

## بررسی تأثیر طبقه انتقالی بر رفتار ساختمان‌های ترکیبی در ارتفاع

علی همتی<sup>۱\*</sup> و علی خیرالدین<sup>۲</sup>

| اطلاعات مقاله   | چکیده   |
|---|---|
| <p><b>واژگان کلیدی:</b><br/>رفتار خطی، رفتار غیر خطی، ساختمان‌های ترکیبی، طبقه انتقالی، مفصل پلاستیک.</p> | <p>ساختمان‌های ترکیبی که دارای دو سیستم متفاوت سازه‌ای در ارتفاع می‌باشند، رفتار لرزه‌ای مناسبی ندارند. ساختمان‌های شامل سازه بتن آرمه در طبقات پایین و سازه فولادی در طبقات بالا، نمونه‌ای از این سازه‌های ترکیبی در ارتفاع می‌باشند و ممکن است تحت بارگذاری زلزله، سازه فلزی فوقانی روی بخش بتنی تحتانی بلغزد. در این مقاله، رفتار خطی و غیر خطی ساختمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه شامل قاب بتن آرمه با دیوار برشی در طبقات پایین و قاب فولادی با بادبند در طبقات بالا بررسی می‌شود. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با اجرای طبقه انتقالی در حد فاصل دو بخش فولادی و بتنی، رفتار لرزه‌ای این سازه‌ها بهبود می‌یابد. طبقه انتقالی، یک طبقه مرکب (بتنی- فولادی) است و شامل ستون‌های ترکیبی، دیوارهای برشی و بادبندهای فولادی می‌باشد. تعداد این طبقات انتقالی به ارتفاع ساختمان و میزان بارهای وارده، بستگی دارد. محل بهینه این طبقه، در یک سوم فوقانی ارتفاع ساختمان ترکیبی است. علاوه بر آن، با اجرای طبقه انتقالی در سازه‌های ترکیبی، نیروهای محوری و برشی در محل اتصال دو سازه کاهش می‌یابند و شکل‌پذیری این ساختمان‌ها افزایش پیدا می‌کند.</p> |

### ۱- مقدمه

سرعت اجرای زیاد و خاصیت ارتجاعی آن، در بخش‌های داخلی ساختمان و بتن به علت دارا بودن سختی زیاد، مقاومت در برابر آتش سوزی و قابلیت شکل‌دهی توسط قالب، در قسمت‌های خارجی آن به کار گرفته شد [۱]. اما آنچه در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد، نوع خاصی از ساختمان‌های ترکیبی است که شامل سازه بتن آرمه با دیوار برشی در طبقات پایین و سازه فولادی با بادبند در طبقات بالا است. این سازه‌ها که معمولاً به اجبار و از روی ضرورت احداث می‌شوند، رفتار لرزه‌ای مناسبی ندارند و ممکن است تحت بارگذاری زلزله، سازه فلزی فوقانی روی بخش بتنی تحتانی بلغزد [۲]. پیشنهاد جزئیات اجرایی برای ساخت این سازه‌ها و استفاده از طبقات انتقالی برای

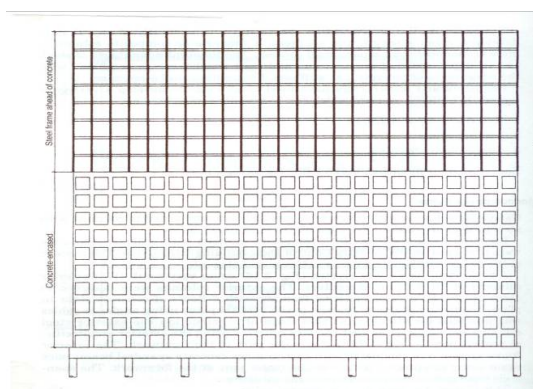
کاربرد موفقیت‌آمیز سیستم سقف مرکب عامل مهمی جهت احداث و پیشرفت ساختمان‌های ترکیبی بود. از سال ۱۹۶۷ میلادی این عقیده مطرح شد که با ترکیب فولاد و بتن در ارتفاع ساختمان‌ها، منافع اقتصادی و کاربردی مهمی حاصل می‌گردد. لذا فضلور خان در سال ۱۹۶۹ مرز میان سازه‌های بتنی و فولادی را برداشت و از این دو مصالح به صورت ترکیبی در ساختمان ۲۰ طبقه‌ای در هوستون استفاده نمود. فولاد به جهت مقاومت بالا،

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: ahemmati2000@yahoo.com

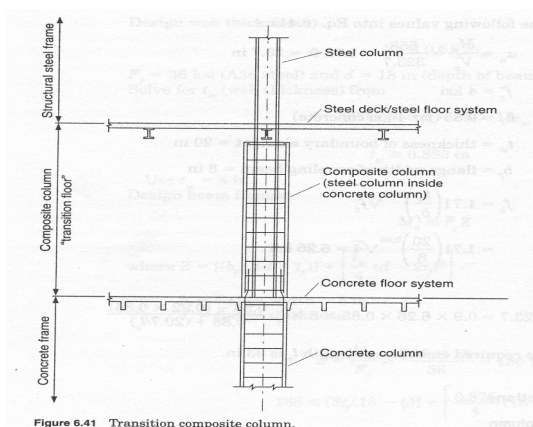
۱ دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲ استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

ستون‌ها نیز به صورت ترکیبی هستند. به عبارت دیگر، در این طبقه، یک سازه مرکب (بتنی- فولادی) تشکیل می‌گردد که ستون‌های فلزی داخل ستون‌های بتن آرمه قرار گرفته و بابدند توسط دیوار برشی پوشیده می‌شود. شکل ۳ جزئیات یک ستون ترکیبی را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، سطح مقطع ستون فولادی به کار رفته در ستون ترکیبی، با سطح مقطع پایین‌ترین ستون سازه فلزی یکسان است. به عبارت دیگر، اطراف این ستون فلزی قالب‌بندی شده و بتن‌ریزی می‌شود. بهتر است که ابعاد ستون ترکیبی با ابعاد بالاترین ستون سازه بتنی مشابه باشد و شبکه آرماتور اجرا شده در بالاترین ستون بتنی، در داخل ستون ترکیبی ادامه یابد. روی ستون فلزی مدفون در داخل ستون ترکیبی، برش‌گیرهای متعددی نصب می‌شود تا بار محوری ستون فلزی بالایی، به وسیله این برش‌گیرها به بخش بتنی منتقل گردد و نیاز به نصب صفحه ستون‌های بزرگ نباشد.



شکل ۱- نمای عمومی یک ساختمان ترکیبی در ارتفاع



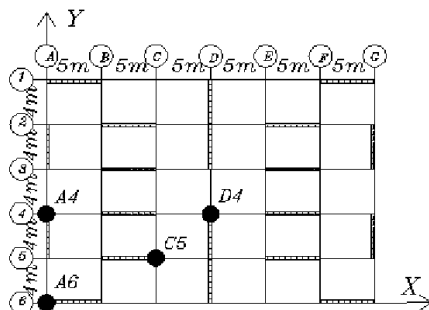
شکل ۲- طبقه انتقالی

بهبود رفتار لرزه‌ای آنها بسیار حائز اهمیت است. ساخت سازه‌های ترکیبی در ارتفاع بخصوص ساختمان‌های دارای قاب‌های بتنی در طبقات پایین و قاب‌های فولادی در طبقات بالا به دلایل مختلفی از جمله مشکلات حمل بتن و بتن‌ریزی در ارتفاع زیاد، افزایش طبقات یک ساختمان موجود بتنی با سازه فلزی و نصب دکل فلزی و یا سازه سبک فولادی روی یک ساختار بتنی اجتناب ناپذیر می‌باشد. شکل ۱ نمایی عمومی از یک ساختمان ترکیبی در ارتفاع را نشان می‌دهد.

به علت رفتار متفاوت فولاد و بتن به لحاظ شکل پذیری، مقاومت و مدول الاستیسیته، رفتار این سازه‌های ترکیبی تحت بارگذاری زلزله مشخص نیست و آیین‌نامه زلزله ایران [۳] برای این ساختمان‌ها ضریب رفتار و پیوند مشخصی را تعریف نمی‌کند و تنها به چند توصیه راجع به بارگذاری جانبی آنها می‌پردازد [۴]. به علت تبدیل اسکلت بتنی به اسکلت فولادی در یک طبقه خاص، نیروهای برشی و محوری زیادی در اثر زلزله به محل اتصال دو سازه یعنی پای ستون‌های فلزی در محل اتصال به ستون‌های بتنی وارد می‌شود. اگر این اتصال توسط صفحه ستون و بولت اجرا شود، خطر بریدن بولت‌ها و لغزش بخش فوقانی روی بخش تحتانی وجود دارد. میل مهارها نیز به خوبی توسط بتن گرفته نشده‌اند و هنگام زلزله ممکن است پوشش بتن اطراف میل مهارها تخریب شده و آرماتور از داخل بتن خارج گردد. همچنین در برخی از ستون‌ها، به ویژه ستون‌های کنار بادبندها، نیروی کششی زیادی ایجاد می‌شود که بسیار خطرناک است. در اینجا ضرورت اجرای یک بخش واسطه بین فولاد و بتن احساس می‌شود تا رفتار قسمت‌های متفاوت سازه ترکیبی را به یکدیگر نزدیک نماید. این بخش واسطه که طبقه انتقالی نامیده می‌شود، در شکل ۲ نشان داده شده است.

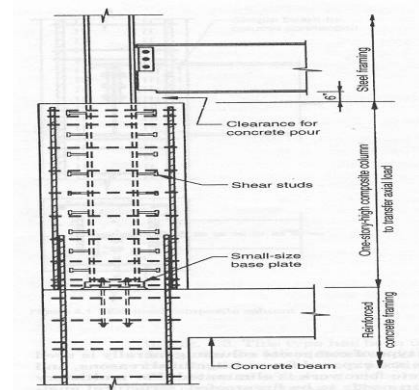
طبقات انتقالی روی بخش بتنی و در محل تغییر سیستم سازه، اجرا می‌شوند و تعداد آنها به ارتفاع ساختمان و مقدار بارهای وارده بستگی دارد. در طبقه انتقالی، دیوار برشی ادامه می‌یابد، بادبندهای فلزی اجرا می‌شوند و

ساختمان‌ها دارای ۶ دهانه در راستای X و ۵ دهانه در راستای Y هستند و ارتفاع طبقات سازه‌ها ۳/۸ متر است. سیستم سقف کلیه سازه‌ها از نوع تیرچه بلوک به ضخامت ۳۵ سانتی‌متر می‌باشد. بارگذاری قائم مطابق استاندارد ۵۱۹ [۸] و بارگذاری جانبی بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ انجام شده است. کاربری ساختمان‌های فوق، مسکونی و محل احداث آنها منطقه با خطر نسبی زیاد منظور شده است. مطابق آیین‌نامه زلزله ایران، ضریب رفتار ساختمان‌های ترکیبی نیز حداقل ضریب رفتار دو قسمت متفاوت سازه در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۴- پلان مدل‌های مورد بررسی

به‌طور کلی، ساختمان‌های مورد بررسی در سه مرحله مورد مطالعه قرار می‌گیرند. در مرحله اول، ساختمان‌های کاملاً بتنی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه دارای سیستم مختلط قاب خمشی با دیوار برشی با شکل پذیری متوسط مورد بررسی و تحلیل قرار می‌گیرند. در مرحله دوم، طبقات فوقانی سازه‌های تحلیل شده در مرحله اول، به تدریج با سازه‌های فلزی دارای سیستم قاب ساده فولادی با بادبند، جایگزین شده و ساختمان‌های ترکیبی ایجاد می‌شوند که مجدداً آنالیز می‌گردند. این جایگزینی تا رسیدن به سازه‌های کاملاً فولادی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه ادامه می‌یابد. در مرحله سوم، طبقات انتقالی در تراز تغییر سیستم سازه‌های ترکیبی مدل شده و مجدداً تحلیل انجام می‌گیرد. در هر سه مرحله، تحلیل‌های خطی و غیرخطی استاتیکی انجام گرفته و برخی از نتایج ارائه می‌گردند.



شکل ۳- جزئیات ستون ترکیبی در طبقه انتقالی

در طراحی این ستون‌ها فرض می‌شود که انتقال بار بین بخش بتنی و فولادی، توسط پیوستگی بین بتن و فولاد و نیز از طریق برش‌گیرها انجام می‌شود [۵ و ۶]. ظرفیت این ستون‌ها در حالت فشار تک محوری با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۱]:

$$P_0 = A_s F_y + A_r F_{yr} + 0.85 A_c f'_c$$

$$P_u \leq 0.8 \Phi P_0$$

(۱)

که در آن  $P_0$  ظرفیت مقطع ترکیبی در حالت فشار تک محوری،  $A_s$  مساحت پروفیل فولادی،  $A_r$  مساحت میلگردهای فولادی،  $A_c$  مساحت بتن،  $F_y$  تنش تسلیم پروفیل فولادی،  $F_{yr}$  تنش تسلیم میلگردهای فولادی،  $f'_c$  مقاومت فشاری بتن،  $P_u$  بار نهایی محوری و  $\Phi$  برابر با ۰/۷ می‌باشد.

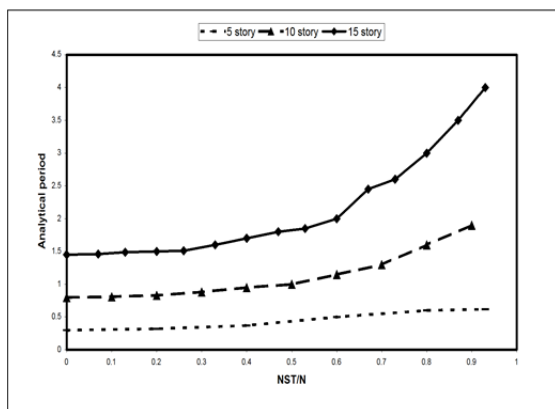
در مورد ستون‌های ترکیبی تحت نیروی فشاری و لنگر خمشی در حالت‌های متقارن و نامتقارن، روابط بسیاری ارائه شده که در مراجع مختلف قابل دست‌یابی است [۷].

## ۲- مدل‌های مورد بررسی

در این مقاله، ساختمان‌های ترکیبی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه با سیستم قاب خمشی بتنی با دیوار برشی در طبقات پایین و قاب ساده فولادی با بادبند در طبقات بالا مورد بررسی قرار می‌گیرند. پلان سازه‌های مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود،

## ۳-۱- نتایج تحلیل خطی

شکل ۵ تغییرات پیروید مود اول ساختمان‌های ترکیبی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه (با و بدون طبقه انتقالی) را در برابر تعداد طبقات فولادی فوقانی نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، نمودار از یک سازه بدون طبقه فولادی فوقانی شروع و به یک سازه کاملاً فولادی ختم می‌شود. با افزایش تعداد طبقات فولادی فوقانی تا حدود یک سوم ارتفاع، پیروید تحلیلی سازه‌های ترکیبی تقریباً ثابت و در حدود پیروید تجربی حاصل از آیین‌نامه زلزله ایران است. اما با افزایش تعداد طبقات فولادی به بیش از این مقدار، پیروید مود اول این سازه‌ها به شدت افزایش می‌یابد. بعلاوه، با اجرای طبقه انتقالی، زمان تناوب اصلی ساختمان کاهش پیدا می‌کند. اگر تعداد طبقات فولادی ساختمان ترکیبی با NST و تعداد کل طبقات سازه با N نشان داده شود، هنگامی که پارامتر  $(NST/N) < 1/3$  باشد، مورد فوق مشاهده می‌شود.



شکل ۵- پیروید تحلیلی مود اول سازه‌های ترکیبی

شکل ۶ تغییرمکان جانبی ساختمان‌های ترکیبی ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه را در تراز بام نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش تعداد طبقات فولادی فوقانی تا حدود یک سوم ارتفاع سازه، تغییرمکان جانبی به آرامی افزایش می‌یابد و در حدود مقادیر مجاز استاندارد ۲۸۰۰ است. اما با افزایش پارامتر NST به بیش از این مقدار، روند رشد تغییرمکان جانبی نیز سریعتر شده و از حدود مجاز ارائه شده در

نحوه نام‌گذاری مدل‌های تحلیلی در مورد سازه‌های ۵ طبقه در جدول ۱ آمده است. در نام‌گذاری مدل‌ها، C معرف سازه بتنی، S معرف سازه فولادی و اعداد بعد از C و S به ترتیب تعداد طبقات بتنی و فولادی می‌باشند. WB نیز بیانگر وجود طبقه انتقالی در سازه‌های ترکیبی در ارتفاع است. همین شیوه در مورد مدل‌های ۱۰ و ۱۵ طبقه نیز اعمال شده است. بخش‌های بتنی سازه‌های ترکیبی براساس آیین‌نامه ACI [۹] و بخش‌های فولادی مطابق آیین‌نامه AISC [۱۰] طراحی شده‌اند.

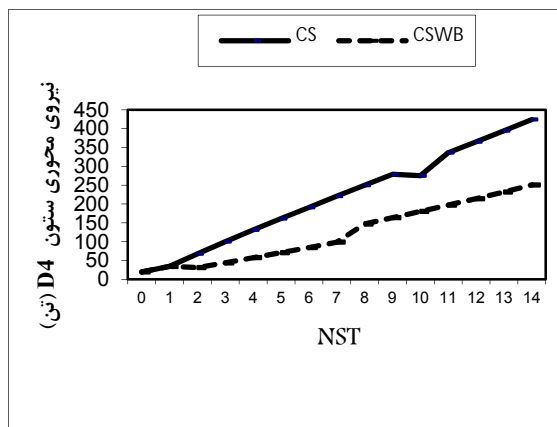
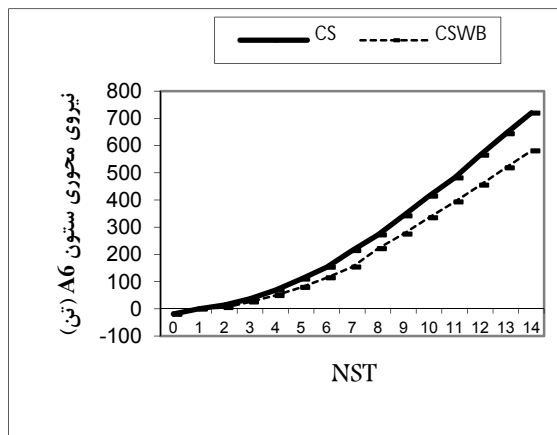
جدول ۱- نحوه نام‌گذاری مدل‌های تحلیلی ۵ طبقه

| نام مدل تحلیلی | شرح مدل   |
|----------------|---|
| C5             | ساختمان کاملاً بتنی ۵ طبقه  |
| C4S1           | ساختمان ترکیبی در ارتفاع (۴ طبقه بتنی + ۱ طبقه فولادی)  |
| C4S1WB         | ساختمان ترکیبی در ارتفاع با طبقه انتقالی (۴ طبقه بتنی + ۱ طبقه فولادی + طبقه انتقالی در طبقه ۵) |
| C3S2           | ساختمان ترکیبی در ارتفاع (۳ طبقه بتنی + ۲ طبقه فولادی)  |
| C3S2WB         | ساختمان ترکیبی در ارتفاع با طبقه انتقالی (۳ طبقه بتنی + ۲ طبقه فولادی + طبقه انتقالی در طبقه ۴) |
| C2S3           | ساختمان ترکیبی در ارتفاع (۲ طبقه بتنی + ۳ طبقه فولادی)  |
| C2S3WB         | ساختمان ترکیبی در ارتفاع با طبقه انتقالی (۲ طبقه بتنی + ۳ طبقه فولادی + طبقه انتقالی در طبقه ۳) |
| C1S4           | ساختمان ترکیبی در ارتفاع (۱ طبقه بتنی + ۴ طبقه فولادی)  |
| C1S4WB         | ساختمان ترکیبی در ارتفاع با طبقه انتقالی (۱ طبقه بتنی + ۴ طبقه فولادی + طبقه انتقالی در طبقه ۲) |
| S5             | ساختمان کاملاً فولادی ۵ طبقه  |

## ۳- نتایج و نمودارها

نتایج و نمودارها در دو قسمت شامل تحلیل‌های خطی و غیرخطی استاتیکی ارائه می‌شوند.

می‌گردد. همین روند در مورد مدل‌های ۵ و ۱۰ طبقه نیز وجود دارد.

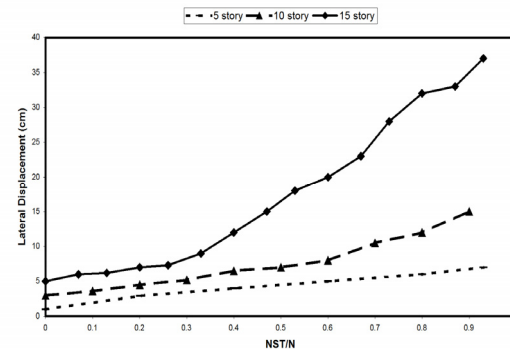


شکل ۷- نیروی محوری ستون‌های A6 و D4 در تراز تغییر سیستم در سازه‌های ترکیبی ۱۵ طبقه با و بدون طبقه انتقالی

با ایجاد طبقه انتقالی در تراز تغییر سیستم سازه‌ای، نیروی برشی وارد بر ستون‌های این تراز کاهش می‌یابد.

شکل ۸ این نیروی برشی را در ستون‌های A4 و C5 نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود این کاهش نیرو بسیار شدید است. علت این کاهش، جذب نیروی برشی توسط دیوارهای برشی در طبقه انتقالی می‌باشد. این دیوارها به سبب سختی زیاد، قسمت اعظم نیروی برشی را جذب می‌کنند و لذا نیروی برشی وارد بر ستون‌ها کم می‌شود. به این ترتیب، نگرانی ناشی از بریده شدن بولت‌ها و لغزش بخش فولادی فوقانی روی قسمت بتنی تحتانی برطرف می‌گردد. همانطور که در شکل نیز ملاحظه می‌شود، تغییرات نیروی برشی در ستون‌های واقع

آیین‌نامه زلزله ایران فراتر می‌رود. بعلاوه، طبقه انتقالی نیز باعث کاهش تغییرمکان تا حدود ۲۰٪ می‌گردد. به عبارت دیگر، زمانی که  $(NST/N) < 1/3$  باشد، تغییرمکان جانبی این ساختمان‌های ترکیبی در حد قابل قبولی خواهد بود.



شکل ۶- تغییرمکان جانبی سازه‌های ترکیبی در تراز بام

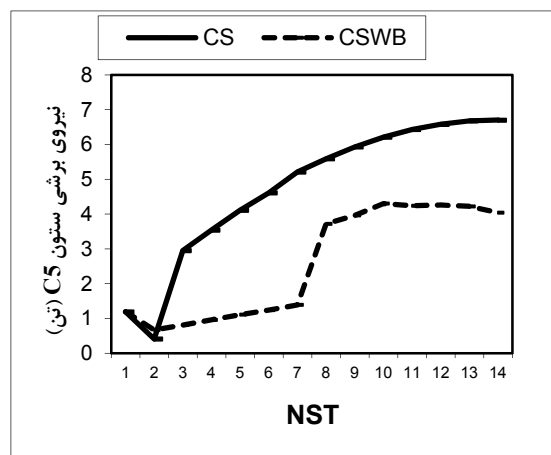
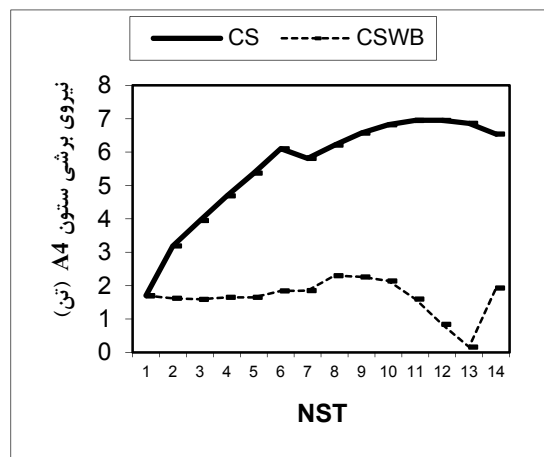
تأثیر طبقه انتقالی بر کاهش نیروهای محوری و برشی ستون‌های فولادی در تراز تغییر سیستم سازه‌های ترکیبی قابل توجه است. بخصوص نیروی محوری که تأثیر به‌سزایی در تعیین محل بهینه طبقه انتقالی دارد. نیروی محوری حداکثر ستون‌های A6 و D4 در تراز تغییر سیستم ساختمان‌های ترکیبی ۱۵ طبقه به‌عنوان نمونه در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می‌شود، تا زمانی که کمیت  $(NST/N) < 1/3$  است، افزایش نیرو در این ستون‌ها به آرامی انجام می‌شود. ولی پس از این مرحله، افزایش نیرو روند سریع‌تری به‌خود می‌گیرد. وجود این نیروهای محوری زیاد در ستون‌های تراز تغییر سیستم (بخصوص ستون‌هایی که تحت نیروهای کششی قرار می‌گیرند) می‌تواند باعث انهدام بخش فوقانی سازه ترکیبی گردد. لذا باید مقدار این نیرو در ستون‌ها کاهش یابد. همانطور که دیده می‌شود، وجود طبقه انتقالی در سازه ترکیبی باعث کاهش حدوداً ۲۵ درصدی نیروهای محوری ستون‌ها می‌گردد. بعلاوه، مکانیزمی که برای انتقال نیروی محوری ستون‌ها در تراز تغییر سیستم سازه‌ای در نظر گرفته شده است (شکل ۳)، باعث تسهیل این انتقال نیرو به بخش بتنی تحتانی

### ۳-۲- نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی

در طراحی کلاسیک، ایمنی با محدود نمودن تنش‌ها در حد جاری شدن مصالح حاصل می‌شود. اما حتی زلزله‌های متوسط نیز می‌توانند باعث جاری شدن بعضی از عناصر سازه‌ای شوند. بنابراین برای پیش‌بینی عملکرد ساختمان‌ها در مقابل زلزله، نیاز به روش‌های تحلیل غیرخطی احساس می‌شود. با انجام تحلیل‌های غیرخطی می‌توان نحوه توزیع نیروها در سازه، محل تشکیل مفاصل پلاستیک، شکل‌پذیری و اضافه مقاومت ساختمان را تعیین نمود. تحلیل استاتیکی غیرخطی، روشی ساده برای بررسی عملکرد سازه در هنگام زلزله می‌باشد و تخمین قابل قبولی از تغییرشکل‌های تقاضای غیر الاستیک سازه بیان می‌کند و دید مناسبی به لحاظ کنترل رفتار اعضای سازه‌ای، تحت تأثیر زلزله به دست می‌دهد [۱۲]. بعلاوه، منحنی ظرفیت سازه‌ها که نشان دهنده برش پایه وارد بر سازه در برابر تغییرمکان جانبی در تراز بام است، نیز با این روش قابل دستیابی است [۱۳].

برای انجام این تحلیل از الگوی توزیع بار مثلثی (مشابه نحوه توزیع نیروهای جانبی در استاندارد ۲۸۰۰) در ارتفاع سازه‌ها استفاده شده است. خواص مربوط به مفاصل پلاستیک نیز مطابق ضوابط FEMA-273 و ATC-40 در نظر گرفته شده‌اند [۱۴ و ۱۵]. شکل ۹ منحنی ظرفیت سازه‌های ترکیبی C3S2 و C3S2WB را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، با اجرای طبقه انتقالی، سازه ترکیبی دارای شکل پذیری، مقاومت نهایی و تغییرمکان نهایی بیشتری نسبت به همان سازه ترکیبی اما بدون طبقه انتقالی، می‌شود. به عبارت دیگر، با استفاده از طبقه انتقالی، رفتار این سازه ترکیبی ۵ طبقه در برابر بارهای جانبی بهبود یافته است. همین روند در مورد سایر مدل‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه مشاهده می‌گردد. شکل ۱۰ نحوه توزیع مفاصل پلاستیک را در سازه بدون طبقه انتقالی C3S2 نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، به علت تشکیل مفاصل پلاستیک در بادبندهای

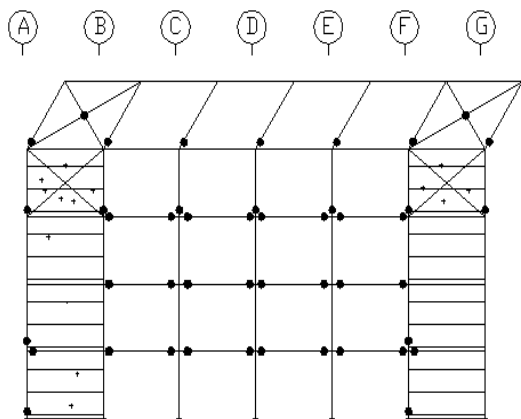
در تراز تغییر سیستم سازه‌های ترکیبی ۱۵ طبقه، تا زمانی که  $(NST/N) < 1/3$  است، روند تقریباً منظمی دارد. ولی پس از این مرحله، از روند منظمی پیروی نمی‌کند.



شکل ۸- نیروی برشی ستون‌های A4 و C5 در تراز تغییر سیستم در سازه‌های ترکیبی ۱۵ طبقه با و بدون طبقه انتقالی

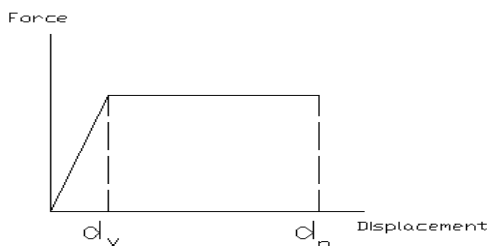
با بررسی کلیه نتایج حاصله شامل پیروید تحلیلی مود اول، تغییرمکان جانبی سازه در تراز بام و نیروهای حداکثر محوری و برشی در تراز تغییر سیستم، ملاحظه می‌شود که استفاده از سیستم ترکیبی بتن و فولاد در طبقه انتقالی باعث کاهش این موارد می‌گردد. لذا با توجه به شکل پلان مورد بررسی، که سعی شده است تا یک پلان عمومی باشد، محل بهینه طبقه انتقالی (محل بهینه تراز تغییر سیستم سازه‌ای) در یک سوم فوقانی ارتفاع ساختمان ترکیبی می‌باشد [۱۱].

پنجم رخ می‌دهد. در واقع، به علت کاهش نیروهای داخلی در تراز تغییر سیستم، نقاط دیگری از سازه ترکیبی مستعد تشکیل مفاصل پلاستیک شده‌اند و طبقه بحرانی به طبقات بالاتر منتقل شده است. به همین علت سازه ترکیبی با طبقه انتقالی، همانطور که در شکل ۹ نیز نشان داده شده، مقاومت و شکل‌پذیری بیشتری از خود نشان می‌دهد. در این حالت، شکل‌پذیری حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. همین روند در مورد سایر مدل‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه نیز وجود دارد.



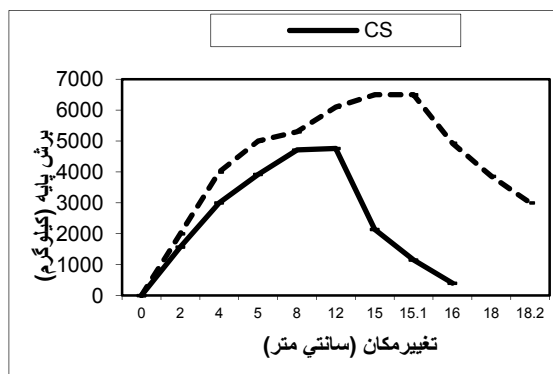
شکل ۱۱- نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در سازه ترکیبی C3S2WB

ضریب شکل‌پذیری، همانطور که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، پارامتری است که نسبت تغییرمکان جانبی حداکثر سازه  $d_p$  را به تغییرمکان جاری شدن آن  $d_y$  نشان می‌دهد. ضریب شکل‌پذیری سازه‌های ترکیبی ۵ و ۱۰ طبقه در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

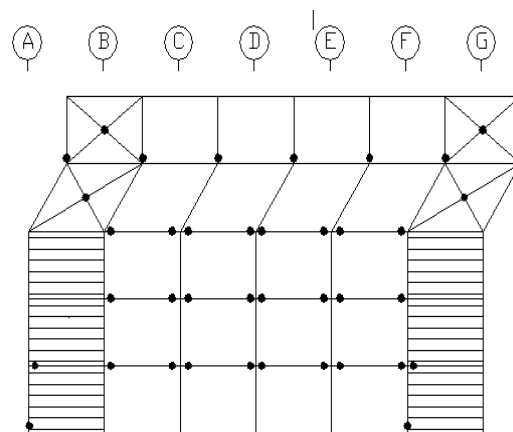


شکل ۱۲- ضریب شکل‌پذیری

سازه فولادی فوقانی، عمده تغییرمکان‌های ارتجاعی در طبقه چهارم رخ می‌دهد. این طبقه تراز تغییر سیستم در مدل C3S2 و در واقع همان طبقه بحرانی است. بنابراین سازه فولادی فوقانی به سرعت وارد ناحیه غیرخطی شده و منهدم می‌گردد و منحنی ظرفیتی مطابق آنچه که در شکل ۹ نشان داده شده، به دست می‌دهد.



شکل ۹- منحنی ظرفیت سازه‌های ترکیبی C3S2 و C3S2WB



شکل ۱۰- نحوه توزیع مفاصل پلاستیک در سازه ترکیبی C3S2

شکل ۱۱ نحوه توزیع مفاصل پلاستیک را در همین سازه اما با طبقه انتقالی C3S2WB نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، باز هم انهدام به علت تشکیل مفاصل پلاستیک در بادبندها و نهایتاً تخریب سازه فولادی فوقانی ایجاد می‌شود. ولی انهدام در تراز تغییر سیستم سازه‌ای اتفاق نمی‌افتد و عمده تغییرمکان‌های ارتجاعی در طبقه

## ۴- نتیجه‌گیری

ساخت سازه‌های ترکیبی در ارتفاع معمولاً از روی ضرورت انجام می‌شود و استفاده از این ساختمان‌های ترکیبی، نیاز به دقت و حساسیت بالایی دارد. از آنجایی که عملکرد اینگونه سازه‌ها در طبقات بالا و پایین متفاوت است، اثر اندرکنش سازه‌های فوقانی و تحتانی و نیز انتقال نیروها در محل اتصال دو سازه، حائز اهمیت بوده و علاوه بر طراحی دقیق و مناسب، در مرحله اجرا نیز باید تمهیدات خاصی را منظور نمود. اجرای طبقه انتقالی که در آن ترکیبی از دو سازه فوقانی و تحتانی انجام می‌گیرد، یک راه حل مؤثر جهت بهبود عملکرد این ساختمان‌ها در برابر زلزله می‌باشد. با استفاده از این طبقه که شامل بادبند، دیوار برشی و ستون‌های مرکب است، تغییرمکان جانبی سازه در تراز بام حدود ۲۰ درصد و نیز نیروهای محوری ستون‌ها در محل اتصال حدود ۲۵ درصد کاهش می‌یابند. نیروی برشی ستون‌ها در محل اتصال نیز کاهش چشمگیری دارد. با توجه به پلان انتخابی و نتایج به‌دست آمده، چنین به نظر می‌رسد که محل بهینه برای طبقه انتقالی در یک سوم فوقانی ارتفاع سازه می‌باشد و از این ناحیه به بعد، افزایش چشمگیری در تغییرمکان جانبی و نیروی محوری ستون‌ها ایجاد می‌شود. لذا منطقی به نظر می‌رسد که در صورت ضرورت استفاده از این نوع ساختمان‌های ترکیبی، تغییر سیستم سازه‌ای در یک سوم بالایی انجام شود. هر چند، تعیین دقیق این عدد نیازمند انجام تحقیقات آزمایشگاهی است. با اجرای طبقه انتقالی در ساختمان‌های ترکیبی، شکل‌پذیری و مقاومت نهایی این ساختمان‌ها حدود ۲۵ درصد افزایش می‌یابد. در واقع طبقه بحرانی از تراز تغییر سیستم سازه‌ای، به طبقات بالاتر منتقل می‌گردد و به‌طور کلی می‌توان گفت که رفتار لرزه‌ای این ساختمان‌ها بهبود می‌یابد.

جدول ۲- ضریب شکل‌پذیری ساختمان‌های ترکیبی ۵ طبقه

| نام مدل | ضریب شکل‌پذیری ( $\mu$ ) |
|---------|--------------------------|
| C5      | ۲/۴۸                     |
| C4S1    | ۱/۹۱                     |
| C3S2    | ۱/۵۸                     |
| C3S2WB  | ۱/۶                      |
| C2S3    | ۱/۲۹                     |
| C2S3WB  | ۱/۴                      |
| C1S4    | ۱/۲                      |
| C1S4WB  | ۱/۵                      |
| S5      | ۱/۱۹                     |

جدول ۴- ضریب شکل‌پذیری ساختمان‌های ترکیبی ۱۰ طبقه

| نام مدل | ضریب شکل‌پذیری ( $\mu$ ) |
|---------|--------------------------|
| C10     | ۳/۲۲                     |
| C9S1    | ۲/۹۹                     |
| C8S2    | ۲/۰۹                     |
| C8S2WB  | ۲/۵۱                     |
| C7S3    | ۱/۹۹                     |
| C7S3WB  | ۲/۳۴                     |
| C6S4    | ۲/۱۲                     |
| C6S4WB  | ۲/۵                      |
| C5S5    | ۲/۱۹                     |
| C5S5WB  | ۲/۶۳                     |
| C4S6    | ۲                        |
| C4S6WB  | ۲/۲۴                     |
| C3S7    | ۱/۸۸                     |
| C3S7WB  | ۲/۲                      |
| C2S8    | ۱/۷۳                     |
| C2S8WB  | ۲/۱                      |
| C1S9    | ۱/۶۸                     |
| C1S9WB  | ۲                        |
| S10     | ۱/۲۵                     |

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، با افزایش تعداد طبقات فولادی فوقانی سازه‌های ترکیبی، ضریب شکل‌پذیری این سازه‌ها کاهش می‌یابد و به ضریب شکل‌پذیری یک سازه کاملاً فولادی مشابه، نزدیک می‌گردد. از طرف دیگر، ساختمان‌های ترکیبی دارای طبقه انتقالی نسبت به سازه‌های مشابه بدون طبقه انتقالی، دارای ضرایب شکل‌پذیری بزرگتری هستند. لذا رفتار لرزه‌ای مناسب‌تری خواهند داشت.



## مراجع

- [1] Ivan M. Viest, Joseph P. Colaco, Richard W. Furlong, Lawrence G. Griffs, Roberto T. Leon, Loring A. Wyllie. (1997), "Composite Construction Design for Buildings". McGraw-Hill, N. Y.
- [2] Taranath, B. S. (1980), "Structural Analysis and Design of Tall Buildings". McGraw-Hill, N. Y.
- [۳] آیین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله (۱۳۸۴). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم.
- [۴] خیرالدین، ع.، همتی، ع. (۱۳۸۴). نقد و بررسی ضوابط آیین‌نامه زلزله ایران در مورد ساختمان‌های ترکیبی در ارتفاع. پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال ۸، شماره ۲، صفحات ۳۳-۲۳.
- [5] De Nardin, S., El Debs, A. L. H. C. (2007), "Shear transfer mechanisms in composite columns: An experimental study". Steel & Composite Structures, Vol. 7, No. 5, pp. 377-390.
- [6] Juang, J. L., Hsu, H. L. (2006), "Bond mechanism effect on the flexural behavior of steel reinforced concrete composite members", Steel & Composite Structures, Vol. 6, No. 5, pp. 384-398
- [7] Tokgoz, S., Dundar, C. (2008), "Experimental tests on biaxially loaded concrete encased composite columns", Steel & Composite Structures, Vol. 8, No. 5, pp. 423-438.
- [۸] آیین‌نامه حداقل بار وارد بر ساختمان‌ها و ابنیه فنی (۱۳۷۹). مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- [9] ACI Committee 318. (1988), "Building Code Requirements for Structural Concrete". ACI.
- [10] Salmon, C. G., Johnson, J. E. (1980), "Steel Structures". Harper and Row Publishers.
- [۱۱] خیرالدین، ع.، همتی، ع. (۱۳۸۲). تعیین محل بهینه طبقه انتقالی در ساختمان‌های ترکیبی در ارتفاع. چهارمین کنفرانس بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (SEE4)، صفحات ۱۹۸-۱۹۳.
- [۱۲] دانشجوی، ف.، قوامی ماسوله، م. (۱۳۸۱). کاربرد تحلیل بارافزون در برآورد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی. مجله اساس، سال ۵، شماره ۱۴، صفحات ۳۱-۲۸.
- [13] Moghaddam, A. S., Tso, W. K. (2000), "3-D Pushover Analysis for Damage Assessment of Buildings". JSEE Vol. 2, No.3, pp. 23-31.
- [14] FEMA. (1996), "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings". Federal Emergency Management Agency.
- [15] ATC. (1996), "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings". Applied Technology Council.

## INVESTIGATION OF TRANSITION STORY EFFECT ON BEHAVIOR OF VERTICALLY HYBRID BUILDINGS

A. Hemmati<sup>1\*</sup> and A. Kheyroddin<sup>2</sup>

1. PhD Student, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

2. Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran

\*Corresponding Author: ahemmati2000@yahoo.com

---

### ARTICLE INFO

---

Keywords:

Linear behavior,  
Nonlinear behavior,  
Hybrid buildings,  
Transition story,  
Plastic hinge.

---

### ABSTRACT

---

Hybrid buildings, which consist of two different structural systems in height, don't show good seismic response. Use of reinforced concrete (RC) frames for lower stories and steel frames for upper stories is an example of hybrid buildings and under the earthquake loads, steel frames may slip on lower concrete parts. In this paper, linear and nonlinear behavior of 5, 10 and 15 story buildings that have RC frames with shear walls in lower stories and steel frames with bracings in upper stories is investigated. Analytical results show that using transition story between two different parts of hybrid structures improves the seismic behavior of these buildings. Transition story, which is located in the transition level, is a composite (steel-concrete) story with composite columns, shear walls and steel bracings. Number of these transition stories is dependent on the height of the building and applied loads. The best position of this story is at one-third of the height of hybrid building from top. Moreover, with using transition story in hybrid structures, axial and shear forces at transition level decrease and ductility increases.

---