



**Dastnameh.ir**

پایگاه علمی سازه های دریایی فراساحل و مهندسی زلزله

گزیده کتاب

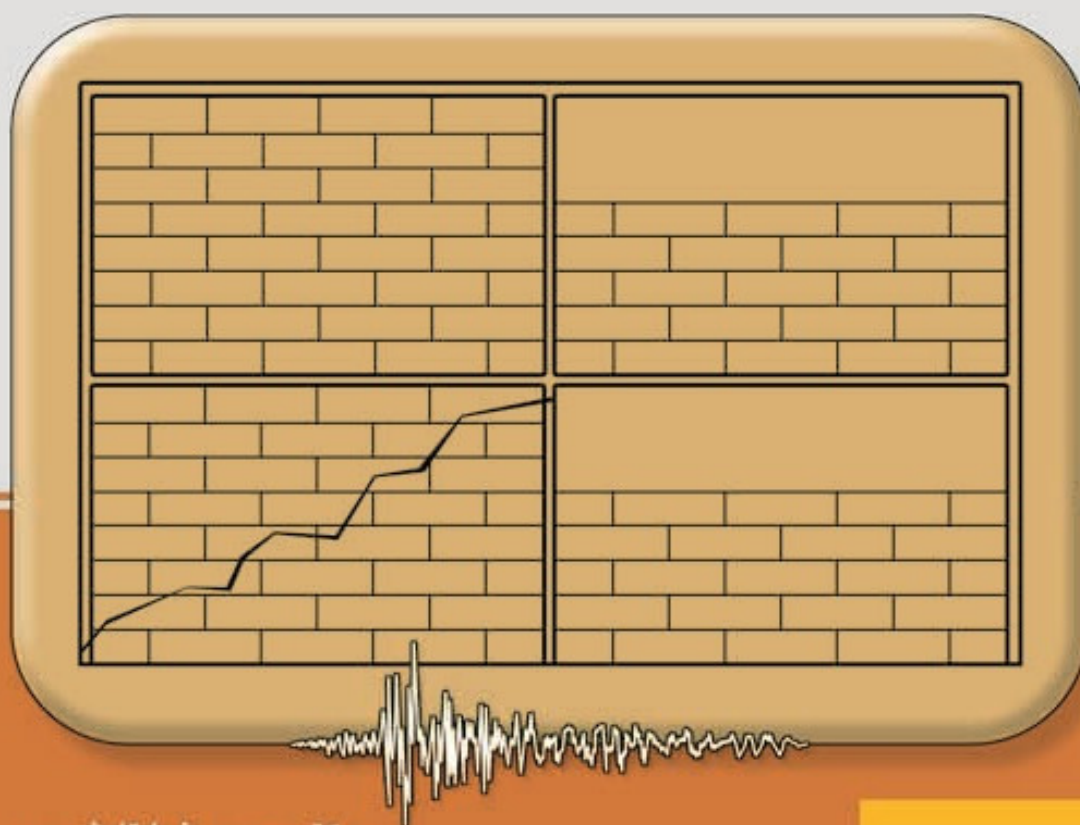
# دیوار پرکننده آجری در قاب های سازه ای (دستنامه ۱۸)

این فایل توسط مؤلف و با اجازه ی کتبی ناشر، منتشر شده است؛  
و هدف از آن صرفاً آشنایی دقیق تر با محتویات این کتاب است.  
استفاده از تمام یا قسمتی از آن منوط به اجازه ی کتبی جداگانه  
از ناشر می باشد.



۱۸ ۴۵۱۴۳۵  
۴۱۶۱۶۱۶۱۶۱۶

# دیوار پرکنندهی آجری در قابهای سازه‌ای



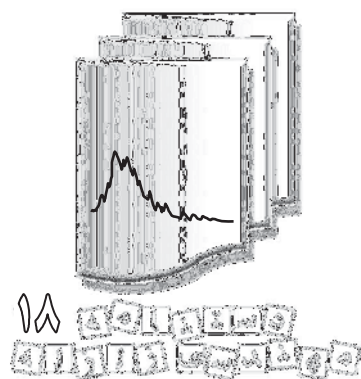
دکتر محمدرضا تابش‌پور  
(عضو هیات علمی دانشگاه)

دیوار پرکنندهی آجری در قابهای سازه‌ای

دکتر محمدرضا تابش‌پور



به نام آن که جان را فکرت آموخت



## دیوار پرکنندهی آجری در قابهای سازه‌ای

دکتر محمدرضا تابش پور



بهار ۱۳۸۸

## سخن مؤلف

با توجه به لرزه‌خیزی کشور ایران، وجود منابع علمی مناسب به منظور ارتقای دانش مهندسان عمران و معماری، بسیار ضروری می‌باشد. یکی از الزامات مهم در توسعه‌ی دانش لازم برای ساخت سازه‌های مقاوم در برابر زلزله، توجه به مسایل مربوط به اثرات مثبت و منفی دیوارهای پرکننده در سازه‌های بتنی و فولادی می‌باشد. می‌توان گفت با وجود تلاشهایی که توسط محققان انجام شده است، بخش اعظم جامعه‌ی مهندسی با مفاهیم مربوط به این بحث آشنایی کافی ندارند و در نتیجه چه بسیار طرح‌هایی که بی‌جهت دست‌بالا بوده و یا اشتباهاً دست‌پایین هستند. چنین منبعی می‌تواند علاوه بر استفاده‌های آموزشی در دانشگاه، مورد استفاده‌ی مهندسان طراح و ناظر قرار گیرد. به منظور انجام وظیفه در راستای این رسالت، اینجانب بر آن شدم تا بر اساس دستاوردهای مهندسی زلزله و با توجه به تجربیات مربوط به زلزله‌های گذشته، دوره‌ی «دستنامه‌ی مهندسی زلزله» را به جامعه‌ی مهندسی عمران و معماری کشور تقدیم کنم. این دوره شامل مجموعه‌ی نسبتاً کاملی از مطالب علمی این زمینه است. کتاب حاضر هجدهمین کتاب از این سری بوده و در ده فصل تدوین شده است.

از همکاری و مساعدت صمیمانه‌ی آقای فرید قهاری که از برجسته‌ترین دانشجویان دکترای کشور بوده و ویرایش قسمتهایی از کتاب را با دقت فراوانی انجام دادند، سپاسگزاری می‌شود. سرکار خانم احتشام‌فر ویرایش ادبی متن را با حوصله و دقت زیادی انجام دادند که از ایشان صمیمانه تشکر می‌شود. از آقای مهدی تمیزی به خاطر دقت و مهارت در انتخاب رنگ‌های جلد کتاب تشکر می‌شود. همچنین از آقای مجیدرضا زروئی مدیریت محترم انتشارات فدک ایستاتیس به خاطر اهمیت دادن به کیفیت کتاب از هر دو نظر محتوی و ظاهر، خالصانه تقدیر می‌شود. آقای مهندس رضا کرمی شاهده علاوه بر مدیریت تولید در مجموعه‌ی انتشارات فدک ایستاتیس، پیشنهادات ارزنده‌ای جهت ساختار و صفحه‌آرایی کتاب ارائه کردند که از ایشان سپاسگذاری می‌شود.

از مهندسان و صاحب‌نظران محترم صمیمانه تقاضا دارم که اینجانب را مورد منت قرار دهند و نظرات و پیشنهادات خود را به اینجانب اطلاع دهند، تا مورد نظر قرار گیرد.

برای تبادل نظر به سایت [dastnameh.ir](http://dastnameh.ir) مراجعه شود.

دکتر محمد رضا تابش‌پور

تهران، فروردین ۱۳۸۸

[tabesh\\_mreza@yahoo.com](mailto:tabesh_mreza@yahoo.com)

[info@dastnameh.ir](mailto:info@dastnameh.ir)

[tabeshpour@civil.sharif.edu](mailto:tabeshpour@civil.sharif.edu)

## فهرست مطالب

### فصل اول: اثر دیوار پرکنندهی آجری بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها

- ۱.۱ مقدمه ۳
- ۲.۱ مدل سازه‌ای دیوار پرکنندهی آجری ۴
- ۳.۱ اندرکنش بین قاب و دیوار پرکنندهی آجری ۶
- ۴.۱ دیوار بنایی محصور شده (دارای کلاف)، فصل سوم آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ۱۰
- ۵.۱ شکست طبقه‌ی نرم (یا ضعیف) ۱۲
- ۶.۱ شکست پیچشی ۲۴
- ۷.۱ تأثیر دیوار پرکنندهی آجری در سازه‌های فولادی دارای بادبند ۲۷
- ۸.۱ دیوار پرکنندهی دارای بازشو ۳۲
- ۹.۱ شکست ستون کوتاه ۳۳
- ۱۰.۱ جلوگیری از تقابل دیوار و قاب ۴۷
- منابع ۴۸

### فصل دوم: تاریخچه‌ی مدل‌سازی دیوار آجری پرکننده و قاب

- ۱.۲ مقدمه ۵۱
- ۲.۲ مدل‌های پایه‌ای (میکرو) ۵۲
- ۱.۲.۲ تحقیقات مالیک و سورن (Mallick and Severn , 1967) ۵۲
- ۲.۲.۲ تحقیقات گودمن و همکاران (Goodman et al , 1968) ۵۳
- ۳.۲.۲ تحقیقات مالیک و گارگ (Mallick and Garg , 1971) ۵۳
- ۴.۲.۲ کاست و همکاران (Kost et al , 1974) ۵۳
- ۵.۲.۲ کینگ و پاندی (King and Pandey , 1978) ۵۴
- ۶.۲.۲ تحقیقات لیاو و کوان (Liau and Kwan , 1984) ۵۶
- ۷.۲.۲ تحقیقات ریورو و والکر (Rivero and Walker , 1984) ۵۷
- ۸.۲.۲ تحقیقات شینگ و همکاران (Shing et al. , 1992) ۵۸

- ۳.۲ مدل‌های ساده (ماکرو) ۶۰
- ۴.۲ مدول یانگ مصالح بنایی ۶۴
- منابع ۶۷

## فصل سوم: پانل سه‌بعدی به‌عنوان دیوار پرکننده (نشریه‌ی شماره‌ی ۳۸۵)

- ۱.۳ مقدمه ۷۱
- ۲.۳ بند «۳-۷» نشریه‌ی ۳۸۵- ضریب رفتار ۷۳
- ۳.۳ بند «۵-۷» نشریه‌ی ۳۸۵- اصول تحلیل ۷۳
- ۴.۳ بند «۷-۷» نشریه‌ی ۳۸۵ - زمان تناوب ۷۵
- ۵.۳ بند «۲-۱۲» نشریه‌ی ۳۸۵ - پانل‌های غیرباربر ۷۶
- ۶.۳ بند «۴-۱۲» نشریه‌ی ۳۸۵- استفاده از پانل‌ها به‌عنوان اعضای باربر جانبی در قاب‌های سازه‌ای ۷۷
- ۷.۳ جمع‌بندی ۷۸
- منابع ۷۸

## فصل چهارم: رفتار درون‌صفحه‌ای دیوار پرکننده‌ی آجری

- ۱.۴ مقدمه ۸۱
- ۲.۴ پارامترهای مورد نیاز در تحلیل و طراحی دیوار پرکننده ۸۱
- ۱.۲.۴ تعیین تنش‌های مجاز ۸۱
- ۲.۲.۴ تنش مجاز فشاری ۸۱
- ۳.۲.۴ تنش مجاز کششی (ناشی از خمش) ۸۲
- ۴.۲.۴ تنش مجاز برشی ۸۲
- ۵.۲.۴ مدول الاستیسیته ۸۲
- ۳.۴ کنترل مقاومت خمشی دیوارها در داخل صفحه ۸۳
- ۱.۳.۴ شکست درون‌صفحه‌ای ۸۳
- ۱.۱.۳.۴ شکست برشی (قطری) ۸۳

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| ۲.۱.۳.۴ شکست برشی- لغزشی                | ۸۳  |
| ۳.۱.۳.۴ شکست خمشی                       | ۸۳  |
| ۴.۴ روش کلاسیک طراحی دیوار آجری پرکننده | ۸۶  |
| ۱.۴.۴ رفتار برشی                        | ۸۷  |
| ۲.۴.۴ تئوری مان و مولر                  | ۸۸  |
| ۳.۴.۴ نیروهای داخلی دیوار پرکننده و قاب | ۹۰  |
| ۱.۳.۴.۴ تنش در دیوارهای پرکننده         | ۹۱  |
| ۲.۳.۴.۴ نیروهای قاب                     | ۹۳  |
| ۴.۴.۴ روش طراحی                         | ۹۴  |
| ۱.۴.۴.۴ طراحی دیوار پرکننده             | ۹۴  |
| ۲.۴.۴.۴ طراحی قاب                       | ۹۶  |
| ۳.۴.۴.۴ تغییر مکان افقی                 | ۹۷  |
| ۵.۴.۴ خلاصه‌ی روش طراحی                 | ۹۷  |
| ۱.۵.۴.۴ طراحی دیوار پرکننده             | ۹۸  |
| ۲.۵.۴.۴ طراحی قاب                       | ۹۹  |
| ۳.۵.۴.۴ تغییر مکان‌ها                   | ۹۹  |
| ۶.۴.۴ مثال                              | ۹۹  |
| منابع                                   | ۱۰۱ |

## فصل پنجم: رفتار برون صفحه‌ای دیوار پرکننده‌ی آجری: مدل ساده و کنش قوسی

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| ۱.۵ مقدمه                                                  | ۱۰۵ |
| ۲.۵ کنترل خمش عمود بر صفحه                                 | ۱۰۵ |
| ۳.۵ شکست خارج از صفحه‌ی دیوارهای پرکننده‌ی قاب‌های سازه‌ای | ۱۰۵ |
| ۱.۳.۵ شکست خمشی در راستای قائم                             | ۱۰۵ |
| ۲.۳.۵ شکست خمشی در راستای افقی                             | ۱۰۶ |
| ۴.۵ بارگذاری زلزله‌ی برون صفحه‌ای دیوار                    | ۱۰۷ |
| ۵.۵ بارگذاری باد برای شکست خارج از صفحه‌ی دیوار            | ۱۰۸ |

- ۶.۵ مدل‌های دوخطی و سه‌خطی برای خمش خارج از صفحه ۱۱۱
- ۷.۵ کنش قوسی (Arching action) ۱۱۵
- ۱۰.۷.۵ مدل‌سازی کنش قوسی صلب ۱۱۶
- ۲.۷.۵ مکانیزم کنش قوسی دارای گپ ۱۲۰
- ۳.۷.۵ تأثیر کوتاه شدگی محوری بر کنش قوسی ۱۲۲
- ۴.۷.۵ تأثیر حرکت تکیه‌گاه‌ها بر کنش قوسی ۱۲۲
- ۵.۷.۵ طراحی ۱۲۲

### فصل ششم: ضوابط پیشنهادی FEMA-306

- ۱.۶ مقدمه ۱۲۷
- ۲.۶ اعضای قاب فولادی ۱۲۷
- ۱.۲.۶ اعضای خمشی ۱۲۷
- ۲.۲.۶ اعضای برشی ۱۲۷
- ۳.۲.۶ اتصالات ۱۲۸
- ۳.۶ اعضای قاب بتنی ۱۲۸
- ۱.۳.۶ اعضای خمشی ۱۲۸
- ۲.۳.۶ اعضای برشی ۱۲۸
- ۳.۳.۶ اتصالات ۱۳۱
- ۴.۳.۶ لغزش چسبندگی اتصال وصله‌های پوششی ۱۳۳
- ۴.۶ اجزای قاب پر شده ۱۳۳
- ۵.۶ مروری بر ضوابط FEMA-306 ۱۳۸
- منابع ۱۴۰

### فصل هفتم: اثر بازشو بر سختی قاب‌های دارای دیوار پرکننده‌ی آجری

- ۱.۷ مقدمه ۱۴۳
- ۲.۷ نامنظمی چیدمان دیوار در ارتفاع ۱۴۷

## فصل هشتم: رفتار ستون‌های کوتاه تحت تغییر شکل برشی سیکلی

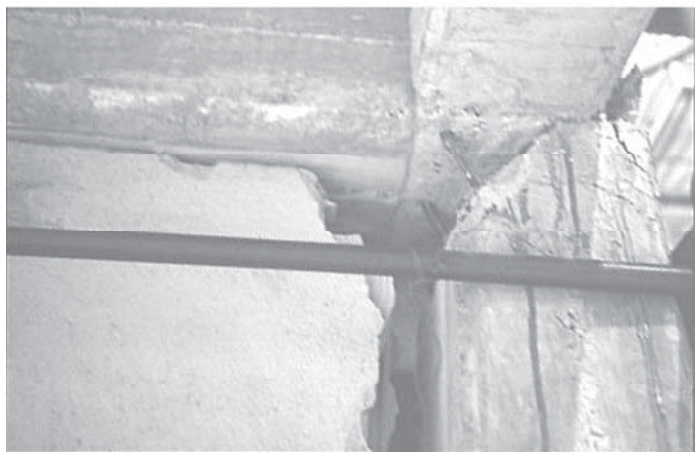
- ۱.۸ مقدمه ۱۵۳
- ۲.۸ نمونه‌های آزمایش ۱۵۳
- ۳.۸ مود شکست ۱۵۵
- ۴.۸ اندازه‌گیری کرنش در خاموت‌ها ۱۶۰
- ۵.۸ توزیع کرنش فشاری در راستای قطر در بتن قبل از ترک‌خوردگی ۱۶۲
- ۶.۸ رفتار کلی نمونه‌ها ۱۶۶
- ۷.۸ مدل‌سازی ستون‌های کوتاه ۱۷۱
- منابع ۱۷۲

## فصل نهم: آزمایش پوش-اور (استاتیکی جانبی) در محل بر روی مدرسه (تایوان)

- ۱.۹ مقدمه ۱۷۵
- ۲.۹ تشریح آزمایش ۱۷۶
- ۳.۹ آزمایش پوش-اور ۱۷۸
- ۱.۳.۹ تشریح آزمایش ۱۷۸
- ۲.۳.۹ نتایج آزمایش ۱۸۲
- ۴.۹ آزمایش بار قائم ۱۸۴
- ۱.۴.۹ تشریح آزمایش ۱۸۴
- ۲.۴.۹ نتایج آزمایش ۱۸۴
- ۵.۹ مقایسه‌ی نتایج آزمایش با مقادیر تحلیلی ۱۸۷
- ۶.۹ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ۱۸۷
- منابع ۱۸۸

## فصل دهم: بررسی تحلیلی طبقه‌ی نرم

- ۱.۱۰ مقدمه ۱۹۱
- ۲.۱۰ مدل‌سازی و تحلیل ۱۹۱
- منابع ۱۹۸
- واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۲۰۳
- واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ۲۱۱
- فهرست الفبایی ۲۱۹



شکست ستون به علت اندرکنش با دیوار پرکننده

شکل ۵.۱



شکست ۶.۱  
شکست برشی ستون بتنی به علت  
اندرکنش با دیوار پرکننده

شکل ۶.۱



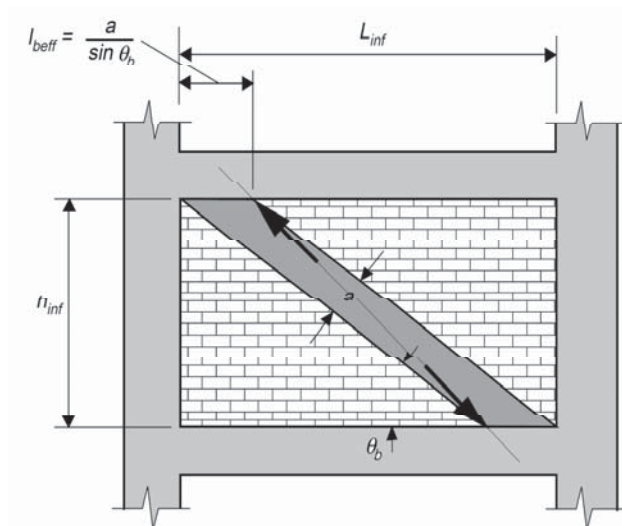
شکل ۷.۱

شکست برشی ستون بتنی به علت  
تقابل با دیوار پرکننده‌ی آجری با  
بلوک سفالی غیرضخیم

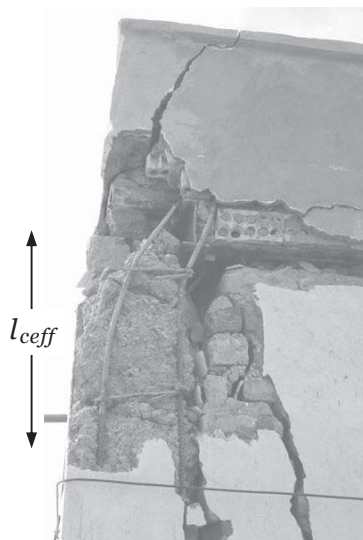
۱۸

چنان‌که توضیح داده شد ممکن است رفتار بادبند معادل دیوار مطابق شکل (۸-۱) به صورت تیربه‌تیر باشد. در این صورت شکست برشی متمرکز در لبه‌ی تیر رخ می‌دهد. شکل (۹-۱) نمونه‌ای از این شکست را نشان می‌دهد.

شکل (۱۰-۱) نمونه‌ی دیگری از اندرکنش دیوار پرکننده با قاب فولادی است و اثرات نیروی دیوار به قاب به‌خوبی مشاهده می‌شود.



شکل ۸.۱ مدل تیربه‌تیر برای بادبند معادل دیوار



شکل ۱۳.۱

شکست کلاف قائم بتنی به علت  
اندرکنش در دیوار (بم، ۱۳۸۲)

دلایل شکست فوق عبارتند از:

- فاصله‌ی زیاد بین خاموت‌های کلاف قائم (که منجر به شکست برشی شده است)،
- کیفیت نامناسب بتن که شدیداً خرد شده است و
- عدم اتصال مناسب بین کلاف قائم بتنی و کلاف افقی.

در ادامه، مکانیزم‌های مختلف شکست دیوار پرکننده ارائه خواهد شد. یکی از این مکانیزم‌ها وقوع ترک ضربدری قطری در دیوار است. نمونه‌ای از این شکست به همراه آسیب مختصر در بالا و پایین ستون‌ها به علت اندرکنش با دیوار در شکل (۱-۱۴) مشاهده می‌شود.



شکل ۱۴.۱

ترک قطری دیوار پرکننده و  
آسیب قسمت فوقانی ستون

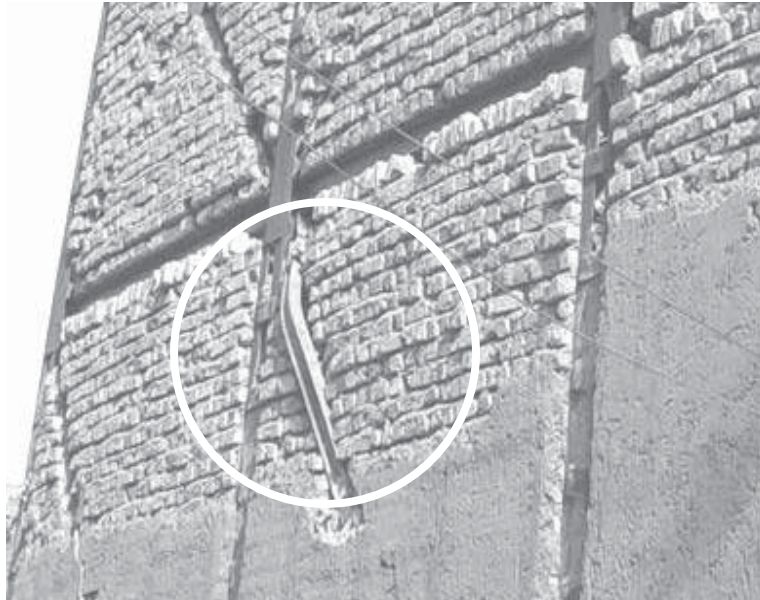


شکل ۴۹.۱ تخریب یک ساختمان به علت نادیده گرفتن اثر سختی دیوار (کوبه، ۱۹۹۵)



شکل ۵۰.۱ شکست توأم طبقه‌ی نرم و پیچش (بم، ۱۳۸۲)

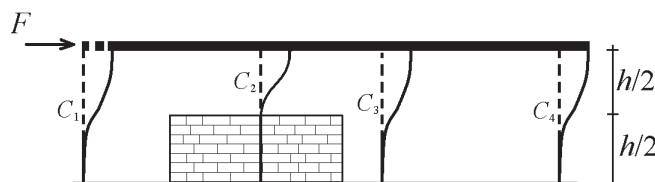
در شکل (۵۰-۱) نمونه‌ای از شکست توأم طبقه‌ی نرم و پیچش مشاهده می‌شود.



شکل ۵۲.۱ کماتش فشاری ستون که به علت مشارکت دیوار در تحمل فشار، شکست مطلوبی رخ داده است (بم، ۱۳۸۲).

در خصوص ترکیب دیوارهای پرکننده‌ی آجری با قاب‌های فولادی بادبندی شده باید به تحمل فشاری دیوارها توجه شود. در این صورت طراحی بادبندها به‌طور صحیح‌تر و اقتصادی‌تری انجام می‌شود. به عنوان مثال می‌توان گفت که قسمتی از بادبندهای موجود در شکل (۱-۵۳-الف)، مورد نیاز نبوده است. خصوصاً در طبقات فوقانی می‌توان طراحی بادبندها را تعدیل کرد. مثلاً می‌توان بادبند فولادی را فقط کششی طراحی کرد و مطابق شکل (۱-۵۳-ب) از مقاطع باریک برای بادبند استفاده کرد. البته روش اجرای بادبندها در شکل (۱-۵۳-ب) اصولی نیست. یکی از مسائل مهم درخصوص طراحی بادبند در سازه‌های فولادی، چیدمان مناسب بادبندها است. یکی از مسائل مربوطه این است که نحوه‌ی قرارگیری بادبندها باید طوری باشد که هم‌زمان برخی از بادبندها در فشار و برخی دیگر در کشش عمل کنند. اگر مطابق شکل (۱-۵۴) تمام بادبندها در یک لحظه فقط در کشش یا فقط در فشار عمل کنند، از ظرفیت مصالح به‌طور بهینه استفاده نمی‌شود. یکی از وضعیت‌های مناسب در شکل (۱-۵۵) مشاهده می‌شود. در طبقه‌ی دوم سازه، مطابق شکل (۱-۵۶) بادبندها طوری قرار گرفته‌اند که به‌طور هم‌زمان هر دو در کشش یا هر دو در فشار هستند. هرچند این وضعیت نامطلوب است، ولی به علت مشارکت دیوار در تحمل بار جانبی به صورت بادبند معادل فشاری، این عیب، رفع شده است.

**مسئله:** در قاب زیر، دیاگرام برش و ممان را برای ستون‌ها رسم کنید. نیروی جانبی برابر ۱۲ تن است. ممان اینرسی تمام ستون‌ها برابر  $750 \text{ cm}^4$  است.

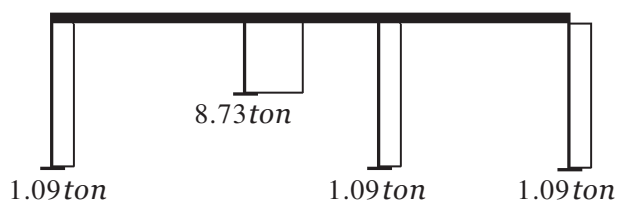


شکل ۶۳.۱

هندسه‌ی قاب

**حل:**

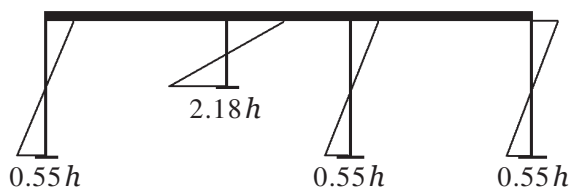
اگر سختی ستون‌های  $C_1$ ،  $C_3$  و  $C_4$  مساوی  $k$  باشد، سختی ستون  $C_2$  معادل  $8k$  خواهد بود. در نتیجه، برش ستون‌های  $C_1$ ،  $C_3$  و  $C_4$  مساوی  $\frac{12}{11} = 1.09 \text{ ton}$  است و برش ستون  $C_2$  معادل  $\frac{8 \times 12}{11} = 8.73 \text{ ton}$  خواهد بود.



شکل ۶۴.۱

دیاگرام برش ستون‌ها

همچنین دیاگرام ممان در ستون‌ها به صورت زیر است.



شکل ۶۵.۱

دیاگرام ممان ستون‌ها

ممان بیشینه در ستون‌های  $C_1$ ،  $C_3$  و  $C_4$  معادل  $\frac{12}{11} \times \frac{h}{2} = 0.55h$  و همچنین ممان بیشینه در ستون  $C_2$  مساوی  $\frac{8 \times 12}{11} \times \frac{h}{4} = 2.18h$  است.

اگر ستون  $C_2$  از دیوار جدا بود مقدار برش در آن به اندازه‌ی ۳ تن و ممان آن  $1.5h$  می‌بود. چنان که ملاحظه می‌شود با کوتاه شدن ستون، مقدار برش از ۳ تن به  $\frac{8}{3}$  تن (یعنی حدود ۳ برابر) افزایش یافته است. همچنین مقدار ممان از  $1.5h$  به  $2.18h$  افزایش یافته است (یعنی حدود ۱/۵ برابر).



در اشکال (۷۲-۱) و (۷۳-۱) نمای یک ساختمان قبل و بعد از زلزله، نشان داده شده است. در شکل‌های (۷۴-۱) تا (۷۹-۱) نمونه‌های مختلفی از شکست ستون کوتاه ملاحظه می‌شود.



شکل ۷۲.۱

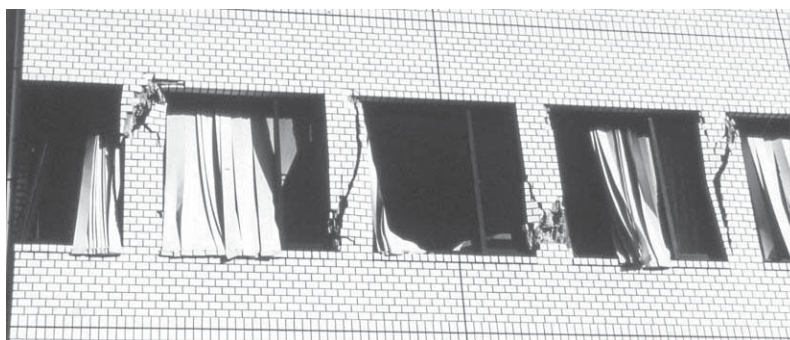
نمایی از ساختمان قبل از زلزله

۱۸



شکل ۷۳.۱

تخریب کامل طبقه‌ی اول در زلزله  
به‌علت پدیده‌ی ستون کوتاه



شکل ۷۴.۱

شکست برشی ستون کوتاه (دومین مود شکست متداول سازه‌های بتنی)

در شکل (۹۱-۱) دهانه‌ی سمت چپ دارای دیوار آجری پرکننده و دهانه‌ی سمت راست دارای بازشو طویل است که ستون کوتاه ایجاد کرده است. در حرکت سازه به سمت راست، ستون میانی به صورت ستون کوتاه عمل می‌کند. در حرکت سازه به سمت چپ، ستون سمت راست به صورت ستون کوتاه است و ستون میانی به همراه ستون سمت چپ و دیوار بین آن‌ها تشکیل یک دهانه با دیوار پرکننده می‌دهند. به علت نیروی محوری فشاری در راستای قطر دیوار پرکننده، نیروی برشی متمرکزی در پایین ستون سمت چپ وارد شده و منجر به خرابی برشی شده است.



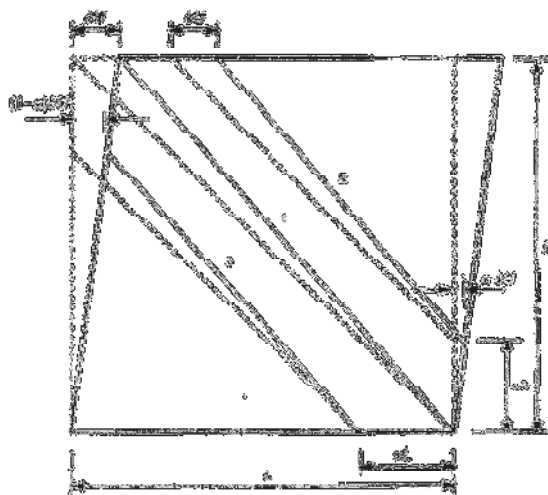
شکل ۹۰.۱

نیروی متمرکز در قسمت میانی  
ستون بتنی



شکل ۹۱.۱

در مورد این ساختمان، دیوار آجری مقاوم‌تر از ستون‌ها بوده است و باعث شکست برشی در ستون‌ها شده است (ترکیه، ۱۹۹۸). ترکیب شکست ستون کوتاه و شکست برشی ستون



شکل ۱۷.۲ میدان جابه‌جایی مجازی برای استخراج سختی میله‌های قطری (کریسوستومو، ۱۹۹۱)

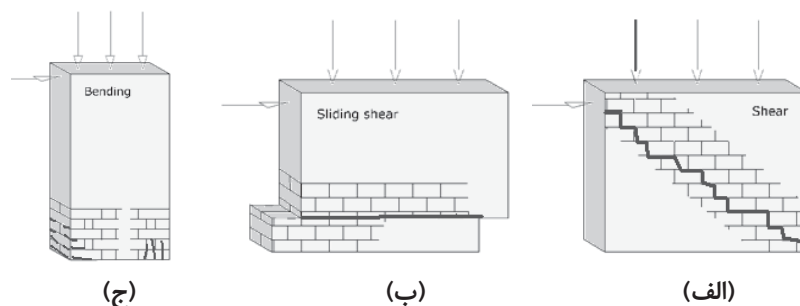
شکل ۱۷.۲

## ۴.۲ مدول یانگ مصالح بنایی

یک نکته‌ی مهم در خصوص مدول یانگ مصالح بنایی، پراکندگی مقادیر حاصل از روابط ارائه شده توسط محققان مختلف است. این امر به ماهیت رفتار مصالح بنایی مربوط است. در جدول (۱-۲) روابط پیشنهادی توسط برخی از محققان و مقدار مدول یانگ برای مقاومت فشاری ۱۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ارائه شده است.

جدول ۱-۲ روابط مختلف برای مدول یانگ دیوار آجری

| محقق (محققان)          | مدول یانگ                                  | $E_m (kg/cm^2)$<br>$f_m = 15 kg/cm^2$ |
|------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|
| ساهلین (۱۹۷۱)          | $E_m = 750 f_m$                            | 11000                                 |
| پاولی و پریستلی (۱۹۹۲) | $E_m = 750 f_m$                            | 11000                                 |
| سان بارتولومه (۱۹۹۰)   | $E_m = 500 f_m$                            | 7500 (min)                            |
| سینها و پدرشچی (۱۹۸۳)  | $E_m = 1180 f_m^{0.83}$                    | 16000                                 |
| هندری (۱۹۹۰)           | $E_m = 2116 f_m^{0.5}$                     | 25000 (max)                           |
| برخی دیگر از محققین    | $E_m = 1000 f_m$                           | 15000                                 |
| پیشنهاد کتاب حاضر      | اثرات منفی (طبقه‌ی نرم، طبقه‌ی ضعیف، پیچش) | 12000                                 |
|                        | اثرات مثبت                                 | 9000                                  |



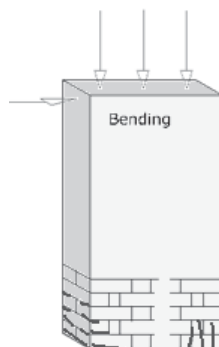
شکل ۱.۴ مودهای شکست درون‌صفحه‌ای دیوار آجری، (الف): شکست برشی، (ب): شکست برشی-لغزشی، (ج): شکست خمشی

**مثال:** برای دیوار با مشخصات زیر، مقاومت جانبی را تعیین کنید:

$$\sigma_{ta} = 1.5 \text{ kg/cm}^2 \text{ تنش مجاز کششی در خمش: } t = 20 \text{ cm}, L = H = 3 \text{ m}$$

**حل:**

محاسبه‌ی شکست خمشی



وزن سربار:  $W_0$

وزن دیوار:  $W_w$

$$L = H = 3 \text{ m}$$

$$\frac{L}{H} = 1$$

$$t = 20 \text{ cm}$$

تنش مجاز کششی در خمش:  $\sigma_{ta} = 1.5 \text{ kg/cm}^2$

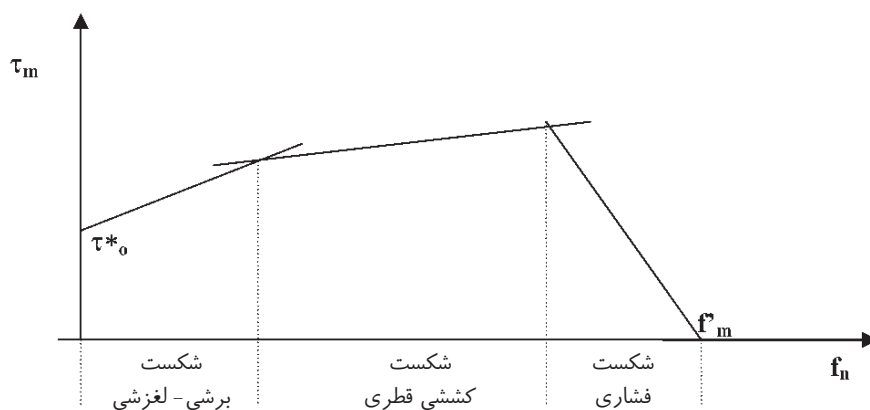
تنش کششی ناشی از بار جانبی:  $\sigma_H = \frac{Mc}{I}$

تنش فشاری ناشی از بار ثقلی:

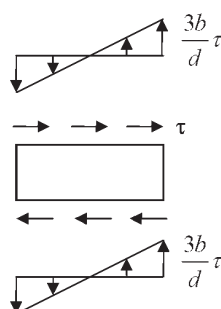
$$\sigma_G = \frac{W}{A} = \frac{W_0 + W_w}{tl}$$

تنش کششی ناشی از بار جانبی:

$$\sigma_H = \frac{(FH) \frac{L}{2}}{t \frac{L^3}{12}} = \frac{6FH}{tL^2}$$



شکل ۹.۴ پوش منحنی مقاومت برشی بر حسب تنش همسان، تئوری مان و مولر (کریسافولی، ۱۹۹۷)



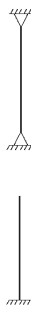
شکل ۱۰.۴

توزیع خطی تنش نرمال در بلوک  
آجری (کریسافولی، ۱۹۹۷)

این سه حالت در شکل (۹-۴) نشان داده شده است. تئوری مان و مولر توسط کریسافولی با یک پیشنهاد متفاوت برای توزیع تنش‌ها اصلاح شد. کریسافولی توزیع خطی مطابق شکل (۱۰-۴) را در نظر گرفت.

### ۳.۴.۴ نیروهای داخلی دیوار پرکننده و قاب

رفتار قاب‌های دارای دیوار پرکننده‌ی آجری هنوز به‌طور کامل شناخته شده نیست و باید تحقیقات بیشتری به‌خصوص بر روی مدل‌های تمام مقیاس انجام شود. این امر به‌علت آن است که بین روش‌های مختلف پیشنهاد شده برای بادبند معادل دیوار، تفاوت‌های زیادی وجود دارد. روش مورد بحث در این فصل، براساس ترکیب نتایج مشاهدات آزمایشگاهی و تحلیلی است. این روش را می‌توان یک روش الاستیک نامید، ولی در تعیین معیارهای شکست دیوار پرکننده، شکست آجرها به‌صورت پلاستیک فرض می‌شود.

$$F_P = AB_P IW_P = \begin{cases} 0.7 AIW_P \\ 2 AIW_P \end{cases}$$


موارد کاربرد مدل تیر دوسر مفصل:

- دیوار در ساختمان بنایی غیرمسلح اگر به سقف متصل شده باشد.
- دیوار پرکننده بین قاب‌های سازه‌ای اگر قسمت فوقانی دیوار به‌نحو مناسبی به تیر متصل شده باشد. به‌این منظور باید از چکش لاستیکی برای جازدن آجر استفاده کرد و یا مهرار فولادی بین تیر و دیوار را اجرا کرد.

موارد کاربرد مدل تیر طره‌ای:

- دیوار جان‌پناه بام،
- دیوار در ساختمان بنایی غیرمسلح اگر به سقف متصل نشده باشد و امکان کنش قوسی وجود نداشته باشد و
- دیوار پرکننده بین قاب‌های سازه‌ای اگر قسمت فوقانی دیوار به‌نحو مناسبی به تیر متصل نشده باشد و امکان کنش قوسی وجود نداشته باشد.

## ۵.۵ بار گذاری باد برای شکست خارج از صفحه‌ی دیوار

مطابق ضوابط ارائه شده در مبحث ششم، مقدار بار باد وارده به سطح بادگیر  $A$  از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$F = PA \quad (۵-۱-الف)$$

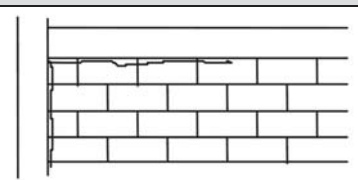
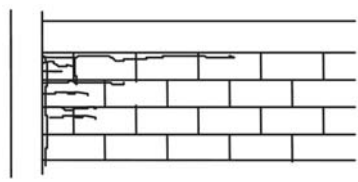
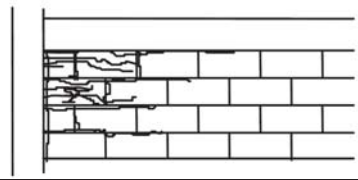
$$P = C_e C_q q \quad (۵-۱-ب)$$

$$F = C_e C_q q A \quad (۵-۱-ج)$$

$C_e$  و  $C_q$  از جدول (۶-۶-۲) مبحث ششم و  $q$  از جدول (۶-۶-۱) همان مبحث تعیین می‌شود.  
سؤال: در تهران برای طرح خارج از صفحه‌ی دیوارها آیا بار باد حاکم بر طرح است یا بار زلزله؟

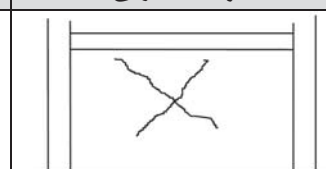
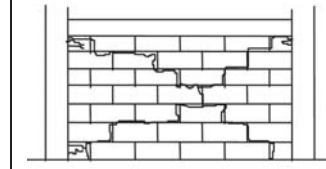
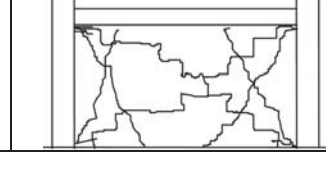
در جداول (۶-۱) تا (۶-۹) انواع مختلف مودهای شکست دیوار و قاب ارائه شده است.

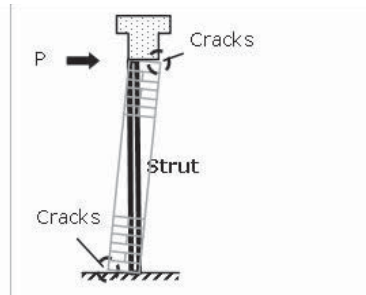
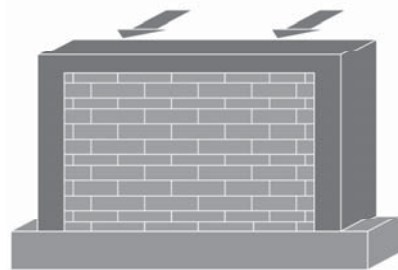
جدول ۶-۱ خردشدگی گوشه‌ی دیوار، در قاب بتنی

| شدت   | توصیف خرابی                                                                         | ترمیم و بازایی                                                                     |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ناچیز |   | بندکشی مجدد ملات آسیب دیده<br>تزیق و پر کردن ترک‌ها                                |
| متوسط |   | حذف و جای‌گزینی قسمت‌های<br>صدمه دیده<br>تزیق و پر کردن ترک‌ها در پیرامون<br>دیوار |
| شدید  |  | حذف و جای‌گزینی کامل دیوار                                                         |

این مود شکست در صورتی رخ می‌دهد که دیوار پرکننده دارای مقاومتی کمتر از قاب باشد و ممکن است برخی ترک‌های قطری یا لغزش در درز افقی نیز در دیوار مشاهده شود. برای تحلیل مدل می‌توان از روش خرابای ساده (استافورد-اسمیت، ۱۹۶۶) استفاده کرد.

جدول ۶-۲ کشش قطری در دیوار آجری

| شدت   | توصیف خرابی                                                                          | ترمیم و بازایی                                                    |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| ناچیز |  | ممکن است اجزای غیرسازه‌ای نیاز<br>به تعمیر داشته باشد.            |
| متوسط |  | بندکشی ملات‌های آسیب دیده.<br>حذف و جای‌گزینی برخی از آجرها.      |
| شدید  |  | حذف و جای‌گزینی دیوار پرکننده‌ی<br>آجری<br>تسلیح و بتن پاشی دیوار |



شکل ۱۸.۹ تغییر شکل خارج از صفحه‌ی دیوار آجری

## ۶.۹ نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

آزمایش در محل بر روی یک ساختمان مدرسه انجام شد و نتایج با روش تحلیلی مقایسه شد. نتایج آزمایش با مشاهدات خرابی مدارس در زلزله‌ی چی-چی انطباق خوبی داشت. دو پدیده‌ی ستون کوتاه و تیرقوی-ستون ضعیف که در تعداد زیادی از مدارس (در تایوان) وجود دارد، در آزمایش به‌خوبی مشاهده شد. بر اساس آزمایش، ملاحظه شد که مقاومت و شکل‌پذیری خوبی در ساختمان مورد بررسی وجود داشت. آزمایش بار قائم نشان داد که تیرها و دال‌ها دارای مقاومت خوبی برای تحمل بارهای قائم پس از انهدام برخی از ستون‌ها (به‌علت پدیده‌ی ستون کوتاه) هستند. نتایج هر دو آزمایش نشان داد که دیوارهای آجری، هم در باربری ثقلی کمک می‌کنند و هم مقاومت خارج از صفحه‌ی خوبی دارند. انجام چنین آزمایشی در ایران نیز لازم است.

## منابع

[9-1] Tu, Y. H.(2004), "Shaking Table Test and Seismic Analysis of RC School Building Structures," PhD dissertation, National Cheng-Kung University, Tainan, Taiwan.

[۲-۹] تابش‌پور، محمدرضا؛ «تفسیر مفهومی کاربردی آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، جلد اول»، انتشارات گنج هنر، تهران، ۱۳۸۶.