بسم الله الرحمن الرحيم

١١٩٢٩

رشته ۱۹

دانشگاه تبریز

۱۸ ← دانشکده مهندسی

۱۸ ← پایان نامه کارشناسی ارشد

# ۲۴ ← بررسی رفتار لرزه ای قاب خمشی فولادی با المان زانویی جهت ۲۴ ← استفاده در مقاوم سازی

۱۸ دانشجو

۲۴ ناصر مرادلو

۱۸ استاد راهنما

۲۴ دکتر سید هاشم موسوی

۱۳۸۸/۶/۱۱

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

۲۴ زمستان ۸۷

۱۱۶۰۲۶

شماره: ت-م-۳۵۹۸

تاریخ: ۸۷/۱۲/۲۰

پیوست:

بسمه تعالی

دانشگاه زنجان

## صورتجلسه دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی‌ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای ناصر مرادلو

رشته : مهندسی عمران ( سازه)

تحت عنوان : مقاوم سازی قاب خمشی فلزی با المان زانویی

که در تاریخ ۸۷/۱۲/۲۰ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه زنجان برگزار گردید به شرح زیر است:

قبول (با درجه: عالی امتیاز: ۱۸/۴۲ ) دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱. عالی (۲۰-۱۸)

۲. بسیار خوب (۱۷/۹۹-۱۶)

۳. خوب ( ۱۵/۹۹-۱۴)

۴. قابل قبول (۱۳/۹۹-۱۲)

| ردیف | عضو هیأت داوران | نام و نام‌خانوادگی | رتبه علمی | امضاء |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | استاد راهنما | دکتر سید هاشم موسوی | استادیار | |
| ۲ | استاد ممتحن | دکترکیارش ناصر اسدی | استادیار | |
| ۳ | استاد ممتحن | دکتر پیام اشتری | استادیار | |
| ۴ | نماینده تحصیلات تکمیلی | دکتر حبیب اله زلفخانی | استادیار | |

دانشگاه زنجان
دکتر نعمت اله ارشدی
مدیر تحصیلات تکمیلی دانشگاه

مهندس محمد مصطفوی
معاون آموزشی دانشکده مهندسی

# تقدیم به

پدر و مادر عزیز

و

همسر مهربانم

# تشکر و قدر دانی

حمد و سپاس خداوند متعال را که توفیق کسب علم و آشنایی با اهل علم را در این مقطع به من عطا نمود.

در اینجا لازم است تا از تلاش ها و زحمات کلیه استادان محترم به ویژه آقای دکتر موسوی که زحمت راهنمایی و مشاوره در انجام این پایان نامه را بر عهده داشتند خالصانه تشکر و قدر دانی نمایم . همچنین از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر اشتری و آقای دکتر اسدی که به عنوان اساتید ممتحن زحمت حضور در جلسه دفاع را متحمل شدند صمیمانه تشکر می نمایم.

# چکیده

مطالعه زمین لرزه های به وقوع پیوسته در کشور ، حاکی از آن است که بیشترین خطر زمین لرزه به علت سیستم های سازه ای ضعیف ، قدیمی و آسیب پذیر است. با عنایت به این مساله پیشنهاد می شود ، جهت کاهش خسارت ناشی از زمین لرزه های آینده ، رفتار لرزه ای ساختمان های آسیب پذیر بهبود داده شود. بنابراین برای دست یافتن به یک سازه ی مقاوم و اقتصادی در مناطق زلزله خیز سعی می شود که ترکیب مطلوبی از پارامتر های مقاومت، سختی و شکل پذیری را در سازه ایجاد نمود. برخی از سیستم های سازه ای متداول از جمله قابهای خمشی به تنهایی قادر به بر آوردن تمام نیاز های فوق نیستند .

سیستم قاب خمشی در صورت طراحی صحیح به علت تشکیل مفاصل پلاستیک در انتهای تیرها ، دارای ظرفیت بالای جذب انرژی می باشد و شکل پذیری آن یکی از علل اصلی استفاده از این سیستم است . ولی از نظر سختی رفتار مناسبی نداشته آن چنان که به علت سختی جانبی کم تغییر مکان افقی زیادی در مقابل نیروهای جانبی از خود نشان داده و ممکن است عناصر غیر سازه ای آن در معرض آسیب قرار گیرند .

در این پایان نامه رفتار لرزه ای سیستم قاب خمشی فولادی مقاوم سازی شده با المان زانویی با استفاده از نرم افزارهای ETABS2000 و SAP2000 مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته تا عوامل موثر بر سختی و شکل پذیری و تعیین پارامترهای لرزه ای آن از جمله ضریب رفتار مورد ارزیابی واقع شود. نتایج این تحقیق نشان می دهد که افزودن المان زانویی به قاب خمشی باعث افزایش سختی قاب و کاهش تغییر مکان ناشی از زلزله و در کل سبب بهبود رفتار لرزه ای قاب خمشی می گردد که می توان در مقاوم سازی سازه های قاب خمشی با هزینه بسیار کمتری از آن استفاده نمود.

# فهرست مطالب

عنوان صفحه

## فصل اول: کلیات


۱-۱- مقدمه ..... ۲

۱-۲- تعاریف ..... ۳

۱-۲-۱- قاب مقاوم خمشی ( MRF ) ..... ۳

۱-۲-۲- قاب بادبندی شده هم محور ( CBF ) ..... ۴

۱-۲-۳- قاب بادبندی شده خارج محور ( EBF ) ..... ۵

۱- ۲-۴- قاب بادبندی شده زانویی ( KBF ) ..... ۷

۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق ..... ۸

۱-۳-۱- قاب خمشی فولادی تقویت شده با المان زانویی ..... ۹

۱- ۴- اهداف پایان نامه ..... ۱۰

۱- ۵- نحوه فصل بندی پایان نامه ..... ۱۰


## فصل دوم: روش های مقاوم سازی ساختمان های فولادی


۲-۱- مقدمه ..... ۱۲

۲-۲- تعاریف ..... ۱۲

۲-۳- بررسی نقایص لرزه ای موجود درسازه های فولادی و ارائه روشهای بهسازی ..... ۱۴

۲-۳-۱- قاب های خمشی فولادی ..... ۱۴

۲-۳-۱-۱- روشهای تقویت ظرفیت خمشی ناکافی تیر یا ستون ..... ۱۴

۲-۳-۱-۲- روشهای تقویت ظرفیت برشی ناکافی تیر یا ستون ..... ۱۴

۲-۳-۱-۳- روشهای رفع ظرفیت ناکافی چشمه اتصال ..... ۱۶

۲-۳-۱-۴- روشهای کاهش تغییر مکان جانبی ..... ۱۷

۲-۳-۲- قاب های مهاربندی شده ..... ۱۸

۲-۳-۲-۱- قاب های مهاربندی شده ضربدری ..... ۱۸

# فهرست مطالب


۲-۳-۲-۱-۱- روش های تقویت ظرفیت ناکافی مهاربند ..... ۱۸

۲-۳-۲-۱-۲- روش های تقویت ظرفیت ناکافی اتصال مهاربند ..... ۲۰

۲-۳-۲-۱-۳- روش های تقویت ظرفیت ناکافی بار محوری در ستون ها و تیرهای سیستم مهاربندی ..... ۲۱


## فصل سوم: اصول و مفاهیم رفتار لرزه ای سازه ها و پارامترهای مرتبط با آن


۳-۱- مقدمه ..... ۲۳

۳-۲- رفتار سیستم های سازه ای مقاوم در برابر زلزله ..... ۲۴

۳-۳- اصول طراحی لرزه ای سازه های مقاوم در برابر زلزله ..... ۲۵

۳-۴- اهداف طراحی لرزه ای سازه ها ..... ۲۷

۳- ۵- روش های بررسی رفتار لرزه ای سازه ها ..... ۲۸

۳-۶- معرفی پارامترهای لرزه ای سازه ها ..... ۲۹

۳-۷- ضریب شکل پذیری ($\mu$) ..... ۲۹

۳- ۷-۱- تعریف شکل پذیری ماده (مصالح) ..... ۳۱

۳- ۷-۲- تعریف شکل پذیری عضو ..... ۳۱

۳- ۷-۳- تعریف شکل پذیری سازه ..... ۳۲

۳- ۸- ضریب کاهش مقاومت ناشی از شکل پذیری ($R\mu$) ..... ۳۳

۳-۹- رابطه بین ضریب کاهشی مقاومت ($R\mu$) با ضریب شکل پذیری تغییر مکانی ($\mu_\Delta$) ..... ۳۴

۳-۱۰- ضریب اضافه مقاومت ($Rs$) ..... ۳۷

۳-۱۱- ضریب رفتار ($R$) ..... ۳۹

۳-۱۲- ضریب تبدیل جابجایی خطی به جابجایی غیر خطی ($Cd$) ..... ۴۳


## فصل چهارم: بررسی عملکرد سازه ها با روش تحلیل استاتیکی غیر خطی بار افزا (push over)


۴-۱- مقدمه ..... ۴۵

۴-۲- ترازهای عملکرد سازه ای ..... ۴۶

# فهرست مطالب


۴-۲-۱- تراز عملکرد اسکان فوری (IO) ..... ۴۷

۴-۲-۲- تراز عملکرد ایمنی جانی (LS) ..... ۴۷

۴-۲-۳- تراز عملکرد پایداری سازه ای (SS) یا جلوگیری از فروریزی (CP) ..... ۴۸

۴-۳- ترازهای زلزله ای ..... ۴۸

۴-۳-۱- زلزله بهره برداری (SE) ..... ۴۸

۴-۳-۲- زلزله طرح (DE) ..... ۴۹

۴-۳-۳- زلزله حداکثر (ME) ..... ۴۹

۴-۴- مدلسازی غیر خطی ..... ۴۹

۴-۴-۱- مفصل پلاستیک محوری (p) ..... ۵۱

۴-۴-۲- مفصل پلاستیک خمشی (M) و خمشی- محوری (PMM) ..... ۵۳

۴-۴-۳- مفصل پلاستیک برشی (V) ..... ۵۵

۴-۵- تحلیل استاتیکی غیر خطی (NSP) ..... ۵۶

۴-۶- منحنی ظرفیت ..... ۵۹

۴-۷- تعیین نقطه عملکرد به روش طیف ظرفیت ..... ۶۰

۴-۷-۱- تبدیل منحنی ظرفیت به فرمت ADRS ..... ۶۱

۴-۷-۲- تبدیل منحنی نیاز به فرمت ADRS ..... ۶۲

۴-۷-۳- تعیین میرایی ویسکوز معادل ..... ۶۴

۴-۷-۴- میرایی ویسکوز مؤثر و انواع رفتار سازه ای ..... ۶۶

۴-۷-۵- کاهش طیف نیاز ۵ درصد میرایی ..... ۶۸

۴-۷-۶- روشهای مختلف تعیین نقطه عملکرد بر روی طیف ظرفیت ..... ۷۰

۴-۷-۷- کنترل عملکرد ..... ۷۴

۴-۸- معیارهای پذیرش در تراز عملکرد ایمنی جانی ..... ۷۶

۴-۸-۱- تغییر شکلهای پلاستیک مجاز ..... ۷۶

۴-۸-۲- تغییر مکان نسبی ..... ۷۸

# فهرست مطالب

## فصل پنجم: بررسی عوامل موثر بر روی سختی و شکل پذیری سیستم قاب خمشی فولادی مقاوم سازی شده با المان زانویی


۵-۱- مقدمه ..... ۸۰

۵-۲- مشخصات مدلهای تحلیلی مورد استفاده ..... ۸۰

۵-۲-۱- ارتفاع طبقه، طول دهانه و عرض بارگیر مدل ها ..... ۸۱

۵-۲-۲- مشخصات فولاد مصرفی ..... ۸۱

۵-۲-۳- شرایط بار گذاری ..... ۸۲

۵- ۲ -۴- شرایط اتصالات ..... ۸۳

۵- ۲- ۵- پروفیل های انتخابی برای اعضا ..... ۸۳

۵- ۲-۶- مفصل های پلاستیک اعضا ..... ۸۳

۵- ۲-۷- نحوه نامگذاری مدل ها ..... ۸۴

۵- ۲- ۸- تغییر مکان مجاز نسبی طبقه ..... ۸۵

۵- ۳- نحوه طراحی سازه های مدل شده ..... ۸۵

۵- ۴- تحلیل استاتیکی غیر خطی مدل ها ..... ۸۵

۵- ۵- محاسبه سختی الاستیک سازه ..... ۸۶

۵- ۶- محاسبه شکل پذیری سازه ..... ۸۶

۵- ۷- طراحی قاب خمشی یک طبقه و سه دهانه ..... ۸۷

۵- ۷- ۱- طراحی قاب در حالتی که زانو موازی قطر قاب قرار گرفته است ..... ۸۷

۵- ۷- ۱-۱- تاثیر افزودن زانو بر روی سختی الاستیک و شکل پذیری قاب خمشی مقاوم سازی شده ..... ۸۸

۵- ۷- ۱-۲- تاثیر افزایش سطح مقطع زانو بر روی سختی الاستیک و شکل پذیری قاب خمشی مقاوم سازی شده ..... ۹۲

۵- ۷- ۲- تاثیر زاویه زانویی نسبت به ستون در سختی و شکل پذیری قاب ..... ۹۶

۵- ۸- طراحی قاب خمشی سه، پنج و هفت طبقه با سه دهانه ..... ۱۰۲

۵- ۸- ۱- طراحی قاب در حالتی که زانو موازی قطر قاب قرار گرفته است ..... ۱۰۲

# فهرست مطالب


۵- ۸- ۱-۱- تاثیر افزودن زانو بر روی سختی الاستیک و شکل پذیری قاب خمشی مقاوم سازی شده ..... ۱۰۲

۵- ۸- ۱-۲- تاثیر افزایش سطح مقطع زانو بر روی سختی الاستیک و شکل پذیری قاب خمشی مقاوم سازی شده ..... ۱۱۳

۵- ۸- ۲- تاثیر زاویه زانویی نسبت به ستون در سختی و شکل پذیری قاب ..... ۱۲۳

۵-۹- تاثیر زانویی بر روی برش پایه و تغییر مکان نقطه عملکرد قاب خمشی مقاوم سازی شده ..... ۱۳۳

۵-۱۰- طراحی قاب خمشی ده طبقه با سه دهانه ..... ۱۳۹

فصل ششم: تعیین ضریب رفتار سیستم قاب خمشی مقاوم سازی شده با المان زانویی

۶-۱- مقدمه ..... ۱۴۶

۶-۲- مشخصات مدل های تحلیلی مورد استفاده ..... ۱۴۶

۶-۳- تعیین ضریب رفتار مدل ها ..... ۱۴۶

فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۷-۱- نتیجه گیری ..... ۱۵۲

۷-۲- پیشنهادات ..... ۱۵۵

پیوست ۱: نمونه هایی از تشکیل مفصل های پلاستیک در اعضا و منحنی های طیف ظرفیت ..... ۱۵۷

فهرست مراجع ..... ۱۶۰

# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱- مقدمه

کشور ایران به دلیل قرارگیری بر روی کمر بند زلزله خیز آلپ- هیمالیا جزءکشورهای زلزله خیزجهان به شمار می رود. از این رو اهمیت استفاده از سیستمهای سازه ای مقاوم و اقتصادی که رفتار لرزه ای مناسبی را در هنگام وقوع زلزله از خود نشان دهند، کاملاً احساس می شود.

امروزه فلسفه اصلی آیین نامه های طرح لرزه ای سازه ها، جلوگیری از تلفات جانی، کنترل خسارت و طرح اقتصادی می باشد. بدین منظور دستیابی مناسب به سه عامل سازه ای مقاومت، سختی و شکل پذیری در طراحی سازه ها مورد نظر می باشد. سیستم هایی که سه پارامتر سازه ای فوق در آنها بخوبی تأمین شود، می توانند از پتانسیل کافی برای تحمل بارهای جانبی برخوردار باشند.

فلسفه طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله شامل سه بخش زیر است [۱۵]:

- در یک زلزله با شدت کم سازه ها باید سختی جانبی کافی را برای کنترل جابجایی نسبی بین طبقات داشته باشند ، به طوری که خسارتی به عناصر سازه ای و غیر سازه ای وارد نشود .
- در یک زلزله متوسط مقداری خسارت به عناصر غیر سازه ای مجاز است ولی اعضای سازه ای باید مقاومت کافی برای حفظ حالت خطی خود داشته باشند و خسارتی به آنها وارد نشود .

- در یک زلزله شدید سازه باید شکل پذیری کافی برای جلوگیری از انهدام را داشته و بازسازی آن ساده باشد.

هر یک از سیستمهای سازه ای متداول در فرایند مقابله با نیروهای جانبی در ناحیه خطی و غیر خطی دارای مزایا و معایبی می باشند که در ذیل مشخصات برخی از آنها تشریح می شود.

## ۱-۲- تعاریف

### ۱-۲-۱- قاب مقاوم خمشی ( MRF ) (Moment Resistant Frame)

این سیستم به خاطر نوع رفتاری که در برابر بارهای جانبی دارد، در بسیاری از سازه های فولادی به کار برده می شود. مهمترین مشخصه آن نحوه اتصال اعضا می باشد به نحوی که اتصالات در قاب مقاوم خمشی دارای چنان سختی می باشند که زاویه میان اعضا تحت اثر بار ، بدون تغییر باقی می ماند . قاب خمشی در مقابل بارهای جانبی ، اساساً به وسیله خمش تیرها و ستون ها واکنش نشان می دهد .

این سیستم در صورت طراحی صحیح به علت تشکیل مفاصل پلاستیک در انتهای تیرها ، دارای ظرفیت بالای جذب انرژی می باشد و شکل پذیری آن یکی از علل اصلی استفاده از این سیستم است . به طور کلی می توان گفت قاب خمشی از نظر سختی رفتار مناسبی نداشته آن چنان که برای جوابگویی به نیازهای تغییر شکل نسبی نیاز به مقاطع بزرگ و پر هزینه پیدا می کند. مزایای عمده این سیستم عبارتند از :

- فواصل بین ستونها به صورت آزاد در اختیار عملکرد معماری است .
- قاب های خمشی به محض اجرا قابلیت تحمل نیروی جانبی را دارند .
- قابلیت شکل پذیری و استهلاک انرژی بالایی دارند .
- سیستم مقاوم در برابر زلزله در همه قسمت های سازه پخش شده و در یکجا متمرکز نمی باشد .

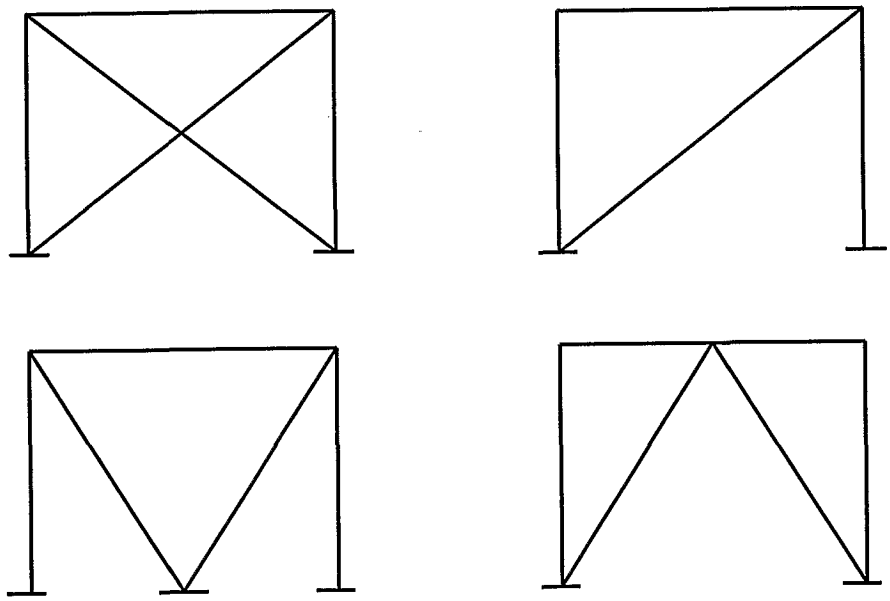
معایب اصلی قاب خمشی به شرح ذیل است :

- مشکل عمده گیردار کردن اتصال در این سیستم وجود دارد .
- از سیستم های دیگر به طور معمول هزینه بیشتری دارد .
- مقطع ستونها معمولاً بسیار بزرگ بوده و جای زیادی می گیرند که در این صورت مزیت عمده سازه فولادی نسبت به بتنی که جای گیری کم اعضا می باشد خدشه دار می شود .
- به علت سختی جانبی کم تغییر مکان افقی زیادی در مقابل نیروهای جانبی از خود نشان داده و ممکن است عناصر غیر سازه ای آن در معرض آسیب قرار گیرند .

### ۱-۲-۲- قاب بادبندی شده هم محور (CBF) (Concentrically Braced Frame)

قاب هایی هستند که در آنها محور بادبندها، تقریباً از محل تقاطع محورهای تیر و ستون عبور می نماید و در بعضی از فرم های این نوع مهار بندی، محور دو بادبند در یک نقطه مشترک بر روی تیر با هم تلاقی می کنند. نمونه هایی از این سیستم، در شکل (۱-۱) نشان داده شده است.

سیستم متداول بادبندی هم محور (CBF) دارای سختی جانبی بسیار بالایی بوده و به علت اینکه نیروهای جانبی توسط اعضا به صورت محوری منتقل می شوند، سیستمی اقتصادی می باشد. ولی این سیستم به دلیل کمانش باد بندها در فشار از شکل پذیری و قابلیت استهلاک انرژی مناسبی برخوردار نمی باشد. مهاربندی هم محور علیرغم سهولت طراحی و اجرا دارای اشکالاتی هم می باشد که از جمله مهمترین آنها محدودیت معماری در مورد درب ها و پنجره ها می باشد .

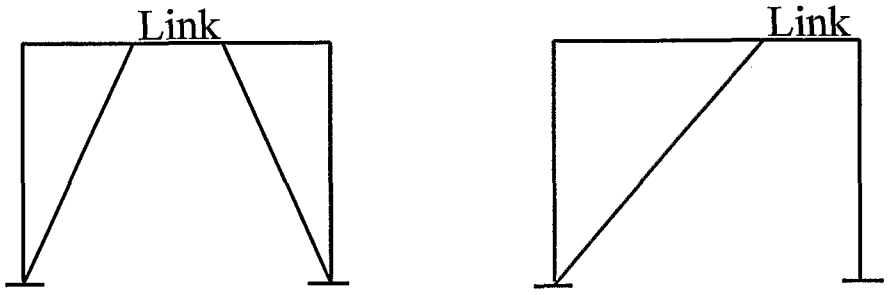


شکل ۱-۱: نمونه هایی از سیستم باد بندی هم محور

### ۱-۲-۳- قاب باد بندی شده خارج از محور (EBF) (Eccentric Braced Frame)

در این قاب ها، به جای برخورد بادبند به محل اتصال تیر و ستون یا تقاطع محورهای دو بادبند در یک نقطه، تعمداً با ایجاد انحرافی، بادبند به تیر متصل می شود. قسمتی از تیر که بین بادبند و ستون

و یا بین دو بادبند قرار می گیرد و به تیر پیوند (Link) معروف است، به صورت یک فیوز شکل پذیری عمل نموده و در حالیکه از وارد شدن نیروی بیش از حد به بادبندها و نیز کمانش آنها جلو گیری می کند، خود با تغییر شکلهای پلاستیک در مود خمشی یا برشی مقدار زیادی انرژی وارد شده از زلزله را مستهلک می نماید. نمونه هایی از قاب های خارج از محور در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.




شکل ۱-۲: نمونه هایی از سیستم بادبندی خارج از محور

سیستم بادبندی خارج از محور که در ژاپن توسط فوجیموتو و تاناباشی معرفی شد [۱] و سپس توسط پوپوف و همکارانش در دانشگاه برکلی کالیفرنیا مورد تحقیق و بررسی فراوان قرار گرفت، علاوه بر دارا بودن سختی بالا در ناحیه خطی، در صورت رعایت ضوابط ویژه، از شکل پذیری مناسبی نیز برخوردار بوده و سیستمی اقتصادی به شمار می رود. البته علیرغم محاسن زیاد این سیستم، معایبی نیز بر آن وارد بوده که از جمله آنها می توان به اعوجاج بیش از حد سقف در اثر تغییر شکلهای زیاد تیرهای پیوند اشاره نمود. همچنین به دلیل اینکه تیرهای پیوند به عنوان المانهای شکل پذیر و مستهلک کننده انرژی سیستم ، بخشی از اعضای اصلی سازه ( تیرها )

می باشند، بنابراین امکان تعویض سریع و کم هزینه این اعضا به منظور بهره برداری مجدد از سازه وجود ندارد.

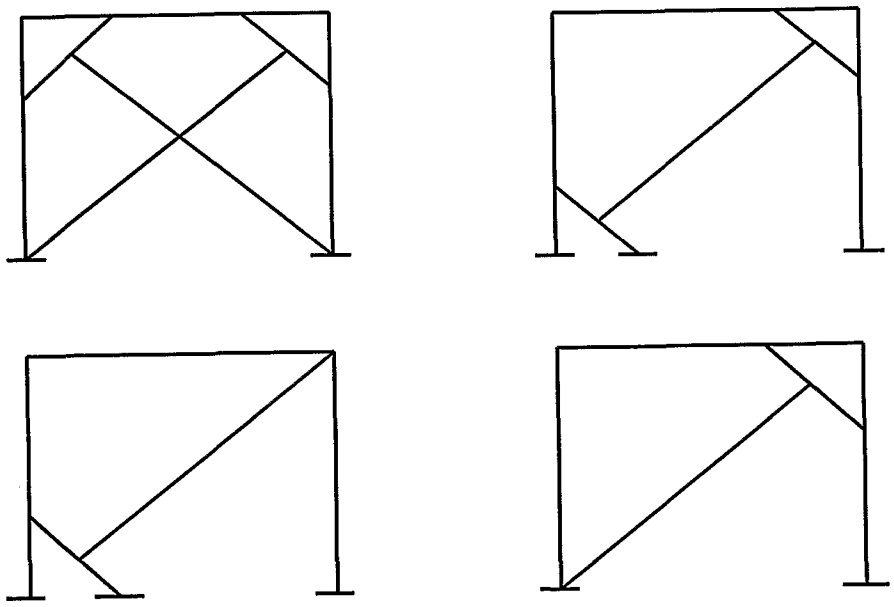
تفکر اصلی در ابداع مهاربندی های واگرا، ایجاد تیر رابط کوتاه جهت وقوع تسلیم برشی بوده است. لیکن گاهی اوقات برای ایجاد فضاهای معماری باز، چاره ای جز استفاده از تیرهای رابط بلند وجود ندارد . در این حالات، انرژی به واسطه تشکیل مفاصل پلاستیک خمشی در دو انتهای تیر رابط مستهلک خواهد شد . عملکرد ضعیف تر تیر های رابط بلند نسبت به رابط های کوتاه با آزمایشات متعدد نشان داده شده است، به خصوص در مواردی که تیر رابط در مجاورت اتصال تیر به ستون قرار دارد [۴] .

### ۱-۲-٤- قاب بادبندی شده زانویی (KBF)

سیستم دیگری که اخیرا معرفی شده و علاوه بر دارا بودن محاسن سیستم بادبندی خارج از محور، فاقد مشکلات مذکور می باشد، سیستم بادبندی زانویی (KBF) است. این سیستم که توسط بالندرا و همکارانش در دانشگاه سنگاپور معرفی شد[۵]، در حقیقت اصلاح شده سیستم دیگری با عنوان سیستم بادبندی زانویی تعویض پذیر (DKB) بودکه قبلا توسط اچوا ارائه گردیده بود[۱۵].

در سیستم بادبندی زانویی، انتهای بادبندهای قطری به جای اتصال به محل تقاطع تیر و ستون به یک المان مایل که به تیر و ستون یا ستون و تکیه گاه وصل شده اتصال می یابد که به عضو

زانویی معروف می باشد. در این قاب ها، علاوه بر اعضای قطری که عموماً سختی سیستم را در بارهای جانبی کم و متوسط تأمین می کنند، یک سری اعضای زانویی هم وجود دارد که به عنوان المانهای مستهلک کننده انرژی، نقش فیوزهای شکل پذیری را در این سیستم ایفا می کنند. به عبارت دیگر اعضای زانویی در سیستم KBF همان نقش تیرهای پیوند را که در سیستم EBF وجود داشت، بر عهده دارند. با این مزیت که تعویض آنها جهت بهره برداری مجدد از سازه پس از یک زلزله شدید ساده تر و عملی تر می باشد. نمونه ای از این قابها در شکل (۱-۳) آمده است[۱۵].



شکل ۱-۳: نمونه هایی از سیستم بادبندی زانویی

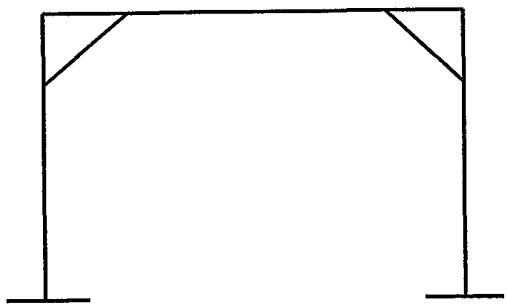
## ۱-۳- اهمیت و ضرورت تحقیق

بعد از اینکه مشکلات موجود در سیستمهای متعارف مقاوم در برابر زلزله شناخته شد باید به دنبال

سیستم شکل پذیری بود که بتوان با اعمال تغییرات جزئی و کم هزینه در آن سبب افزایش مقاومت و بهبود عملکرد لرزه ای آن در برابر زمین لرزه های شدید شد . لذا در این تحقیق سیستم قاب خمشی فولادی را انتخاب نموده تا با افزودن المانهای زانویی در محل اتصالات تیر وستون اقدام به مقاوم سازی و بهبود عملکرد لرزه ای آن نموده که بر اساس اطلاعات موجود تاکنون مطالعاتی در این زمینه توسط محققان صورت نگرفته است.

## ۱-۳-۱- قاب خمشی فولادی تقویت شده با المان زانویی

طرح کلی این نوع قابها که با افزودن المانهای زانویی در محل اتصالات تیر- ستون مقاوم سازی شده اند در شکل۱-۴، نشان داده شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود در این سیستم دو انتهای عضو زانویی می تواند به تیر و ستون به صورت دو سر مفصل و یا دو سر گیردار متصل شود.این المان ها باعث تقویت اتصالات و افزایش سختی وتغییر در شکل پذیری قاب خمشی موجود خواهند شد.لازم به ذکر است که تعویض المانهای زانویی جهت بهره برداری مجدد از سازه پس از یک زلزله شدید، به سادگی امکان پذیر می باشد.



شکل ۱-۴ : نمونه ای از سیستم قاب خمشی فولادی تقویت شده با المان زانویی