاز پس از تسلیم است.



رفتار در زلزله:

در شرایط بارگذاری چرخه‌ای، هر دو روش توانسته‌اند عملکرد مناسبی از خود نشان دهند؛ اما در صورتی که خم ۱۳۵ درجه در سنجاقی رعایت نشده باشد، احتمال باز شدن و آزاد شدن میلگرد میانی در روش سنجاقی وجود دارد. بنابراین رعایت دقیق جزئیات اجرایی، کلید موفقیت هر دو روش است.



2. مقایسه اجرایی و اقتصادی

سادگی و سرعت اجرا:

سنجاقی‌ها بسیار ساده‌تر، سریع‌تر و ارزان‌تر قابل اجرا هستند. چون اندازه کوچک دارند، به راحتی خم می‌شوند و در کارگاه‌های ایران هم بسیار رایج هستند. در مقابل، میلگردهای لوزی شکل نیاز به دقت بیشتر در خم کاری، ساخت قالب دقیق و نصب همزمان با آرماتوربندی اصلی دارند.

هزینه‌ها:

از نظر میزان فولاد مصرفی، تفاوت چشمگیری بین دو روش وجود ندارد. اما هزینه‌ی کارگری در روش لوزی شکل بیشتر است؛ چرا که زمان بیشتری برای خم و نصب لازم دارد.

احتمال خطا:

در روش سنجاقی، خطای رایج استفاده از خم ۹۰ درجه به جای ۱۳۵ درجه است. در روش لوزی شکل نیز خطای رایج، نداشتن زاویه مناسب در خم‌ها یا گره نزدن صحیح میلگرد لوزی به آرماتورهای اصلی است.

بتن‌ریزی:

برخی مهندسان معتقدند که استفاده از میلگرد لوزی شکل باعث باز ماندن فضای مرکزی ستون می شود و بتن راحت تر به تمام نقاط مقطع نفوذ می کند. در حالی که سنجاقی ها به دلیل تعداد زیاد، ممکن است تراکم بیشتری در مرکز ایجاد کنند. اما اگر سنجاقی ها درست پخش و بسته شوند، این مشکل قابل حل است.

3. نقش زاویه خم در عملکرد مهاری

خم ۱۳۵ درجه در انتهای سنجاقی یا میلگرد لوزی، نقش حیاتی در عملکرد آن دارد. اگر این زاویه کمتر از مقدار مجاز باشد، مثلاً ۹۰ درجه، مهار جانبی به شدت تضعیف می شود و در برابر زلزله امکان باز شدن و از بین رفتن مهار وجود دارد.

در نتیجه چه برای سنجاقی و چه برای لوزی شکل، رعایت خم ۱۳۵ درجه الزامی است؛ مخصوصاً در مناطق با خطر لرزه ای زیاد. البته مطابق مبحث نهم در مورد سنجاقی ها اجرای خم ۱۳۵ درجه فقط در یک طرف آن الزامیست و طرف دیگر می تواند با خم ۹۰ درجه باشد.

جمع بندی نهایی

در یک نگاه کلی میتوان در ساختمان های کم ارتفاع تر چنین گفت:

- ✓ میلگرد سنجاقی ساده تر، سریع تر، کم هزینه تر و رایج تر است. به راحتی در اکثر پروژه ها اجرا می شود و اگر به درستی نصب شود، عملکرد بسیار خوبی دارد. و شکل پذیری بیشتری را نشان داده اند.
- ✓ میلگرد لوزی شکل در مهار همزمان چند میلگرد، ایجاد یک قفس محصور کننده ی یکپارچه و افزایش ظرفیت فشاری عملکرد بهتری دارد، اما اجرای آن پیچیده تر و هزینه برتر است.
- ◆ بنابراین در پروژه های عادی، سنجاقی انتخاب منطقی تر است. اما در پروژه هایی که نیاز به اطمینان بالاتر یا کنترل بیشتر بر شکل پذیری و ظرفیت نهایی دارند، استفاده از میلگردهای لوزی شکل می تواند گزینه ای جدی باشد.

پیشنهاد پایانی برای مهندسان

- اگر از میلگرد سنجاقی استفاده می کنید:
- حتماً از خم ۱۳۵ درجه در یک سمت کاملاً مطمئن شوید.
- همه میلگردهای میانی را در هر لایه مهار کنید.
- در ارتفاع ستون، فواصل مهارها را مطابق آیین نامه رعایت کنید.
- و اگر تصمیم دارید از میلگرد لوزی شکل استفاده کنید:
- دقت بیشتری در طراحی ابعاد و زاویه ها داشته باشید.
- در هنگام آرماتوربندی، موقعیت میلگرد لوزی را دقیقاً مطابق نقشه اجرا کنید.
- در نهایت، انتخاب بین این دو روش باید با توجه به شرایط سازه، موقعیت لرزه ای، امکانات اجرایی و دقت نیروهای کارگاه، در طراحی سازه منظور شود.