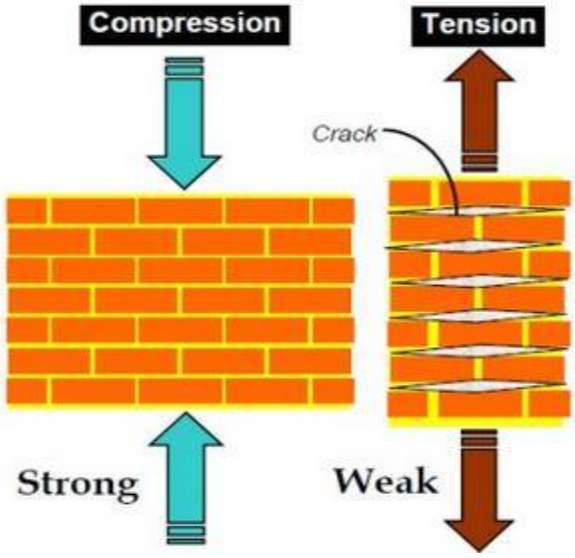
چگونه برای عملکرد خوب لرزه‌ای، ساختمان‌هایی شکل‌پذیر بسازیم؟

مصالح ساخت:

در خاورمیانه، بیشتر ساختمان‌ها با مصالح بنایی ساخته شده‌اند. در سطوح هموار، عموماً مصالح بنایی از آجرهای رسی سوخته و ملات سیمان ساخته شده است. مصالح بنایی می‌توانند بارهایی را که فشار ایجاد می‌کنند تحمل کنند (به‌صورت پرس شدن به یکدیگر)، اما باری که کشش ایجاد می‌کند را سخت می‌توانند تحمل کنند (از یکدیگر جدا می‌شوند)(شکل ۱).



شکل ۱: مصالح بنایی در فشار قوی بوده اما در کشش ضعیف هستند.

بتن مصالح دیگری است که در ساخت ساختمان‌ها خصوصاً در طول چهار دهه‌ی اخیر با محبوبیت زیادی استفاده شده است. بتن سیمانی از تکه‌های سنگ خردشده (سنگ‌دانه نامیده می‌شود)، ماسه، مخلوط آب و سیمان که با نسبت‌های مناسبی با یکدیگر ترکیب شده‌اند، ساخته می‌شود. بتن نسبت به مصالح بنایی تحت بارهای فشاری بسیار قوی‌تر است اما همچنان رفتار آن در فشار ضعیف می‌باشد. خواص مصالح شدیداً وابسته است به مقدار آبی که در ساخت بتن استفاده شده است؛ آب خیلی زیاد و آب خیلی کم هردو می‌توانند خرابی ایجاد کنند. به‌صورت کلی، هردو مصالح بنایی و بتن ترد می‌باشند و به‌طور ناگهانی شکسته می‌شوند.

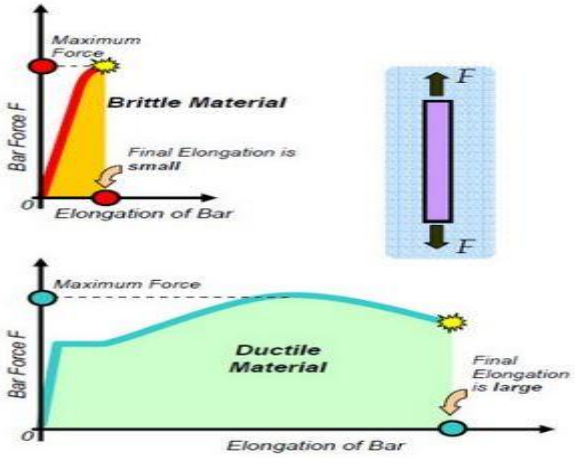
فولاد به‌عنوان میلگردهای تقویت با قطر بین ۶mm تا ۴۰mm در ساختمان‌های مصالح بنایی و بتنی استفاده می‌شوند. فولاد تقویتی می‌تواند هردو بارهای کششی و فشاری را تحمل کند. علاوه بر این، فولاد یک ماده‌ی شکل‌پذیر است. این خاصیت مهم شکل‌پذیری به میلگردهای فولادی این امکان را می‌دهد که کشش زیادی را قبل از شکستن تحمل کنند.

بتن در ساختمان‌ها همراه با میلگردهای تقویت فولادی استفاده می‌شود. این ماده‌ی مرکب بتن سیمانی مسلح یا بتن مسلح (RC) نامیده می‌شود. مقدار و محل فولاد در یک عضو باید طوری باشد که گسیختگی عضو قبل از اینکه بتن به مقاومت خود در فشار برسد، توسط فولاد که به مقاومت کششی خود می‌رسد، انجام شود. این نوع گسیختگی، گسیختگی شکل‌پذیر است و لذا به گسیختگی که در آن ابتدا بتن در فشار شکسته می‌شود، ترجیح داده می‌شود.

بنابراین، برخلاف تفکر رایج، وجود فولاد خیلی زیاد در ساختمان‌های RC حتی می‌تواند آسیب‌رسان باشد.

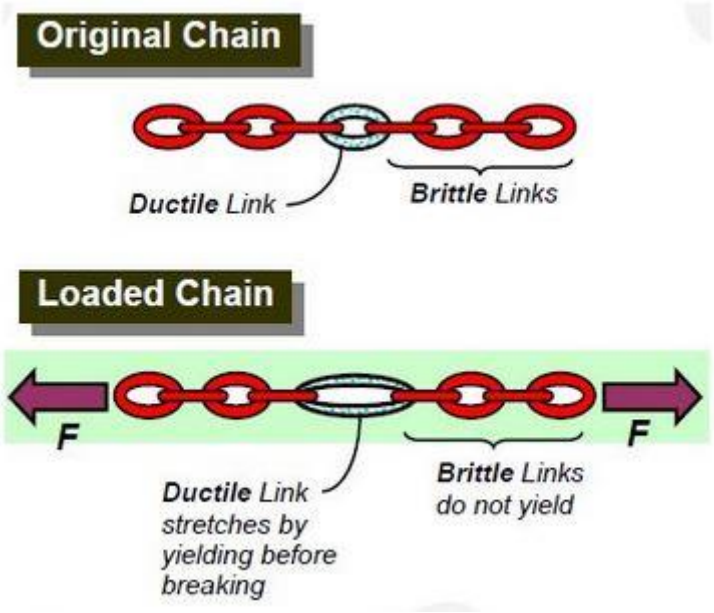
مفهوم طراحی ظرفیت:

دو میله با طول و سطح مقطع عرضی یکسان در نظر بگیرید- یکی از ماده‌ی شکل‌پذیر و دیگری از ماده‌ی ترد ساخته شده‌اند. حال این دو میله را آن‌قدر بکشید که بشکنند! متوجه خواهید شد که میله‌ی شکل‌پذیر قبل از اینکه بشکند تا حد زیادی افزایش طول می‌دهد، درحالی‌که میله‌ی ترد با رسیدن به حداکثر مقاومت خود در افزایش طول نسبتاً اندکی به‌طور ناگهانی خواهد شکست (شکل ۲). در میان مصالح ساخت استفاده شده در ساختمان، فولاد شکل‌پذیر است درحالی‌که مصالح بنایی و بتن تردشکن می‌باشند.



شکل ۲: آزمایش کششی بر روی مصالح- مصالح شکل‌پذیر در برابر تردشکن

حال زنجیری می‌سازیم با پیوندهایی که از مصالح تردشکن و شکل‌پذیر ساخته شده است (شکل ۳). هر یک از این پیوندها درست شبیه به میله‌های نشان داده شده در شکل ۲ گسیخته خواهد شد. حال، آخرین پیوند را در یکی از دو انتهای میله نگه داشته و نیروی F را اعمال کنید. از آنجایی‌که نیروی F یکسانی در طول تمامی پیوندها در حال انتقال است، نیروی هریک از پیوندها یکسان بوده و برابر با F می‌باشد. همان‌طور که نیروی اعمال‌شده بیشتر و بیشتر می‌شود، درنهایت زنجیر زمانی که ضعیف‌ترین پیوندش شکسته شود، خواهد شکست. اگر پیوند شکل‌پذیر، ضعیف باشد (بدین معنی که ظرفیت تحمل بار آن کمتر باشد)، آنگاه زنجیر افزایش طول نهایی زیادی را نشان خواهد داد. در عوض اگر پیوند تردشکن ضعیف باشد، آنگاه زنجیر به‌طور ناگهانی شکسته شده و افزایش طول اندکی را نشان خواهد داد؛ بنابراین، اگر می‌خواهیم زنجیری این‌چنین شکل‌پذیر داشته باشیم، باید ضعیف‌ترین پیوند را طوری بسازیم که شکل‌پذیر باشد.



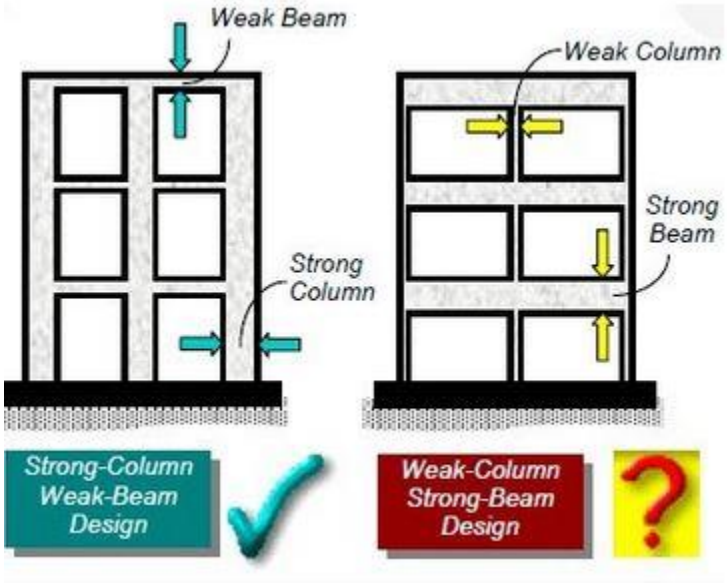
شکل ۳: طراحی زنجیر شکل‌پذیر

طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله

ساختمان‌ها باید مشابه زنجیر شکل‌پذیر طراحی شوند. برای مثال، سازه‌ای آپارتمانی مسکونی شهری معمولی را در نظر بگیرید- ساختمانی چند طبقه که از بتن مسلح ساخته شده است. این ساختمان شامل اعضای افقی و قائم است که تیرها و ستون‌ها نام دارند. نیروهای اینرسی لرزه‌ای تولید شده در سطوح طبقات این ساختمان از طریق تیرها و ستون‌های مختلف به زمین منتقل می‌شوند. اجزای صحیحی از ساختمان باید شکل‌پذیر ساخته شوند. گسیختگی یک ستون می‌تواند پایداری کلی ساختمان را تحت تأثیر قرار دهد اما گسیختگی یک تیر اثر موضعی ایجاد می‌کند؛ بنابراین، بهتر است که تیرها را به‌عنوان پیوندهای ضعیف شکل‌پذیر بسازیم نه ستون‌ها. این روش طراحی ساختمان‌های RC، روش طراحی ستون-قوی تیر-ضعیف نامیده می‌شود (شکل ۴).

طراحان با استفاده از آیین‌نامه‌های طراحی رایج (که به‌منظور طراحی در برابر اثرات غیر زلزله می‌باشند)، نمی‌توانند به سازه‌ای شکل‌پذیر دست پیدا کنند. تدارکات طراحی ویژه‌ای لازم است که به طراحان کمک کند تا شکل‌پذیری سازه را افزایش دهند. این‌گونه تدارکات معمولاً در قالب آیین‌نامه‌ی طراحی لرزه‌ای ویژه مانند UBC۹۷ فراهم می‌شوند.

همچنین این آیین‌نامه‌ها تضمین می‌کنند که شکل‌پذیری کافی در اعضایی که انتظار خرابی می‌رود، تأمین شده است.



شکل ۴: طرح ساختمان بتن مسلح

کنترل کیفیت در ساخت

مفهوم طراحی ظرفیت در طراحی ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله در صورتی که مقاومت‌های پیوندهای تردشکن کمتر از مقادیر مطمئن خود باشند، با شکست مواجه خواهد شد. مقاومت مصالح ساخت تردشکن، مانند مصالح بنایی و بتنی، حساسیت زیادی به کیفیت مصالح ساخت، نیروی کاری، نظارت و روش‌های ساخت دارد. به‌طور مشابه، نظارت ویژه‌ای در ساخت لازم است تا مطمئن شویم المان‌هایی که باید شکل‌پذیر باشند، قطعاً از ویژگی‌هایی برخوردارند که شکل‌پذیری کافی را به آن می‌دهند؛ بنابراین، پیوستگی محکمی نسبت به استانداردهای تجویزشده مصالح ساخت و فرآیند ساخت برای اطمینان از یک ساختمان مقاوم در برابر زلزله ضروری است. آزمایش منظم مصالح ساخت در آزمایشگاه‌های مناسب، آزمودن دوره‌ای نیروی کار در کارگاه‌های حرفه‌ای آزمون و ارزیابی در محل کار فنی اجزایی از کنترل کیفیت خوب می‌باشد.