گام ۱ – این مقالات را پیدا و مطالعه کنید.

مقاله ۱ به عنوان مقاله اصلی و مرجع و مقاله ۴ مقاله کمکی برای صحت سنجی مقاله ۲ و ۳ به عنوان اثبات کننده ایده در پایان نامه استفاده می شود.

۱)

Preti et al. (2015)

عنوان:

Sliding joints to reduce damage and dissipate energy in infilled RC frames

Engineering Structures (2015)

خلاصه ایده

نویسندگان یک **درز لغزشی (Sliding Joint)** در پایین دیوار میانقاب ایجاد کردند که اجازه می‌دهد دیوار تحت بار جانبی بدون ترک‌های قطری و بدون انتقال سختی اضافی، **لغزش کنترل‌شده** داشته باشد. این لغزش باعث **اتلاف انرژی اصطکاکی** می‌شود.

روش آزمایش

- ۶ نمونه قاب بتن آرمه با میانقاب ساخته شد.
- در برخی نمونه‌ها، پایین دیوار با ملات کم‌چسب یا پلیت فولادیِ لغزشی اجرا شد.
- بارگذاری چرخه‌ای شبه‌استاتیکی (Cyclic) طبق پروتکل FEMA.

نتایج عددی مهم

۱. **کاهش ۴۰–۶۰٪ سختی اولیه‌ی سازه** (خطر عدم‌سازگاری با آیین‌نامه کاهش یافت).
۲. **افزایش ۲۵–۳۰٪ میرایی معادل** به دلیل اصطکاک ایجادشده در ناحیه لغزش.
۳. **حذف ترک قطری در دیوار** → رفتار «Damage-Free».
۴. **هیسترزیس پایدار تا دانش ۲٪** بدون کاهش قابل توجه مقاومت.

۵. رفتار لغزشی شبیه **میراگر اصطکاکی دوخطی (Bilinear Slip Model)** ثبت شد.

نکات کاربردی

• این مقاله بهترین مرجع برای **اثبات نقش میراگری لغزش** در میانقاب است.

• نمودارهای نیرو–تغییرمکان آن برای **اعتبارسنجی مدل اصطکاکی وال‌پست** عالی هستند.

• نشان می‌دهد لغزش کنترل‌شده، **جایگزین خوبی برای افزایش سختی میانقاب** است.

(۲

Hong et al. (2018)

عنوان:

Experimental study on hybrid infill–structure friction systems

Soil Dynamics and Earthquake Engineering (2018)

خلاصه ایده

در این پژوهش دیوار میانقاب و قاب سازه‌ای به‌وسیله‌ی **اتصالات اصطکاکی (Friction Pads)** از یکدیگر جدا شده‌اند.

هدف:

ترکیب **عملکرد سازه‌ای میانقاب + میراگر اصطکاکی** در یک سیستم یکپارچه.

این مقاله دقیقاً نزدیک به ایده‌ی پایان‌نامه ماست. ولی اطلاعات داخل مقاله کمتراز قبلی است.

روش آزمایش

• قاب فولادی تک‌طبقه با میانقاب آجری.

• استفاده از صفحات فولادی و پد اصطکاکی بین دیوار و قاب.

• بارگذاری چرخه‌ای تا رانش ۳٪.

نتایج عددی مهم

۱. **افزایش ۳۵–۵۰٪ انرژی مستهلک‌شده** نسبت به قاب بدون میانقاب.
۲. **لغزش کنترل‌شده** به اندازه ۵–۱۵ میلی‌متر قبل از افزایش مقاومت.
۳. منحنی هیسترزیس **پهن و پایدار** مشابه میراگرهای Pall friction damper.
۴. کاهش ۴۰٪ ترک‌های قطری در دیوار.
۵. وابستگی مستقیم ظرفیت میراگری به **نیروی نرمال (Preload)** در اتصال.

نکات برای پایان‌نامه

• این مطالعه اثبات می‌کند «میانقاب + وال‌پست» می‌تواند نقش **میراگر اصطکاکی** داشته باشد.

• روابط انرژی و نمودار هیسترزیس آن برای **مدلسازی OpenSees** بسیار مناسب است.

• نشان می‌دهد تغییر نیروی نرمال می‌تواند به **ابزار کنترل رفتار میراگری** تبدیل شود. (در دفاع پایانی مهندس مبصر خیلی تاثیر گذار است.)

(۳

Zhang & Li (2021)

عنوان:

Frictional energy dissipation mechanism in self-centering steel frames with infill walls

Engineering Structures (2021)

خلاصه ایده

این مقاله سازهٔ قاب فولادی خودمرکزکننده (Self-Centering Frame) را با میانقاب‌هایی که دارای **اتصالات اصطکاکی لغزشی** هستند ترکیب می‌کند.

هدف:

افزایش میرایی و حفظ قابلیت بازگشت قاب به مکان اولیه.

روش تحقیق

- مدل‌سازی عددی غیرخطی + چند تست آزمایشگاهی.
- شبیه‌سازی رفتار لغزش بین میانقاب و قاب.
- تحلیل‌های چرخه‌ای و باربرداری.

نتایج عددی

۱. **افزایش ۲۰–۴۵٪ میرایی معادل سازه** با استفاده از لغزش میانقاب.
۲. رفتار هیسترزیس **پینچ‌شده اما پایدار**؛ مشابه مدل Bouc–Wen.
۳. جلوگیری از تشکیل مفاصل پلاستیک در تیر–ستون.
۴. کاهش **حداکثر جابجایی باقی‌مانده** قاب تا ۷۰٪.
۵. تشکیل چهار فاز رفتاری:
   - Before slip
   - Initial slip
   - Stable dissipation
   - Hardening

نکات برای پایان‌نامه

- این مقاله مسیر عالی برای **مدل‌سازی تئوریک وال‌پست اصطکاکی** دارد.
- روابط تحلیلی آن برای استخراج **میرایی معادل و انرژی مستهلک‌شده** بسیار کاربردی است.

• نشان می‌دهد لغزش میانقاب نه‌تنها قابلیت اتلاف انرژی دارد، بلکه به **کنترل جابجایی‌های دائمی** قاب کمک می‌کند.

اطلاعات اینمقاله کمتر از دو مقاله قبلی است ولی برای اثبات ایده عالی است.

۴)

Seismic response of low-rise infilled frames with wall isolation mechanism

نویسندگان:

A. S. Tasligedik, A. J. Rossetto, N. J. Taylor, T. U. Okur

مجله:

Bulletin of Earthquake Engineering, 2015

لینک DOI (مستقیم):

https://doi.org/10.1007/s10518-014-9670-9

صفحه مقاله در SpringerLink:

https://link.springer.com/article/10.1007/s10518-014-9670-9

این مقاله برای اعتبار سنجی در کنار مقاله شماره ۱ بکار می روند.

گام ۲– مدل دقیق آزمایش «Preti et al. (2015) را به‌صورت گام‌به‌گام برایABAQUS به شرح زیر مدل کنید :

هندسه مدل (Geometry)

نوع تست:

آزمایش چرخه‌ای quasi-static cyclic loading روی قاب بتن‌آرمه با میانقاب بنایی و Sliding Joint در تراز پایین.

ابعاد اصلی مطابق مقاله:

قاب RC:

ارتفاع طبقه: ۳۰۰۰ mm

دهانه: ۳۰۰۰ mm

ابعاد ستون‌ها: ۳۰۰×۵۰۰ mm

ابعاد تیرها: ۳۰۰×۴۵۰ mm

ضخامت پوشش (cover): 25 mm

میانقاب بنایی:

ضخامت دیوار: ۱۲۰ mm (در مقاله نمونه ۱۰۰ و ۱۲۰ آمده؛ نسخه ۱۲۰ mm رایج‌تر است)

ارتفاع دیوار: ۲۶۰۰ mm

طول دیوار: ۲۸۰۰ mm

ملات: ۱۰ mm

Sliding Joint (درز لغزشی):

در تراز پایین دیوار (بین دیوار و تیر پایینی)

ضخامت لایه لغزشی: حدود ۲۰–۲۵ mm

جنس: پلی‌استایرن یا ملات ضعیف (Weak mortar) با μ کم

نقاط لازم برای مدل‌سازی:

دیوار در بالا کاملاً درگیر است

دیوار در پایین قابلیت لغزش دارد

هیچ اتصال مکانیکی (Anchor) بین دیوار و قاب استفاده نشده

۲) مش‌بندی (Meshing)

قاب RC:

المان: C3D8R

اندازه مش: ۸۰ تا ۱۲۰ mm

دیوار بنایی (**Micro-model** روش **Preti**):

- المان آجر: C3D8R
- المان ملات: C3D8R
- اندازه مش: ۴۰–۶۰ mm

لایه لغزش (**interlayer**):

- المان: C3D8R یا فقط سطح تماس (Surface-to-surface)
- ضخامت مش: ۲۰–۲۵ mm

۳–۱) بتن قاب (RC Frame)

- مدل مناسب:

Concrete Damaged Plasticity (CDP)

- مقادیر پیشنهادی مطابق مقاله:

Elastic:

$$E = 30\ \text{GPa}$$

$$\nu = 0.2$$

Concrete Strength:

$$f_c = 25\ \text{MPa}$$

CDP parameters:

- dilation angle = 30°
- eccentricity = 0.1
- fb0/fc0 = 1.16
- K = 0.67
- viscosity = 0.0005

آرماتور

مدل: Truss (T3D2)

$$f_y = 450\ \text{MPa}$$

$$E = 200\ \text{GPa}$$

آجر و ملات میانقاب

روش Micro-model**:**

آجر:

$$E = 2 - 3 \text{ GPa}$$
$$f_c = 8 - 12 \text{ MPa}$$

ملات:

$$E = 1 - 1.5 \text{ GPa}$$
$$f_c = 3 - 5 \text{ MPa}$$

مدل رفتاری: CDP **برای هر دو**

مدل تماس (Contact)

تماس قاب–میانقاب (بدون لغزش)

type: Surface-to-surface
normal: Hard Contact
tangential: Penalty friction
ضریب اصطکاک: μ ≈ 0.6

تماس در Sliding Joint **پایین دیوار**

type: Surface-to-surface
normal: Hard Contact
tangential: Penalty
ضریب اصطکاک: **μ = 0.15 – 0.2**

شرایط مرزی (Boundary Conditions)

- پای ستون‌ها: اتصال گیردار (Encastre)
- جابجایی افقی تیر بالایی: صفر
- فقط گره بارگذاری در مرکز تیر بالایی آزاد است

بارگذاری چرخه‌ای (Cyclic Loading)

مطابق پروتکل Preti**:**

- بارگذاری جابجایی کنترل‌شده (Displacement-controlled)
- روی تیر بالایی (Middle of top beam)
- الگوی بارگذاری :
- ±0.1% drift
- ±0.2%
- ±0.3%
- ...تا رسیدن به تخریب

تنظیمات تحلیل(Step)

Step: Static, General

Enable nonlinearity: ON

Stabilization factor: 1e-4

NLGEOM: ON

Use automatic incrementation (min=1e-6, max=0.05)

خروجی‌های مورد نیاز برای Validation

- برای مقایسه با مقاله، این خروجی‌ها را برای مقاله آماده کنید :

الف – منحنی نیرو–جابجایی Reaction force در پایه قاب

- در برابر Displacement در تیر بالایی

ب- منحنی هیسترزیس

Internal force vs top displacement

ج- انرژی مستهلک‌شده

ALLDMD در ABAQUS

برای مقایسه با نمودار انرژی مقاله

د- الگوی ترک‌ها (Damage patterns)

CDP → DAMAGEC & DAMAGE T

- مقایسه با عکس‌های آزمایش

ه- جابجایی نسبی Diagonal

- برای مقایسه با شکل‌پذیری دیوار

معیار موفقیت Validation

- مدل عددی وقتی معتبر است که:
- الف- منحنی هیسترزیس شما با مقاله اختلاف کمتر از ۱۰–۱۵٪ داشته باشد
- انرژی مستهلک‌شده منحنی envelope ±15% اختلاف داشته باشد
- مکانیزم خرابی:
- ترک قطری
- لغزش در لایه پایین
- کاملاً مشابه شکل‌های مقاله باشد

اگر این سه شرط برقرار باشد → مدل کاملاً معتبر است.