Archive of SID

نشریه بین‌المللی علوم مهندسی، شماره ۵، جلد۱۷، زمستان ۱۳۸۵، صفحه ۵۱ - ۴۷
دانشگاه علم و صنعت ایران

تحلیل غیرخطی و آزمایش قابهای میان‌پر فولادی و مقایسه نتایج

محمدرضا شاه‌نظری و ابراهیم ثنایی

چکیده: بررسی چگونگی اندرکنش بین قاب و دیوارهای غیر سازه‌ای از مسائلی است که طی ده‌ها سال مورد توجه محققین بوده است. اما به دلیل پیچیدگی‌های موجود در تحلیل این سیستم‌ها، هنوز یک روش تحلیل مطمئن و دقیق برای آنها ارائه نشده است. در این مقاله نتایج آزمایش چهار قاب میان‌پر با انواع دیوارهای بنایی که با مقیاس ۰/۵ تحت اثر بار جانبی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند، گزارش گردیده است. همچنین با استفاده از نرم‌افزار ANSYS تحلیل غیرخطی این نمونه‌ها صورت گرفته است. با مقایسه نتایج حاصل از تحلیل و آزمایش آنها، نتیجه‌گیری شده است که امکان تحلیل غیرخطی دقیق و قابل قبول قاب‌های میان‌پر با استفاده از این نرم‌افزار وجود دارد و بر این اساس ابزاری مطمئن جهت به حساب آوردن میانقاب‌ها در تحلیل و طراحی سازه‌ها توسط مهندسین فراهم خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: قابهای میان‌پر، آزمایش مدل، تحلیل غیرخطی

۱. مقدمه

اندرکنش بین قاب و دیوارهای غیر سازه‌ای از مسائل بسیار مهم سازه‌ای است که محققین در گوشه و کنار جهان سالها به بررسی آن پرداخته‌اند. اما به دلیل پیچیدگی‌های موجود در تحلیل این موضوع، هنوز یک روش تحلیل مطمئن و دقیق برای آن ارائه نشده است. در این مقاله ابتدا نتایج آزمایش بارگذاری جانبی چهار قاب میان‌پر با انواع دیوارهای بنایی که با مقیاس ۰/۵ قرار گرفته‌اند، گزارش گردیده است. سپس رفتار این قابها تحت اثر بارهای اعمال شده با استفاده از نرم‌افزار ANSYS تحلیل غیرخطی شده است.

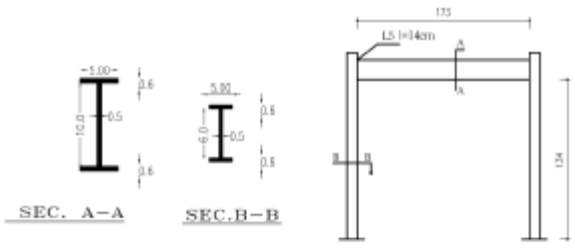
مقایسه نتایج آزمایشهای بارگذاری واقعی با نتایج روش تحلیل عددی غیر خطی اطلاعات بسیار ارزنده‌ای را در مورد میزان کارایی و دقت روش عددی در اختیار مهندسین سازه قرار می‌دهد.

۲. نمونه‌های مورد بررسی

در این مقاله نتایج آزمایش و تحلیل چهار نمونه قاب میان‌پر ارائه می‌گردد و صحت و دقت نتایج تحلیل غیرخطی نمونه‌ها از مقایسهٔ آنها با نتایج آزمایش نمونه‌ها بررسی می‌گردد.

۲-۱. قاب فولادی

بررسی‌های آزمایشگاهی و تئوریک بر روی قاب‌های فولادی یک طبقه و یک دهانه با مقیاس ۰/۵ اندازهٔ واقعی انجام شده‌است. مشخصات هندسه کلی قاب و مقطع تیر و ستونها در شکل شماره ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱. هندسه کلی قاب و مقطع تیر و ستونها

در داخل هر یک از قاب‌ها یک دیوار به ضخامت ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شد و هر یک از آنها با یکی از چهار نوع واحد بنایی معمول یعنی بلوک سیمانی سبک (متشکل از ماسه، پوکه و سیمان)، بلوک سفالی مجوف، آجر سفال سوراخدار و آجر فشاری اجرا گردید. لازم به ذکر است که در این نمونه‌ها از زائده‌های برشی بین قاب و دیوار استفاده نشد و دیوار چینی‌ها بدون بندهای قائم انجام گردید . در جدول ۱ مشخصات کلی نمونه‌ها داده شده است.

نسخه اصلی مقاله در تاریخ ۱۳۸۲/۱۱/۱۲ واصل، و پس از بازنگریهای لازم، در تاریخ ۱۳۸۴/۲/۲۵ به تصویب نهایی رسیده است.
دکتر محمدرضا شاه‌نظری، عضو هیات علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
دکتر ابراهیم ثنایی، عضو هیات علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. مشخصات کلی نمونه‌ها

ضخامت دیوار (cm)	نوع واحد بنایی	کد نمونه
۱۰	بلوک سیمانی سبک	S2
۱۰	بلوک سفال مجوف	S4
۱۰	آجر سفال سوراخدار	S6
۱۰	آجر فشاری	S8

۲-۲. روش آزمایش

ابتدا هر یک از صفحات پای ستون توسط ۴ پیچ به قطر ۱۴ میلیمتر به کف سخت بسته شدند.

سپس قاب‌ها که قبلاً مونتاژ شده بودند روی صفحات پای ستون نصب گردیدند. مرحله بعدی کار، اجرای دیوارهای بنایی در قابها و اندود گچ و خاک و ماسه سیمان بعضی از آنها بود.

پس از ۲۸ روز، بارگذاری قاب‌ها در تراز تیر و با استفاده از یک جک هیدرولیکی متکی به یک قاب پشت‌بند آغاز گردید.

بارگذاری بطور تدریجی تا مقاومت نهایی قاب ادامه یافت و باربرداری نیز طی چند مرحله انجام شد. برای اندازه‌گیری بار از یک سلول بار و برای اندازه‌گیری تغییر مکان افقی قاب در تراز اعمال بار از تغییر مکان‌سنج استفاده گردید.

همچنین به منظور جلوگیری از کمانش جانبی احتمالی قاب از دو تکیه‌گاه جانبی که قاب را در محل گوشه‌های فوقانی مهار می‌کردند، استفاده شد. در شکل ۲ نمونه‌ای از قابهای مورد آزمایش نشان داده شده است.

۳. نتایج آزمایش‌ها

بر اساس نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها، در شکل‌های ۴، ۵ و ۶، منحنی‌های بار- تغییرمکان نمونه‌های مختلف که مشخصات آنها در جدول ۱ آمده، نشان داده شده است (منحنی بار- تغییرمکان نمونه‌ها بر اساس تحلیل عددی نیز در این شکلها نشان داده شده است).

شکل۲. تصویر یکی از قابهای ساخته شده

۴. چگونگی تحلیل غیرخطی قابها

روش اجزا محدود یکی از روش‌های مناسب برای تحلیل قاب‌های میان‌پر است. این روش قابلیت آن را دارد که اجزای مختلف سازه را از جنبه‌های مختلف مانند خواص متفاوت مواد، انواع مختلف المانها، رفتار غیرخطی و غیره مدل نماید.

نکات زیر در مورد مدل کردن قاب‌های میان‌پر به روش اجزا محدود حائز اهمیت و قابل توجه می‌باشند:

۱- قاب میان‌پر از دو نوع مصالح تشکیل دهندهٔ قاب و دیوار با خصوصیات و رفتار متفاوت تشکیل شده است. لذا برای مدل‌کردن آن استفاده از المان‌های مختلف ضروری است[۱].

۲- هنگام بارگذاری قاب میان‌پر، در بعضی از نقاط سطح تماس قاب و پرکننده، قاب از دیوار جدا می‌شود و در بعضی از این نقاط به دیوار می‌چسبد. لذا مدل مورد استفاده باید توانایی شبیه‌سازی این پدیده را دارا باشد[۲].

۳- در نقاطی که قاب به میانقاب می‌چسبد امکان لغزش قاب روی میانقاب وجود دارد. این رفتار هنگامی اتفاق می‌افتد که نیروی برشی از نیروی اصطکاک موجود بین قاب و دیوار بیشتر شود[۳].

۴- در محدودهٔ زیادی از بارگذاری قاب پرشده، المانهای قاب در محدودهٔ ارتجاعی قرار دارند ولی با افزایش بار بعضی از قسمتهای قاب وارد محدودهٔ غیرارتجاعی می‌شوند[۴،۶].

۵- تا قبل از وقوع ترک‌های درون پرکننده، می‌توان آن را مصالحی ارتجاعی و ایزوتروپ در نظر گرفت. ولی پس از ایجاد ترک‌ها در درون پرکننده باید با آن به عنوان ماده غیر ایزوتروپ برخورد شود. همچنین با افزایش تنش باید رفتار غیرخطی آن در نظر گرفته شود[۵،۷].

مدلسازی قاب های میان پر در این پژوهش مطابق شکل۳ صورت گرفته است.

در این مدلسازی برای تحلیل قاب های میان پر از سه نوع المان استفاده شده است که عبارتند از

۱- المان مستطیل چهار گرهی برای مدلسازی پر کننده

۲- المان منشوری خمشی برای مدلسازی قاب

۳- المان مرزی سطح تماس برای مدلسازی رفتار سطح تماس قاب با پرکننده

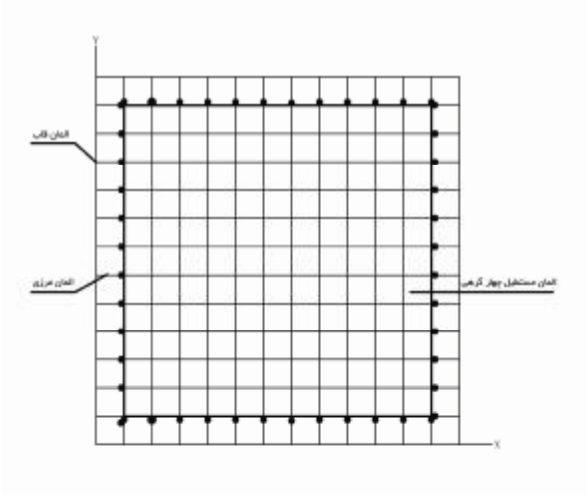
اعمال بار در تحلیل مدل ها به صورت مرحله به مرحله و با توجه حدود مقاومت پیش بینی شده برای قاب میان پر (با توجه به نتایج آزمایش ها) صورت گرفته است.

بدیهی است با افزایش گام های بار گذاری و انجام روند تکراری تا رسیدن به حالت پایدار، دقت نتایج افزایش خواهد یافت.

در تحلیلها حالتی پایدار محسوب می شود که در هیچ المان مرزی نیروی محوری کششی نباشد و همچنین نیروی برشی از حداکثر نیروی اصطکاکی تجاوز نکند.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳. مدلسازی قاب میان پر با استفاده از روش اجزا

برای تعیین سختی برشی و ضریب اصطکاک سطح تماس از نتایج آزمایشات pandy-king استفاده شده است. همچنین در هر یک از نمونه‌ها مصالح آزمایش شدند و نتایج در تحلیل نمونه ها مورد استفاده قرار گرفت (مقاومت فشاری واحدهای بنائی، مقاومت فشاری ملات ماسه سیمان، مقاومت کششی ملات ماسه و سیمان). با داشتن مقاومت فشاری واحدهای بنائی و ملات ماسه و سیمان، مقاومت فشاری دیوار محاسبه می‌گردد. درجدول ۲ مقادیر عددی به کار رفته، آورده شده است.

مدول الاستیسیته دیوار برابر ۱۰۵*۱/۹، ضریب پواسون برابر۰/۲، ضخامت دیوار برابر ۱۰ سانتیمتر و ضریب اصطکاک در سطح اشتراک برابر ۰/۳ در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. مقاومت فشاری دیوارها و مقاومت کششی ملات

نمونه	مقاومت فشاری دیوار (kg/cm2)	مقاومت کششی ملات (kg/cm2)
S2	۳۱	۱۵
S4	۳۹	۱۵
S6	۷۵	۱۵
S8	۷۳	۱۵

نرم افزار بکار رفته یعنی ANSYS دارای المانهایی می‌باشد که با استفاده از آنها امکان مدلسازی بیشتر خصوصیات قاب میان‌پر وجود دارد. المان‌های مورد استفاده در این پژوهش به شرح زیر می باشند.

۴-۱. المان بتن

المان بتن تعریف شده در این نرم‌افزار دارای خصوصیاتی همچون قابلیت مدل‌کردن ترک‌خوردگی و بسته‌شدن مجدد ترک، قابلیت مدل‌کردن خردشدگی و در نظر گرفتن مسلح‌کننده می‌باشد. این المان برای مدل کردن دیوار بنایی که یک جسم ترد می‌باشد، بسیار مناسب است. با استفاده از المان بتن بیشتر خصوصیات یک دیوار بنایی قابل مدلسازی خواهد بود. با این المان امکان در نظر گرفتن شکست در اثر کشش و فشار وجود دارد ولی از اثر شکست برشی ملات بین آجرها صرفنظر می‌شود. برای معرفی مناسب دیوار بنایی با استفاده از این المان از مقاومت فشاری دیوار آجری و مقاومت کششی ملات به ترتیب به جای مقاومت فشاری و کششی بتن استفاده می‌شود.

۴-۲. المان قاب

مصالح تشکیل‌دهندهٔ این المان می‌تواند دارای رفتار غیرخطی باشد. در این پروژه منحنی تنش - کرنش فولاد مصرفی در قاب به صورت یک منحنی داده شده است.

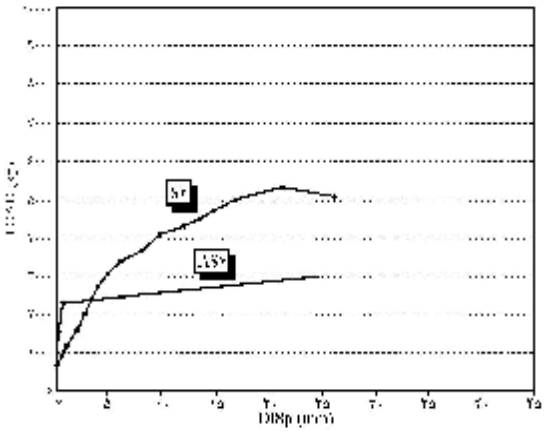
بنابراین در صورت تجاوز نیروهای داخلی المانهای قاب از نیروهای حد تسلیم، المان قاب رفتار غیر خطی خواهد داشت.

۴-۳. المان اصطکاک

از این نوع المان برای مدل‌کردن اصطکاک بین قاب و پرکننده استفاده شده است. این المان قادر به مدل کردن اصطکاک بین یک نقطه (نقاط روی قاب) و یک سطح (یکی از وجوه المان بتن) می‌باشد.

۵. نتایج حاصل از آزمایش و تحلیل غیرخطی نمونه‌ها و مقایسهٔ آنها

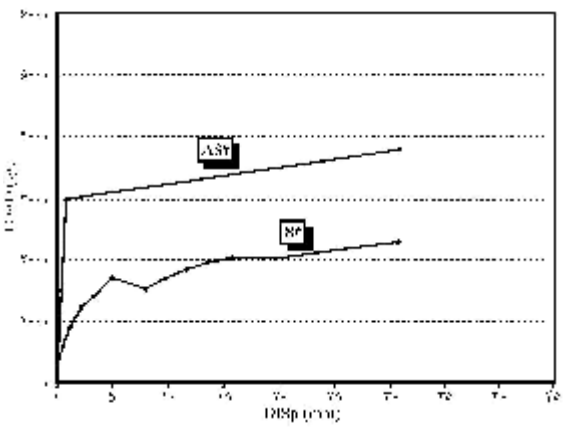
به منظور بررسی میزان سازگاری و دقت نتایج تحلیل در مقایسه با نتایج آزمایشها، در شکل‌های ۴، ۵، ۶، ۷ منحنی‌های بار تغییر مکان نمونه‌های مختلف ترسیم شده است.



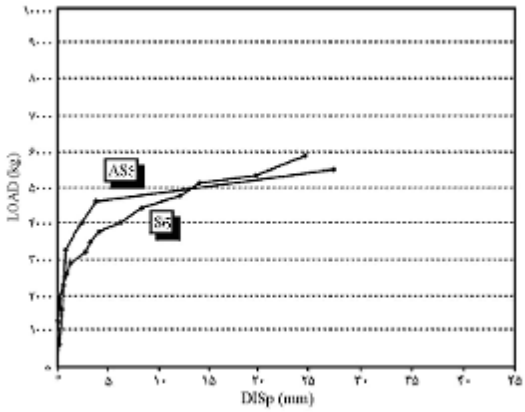
شکل ۴. منحنی‌های بار - تغییر مکان بر اساس نتایج آزمایش و تحلیل نمونه S2 (AS2 منحنی مربوط به تحلیل)

www.SID.ir

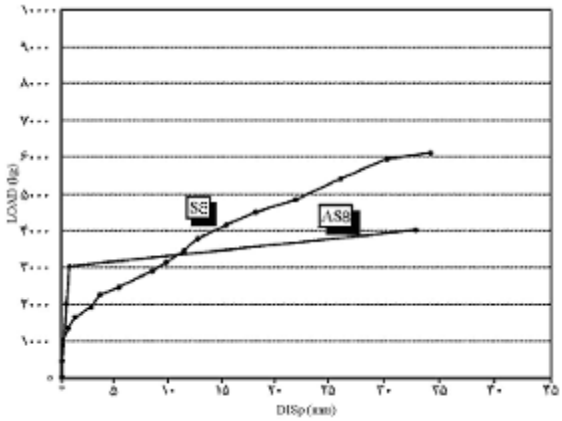
Archive of SID



شکل ۵. منحنی‌های بار - تغییر مکان بر اساس نتایج آزمایش و تحلیل نمونه S4 (AS4 منحنی مربوط به تحلیل)



شکل ۶. منحنی‌های بار - تغییر مکان بر اساس نتایج آزمایش و تحلیل نمونه S6 (AS6 منحنی مربوط به تحلیل)



شکل ۷. منحنی‌های بار - تغییر مکان بر اساس نتایج آزمایش و تحلیل نمونه S8 (AS8 منحنی مربوط به تحلیل)

۶. بررسی نتایج

به منظور امکان مقایسهٔ عددی و تعیین دقت نتایج، در جدول ۲ نتایج بدست آمده از آزمایش و تحلیل غیرخطی هر نمونه به ازای تغییر مکان مجاز ($\frac{1}{200}$ ارتفاع) آورده شده است.

جدول ۲. مقایسه نتایج حاصل از آزمایش و تحلیل به ازای تغییر مکان ۷/۵ میلیمتر

نمونه	مقاومت حاصل از آزمایش (kg)	مقاومت حاصل از تحلیل (kg)	درصد خطای تحلیل
S2	۳۴۱۶	۲۲۵۴	۲۸
S4	۱۵۴۱	۳۲۰۰	۱۰۷
S6	۴۵۰۰	۴۹۲۰	۹
S8	۲۸۳۰	۳۱۶۵	۱۲

با توجه به نتایج بدست‌آمده در جدول ۲ ملاحظه می‌شود که به غیر از نتایج نمونه *S4*، دقت سایر نتایج در حد قابل قبولی می‌باشد. دلیل خطای فاحش نتایج تحلیل نمونه *S4* را نیز باید در آزمایش این نمونه جستجو کرد. در هنگام آزمایش این نمونه، بلوکهای سفالی مجوف با شروع تغییر مکان جانبی قاب میان‌پر به دلیل تردی و شکنندگی به سرعت خرد شدند و به همین دلیل مقاومت قاب میان‌پر با این نوع دیوار بسیار کمتر از انتظار بود. به همین دلیل نتیجه تحلیل که در آن تردی مصالح مدل نشده است خیلی بالاتر از نتایج آزمایش می‌باشد.

۷. نتیجه‌گیری کلی

۱- مدلسازی کامپیوتری قابهای میان‌پر باید با دقت ویژه در انتخاب المانها و معرفی خصوصیات انجام گیرد. المان بتن موجود در نرم‌افزار ANSYS دارای مشخصات مناسبی برای مدلسازی دیوارهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌باشد.

۲- با بررسی نتایج تحلیل غیرخطی قاب‌های میان‌پر و مقایسه آنها با نتایج حاصل از آزمایش، مشخص شد که این نتایج دارای دقت قابل قبولی می‌باشند و با ادامه تحقیقات و بررسی تأثیر سایر پارامترها در صورتی که دقت نتایج به همین مقدار باشد، می‌توان به صورت کاربردی از آن استفاده نمود.

مراجع

[1] Benjamin J. R., Williams H. A., "*The behavior of one – story shear wall*", ASCE, ST.4 (July), Paper 1723, 1958.

[2] Stafford – Smith B., Carter C., "*A method of analysis for infilled frames*", Proc. instr. Civ. Engrs., Vol. 44, PP. 31-48, Sept. 1969.

[3] Stafford – Smith B., "*Behavior of square infilled Frames*", Journal of structural Division ASCE, STI, 1966.

[4] Moghadam H. A., "*Seismic behavior of brick infilled frames*", PhD. Thesis Imperial College of Science and Technology, 1988.

[5] Yong T. C., "*Shear Strength of Masonry Infilled Panels in steel Frames*", MSC. Thesis, Department of Civil Engineering university of New Brunswick, 1984.

www.SID.ir

Archive of SID

[6] Mehrabi A. B., "*Experimental evaluation of masonry infilled frames*", Journal of structural Division ASCE, March 1996.

[7] Riddington j., Stafford – Smith B., "*Analysis of infilled frames subject of racking with design recommendations*", Struct. Engr., 52, No. 6, 1977.

www.SID.ir