



# PROF SASAN MOHASEB

دکتر ساسان محاسب  
دکترای عمران، پلی تکنیک صنعتی زوریخ (ETH)، سوئیس

فوق لیسانس مهندسی زلزله، دانشگاه استنفورد (Stanford) آمریکا  
استاد افتخاری دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران



## تجربه استفاده از فناوری های نوین در طراحی لرزه ای بلند ترین ساختمان سوئیس



# سیلوی موجود

- سیلوی موجود به ارتفاع ۳۸ متر، واقع در مرکز زوریک، سوئیس
- دارای ۵۰ سال قدمت





# سیلوی موجود

## مشخصات خاک

- سازه در کنار رودخانه قرار گرفته است
- نوع خاک: تیپ ۴ (آیین نامه ۲۸۰۰ ایران)
- سرعت موج برشی:  $100 \frac{m}{s}$
- سنگ بستر در فاصله ۴۰ متری از سطح زمین





# سیلوی موجود

- سیلو بر روی پی به ارتفاع ۰.۶ متر و در بخش‌هایی ۱.۴۴ متر قرار دارد.





## سیلوی جدید بلند ترین و سنگین ترن سازه سوئیس

- سیلوی جدید به ارتفاع ۱۲۸ متر، در کنار (چسبیده به) سیلوی قدیمی در نظر گرفته شده است.
- وزن سیلوی جدید با در نظر گرفتن دانه‌های غلات به ۱۰۰۰۰۰ تن می‌رسد.
- این سیلو بلندترین و در عین حال سنگین‌ترین سازه کشور سوئیس است.
- زمان ساخت: ۲ سال (2013-2015)
- هزینه ساخت: 40 میلیون دلار آمریکا



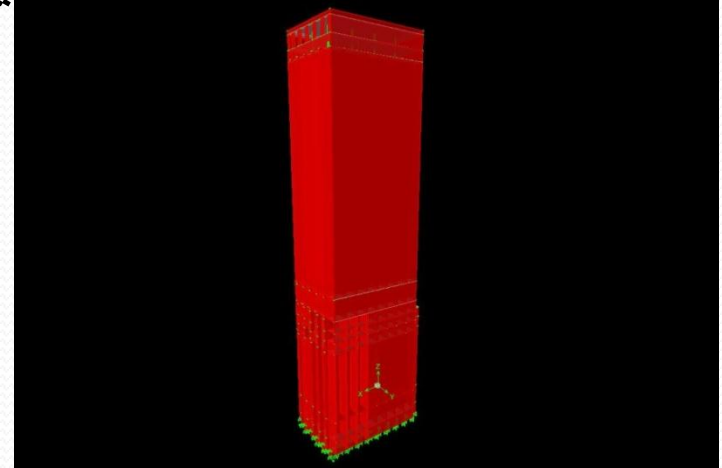


## مدل سازی

- مدل سازی سه بعدی سیلوی جدید و سیلوی قدیمی موجود در نرم افزارهای ADINA و ETABS
- به خاطر اهمیت این سازه، ۲ مدل مختلف توسط ۲ گروه طراحی مختلف ساخته شده و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است.



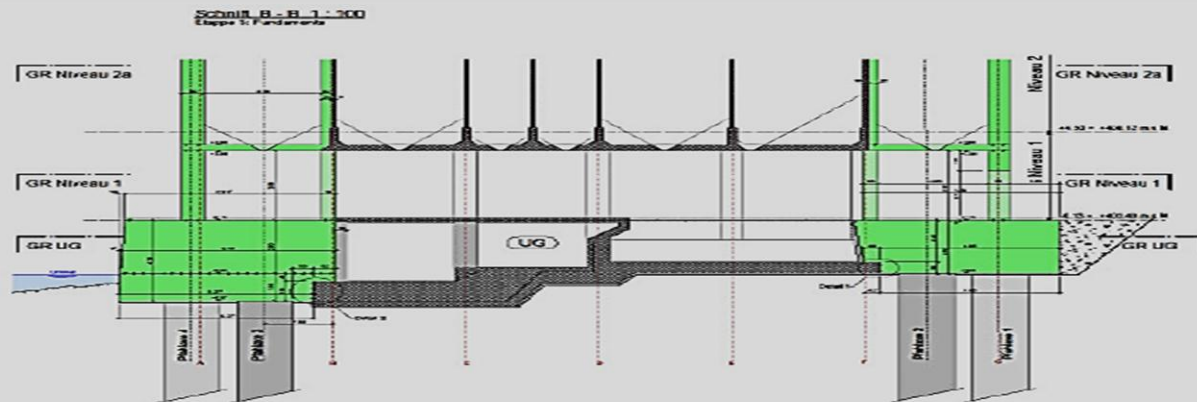
مدل سه بعدی در نرم افزار ADINA



مدل سه بعدی در نرم افزار ETABS

# مدل سازی جزئیات پی

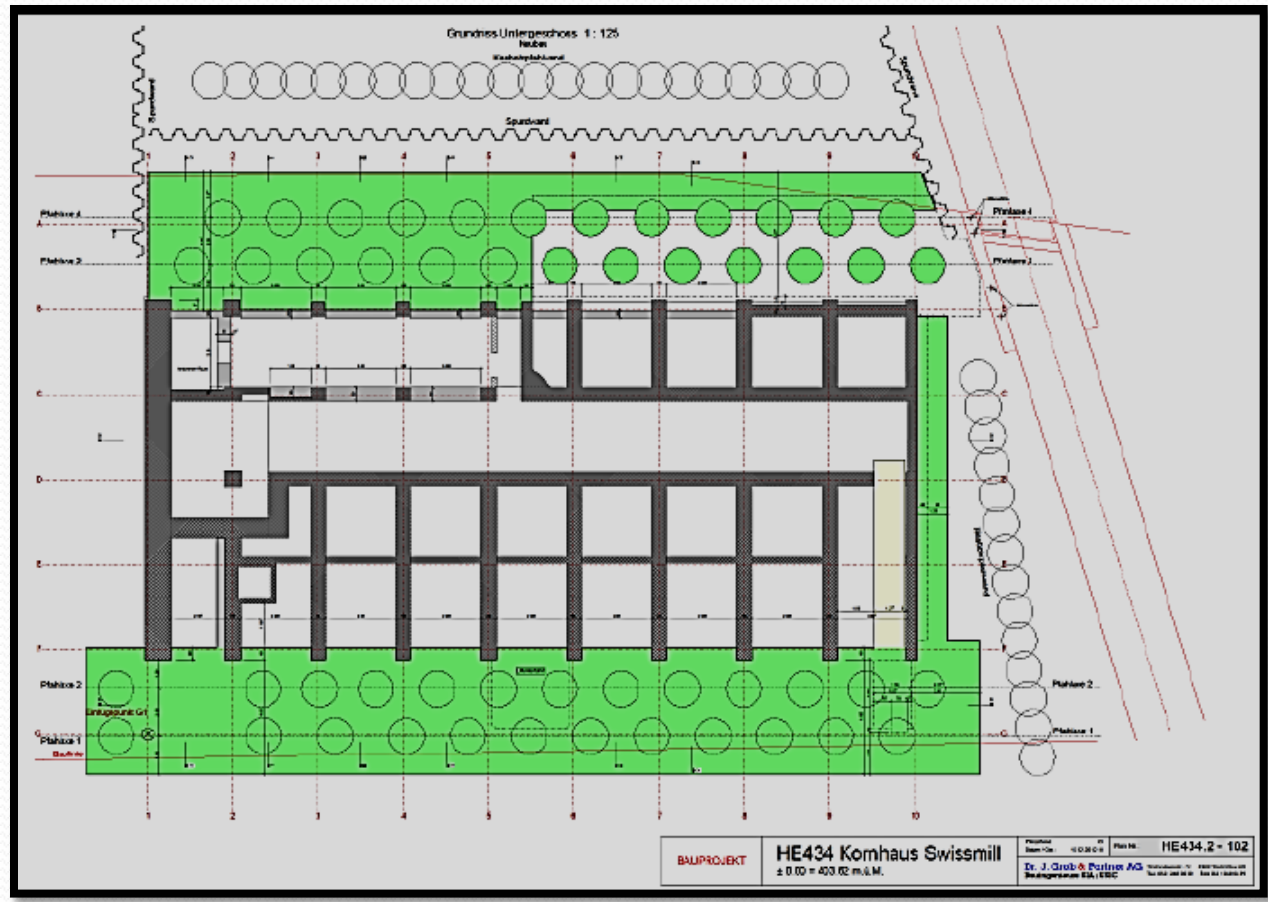
- سیلوی قدیمی بر روی پی بتنی (در عکس به رنگ خاکستری) و سیلوی جدید بر روی ۵۰ شمع به علاوه دال بتنی ۲.۸ متری (در عکس به رنگ سبز) قرار گرفته‌اند.  
ارتفاع هر شمع ۴۰ متر و قطر آن ۱.۵ متر است.





# مدل سازی جزئیات پی

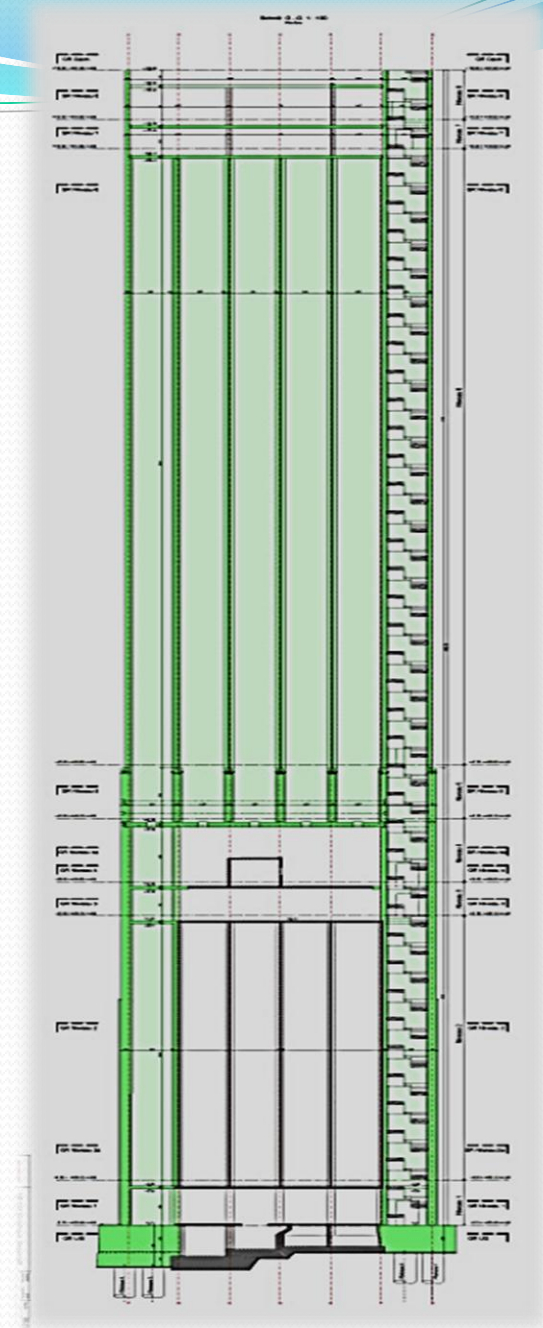
• جزئیات و محل قرارگیری شمع‌ها





## مدل سازی

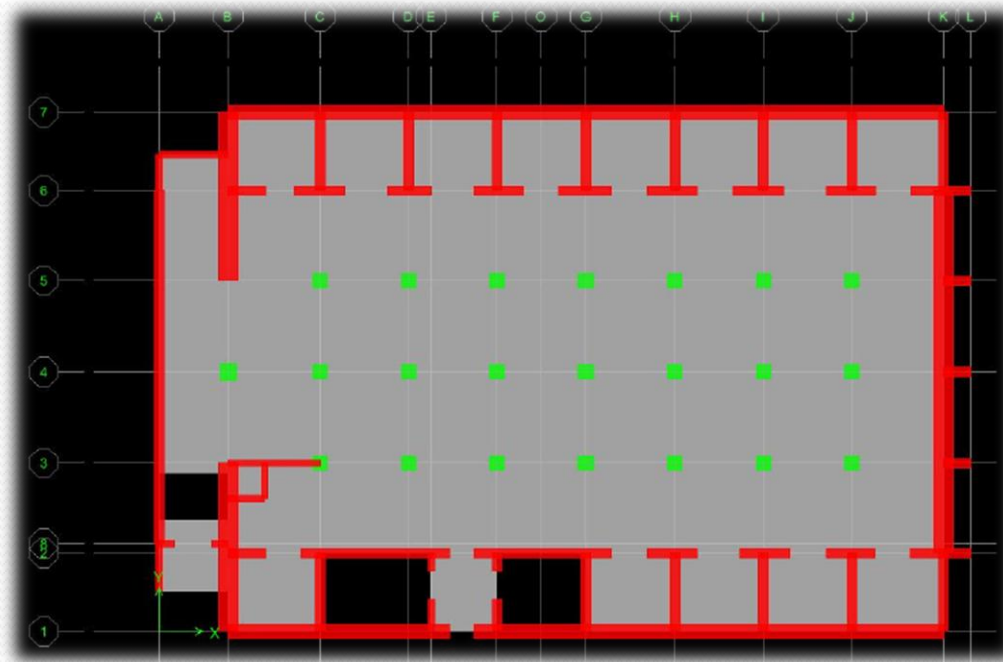
- مقطع عرضی سیلوی جدید ( به رنگ سبز )  
و سیلوی قدیمی ( به رنگ خاکستری )





## مدل سازی

- در طبقه اول به خاطر بازشوها با مشکل طبقه نرم مواجه هستیم. بنابراین از بتن الیافی با عملکرد بالا (HPFC) و یا نانو بتن برای تقویت ستون‌های این طبقه استفاده می‌کنیم.

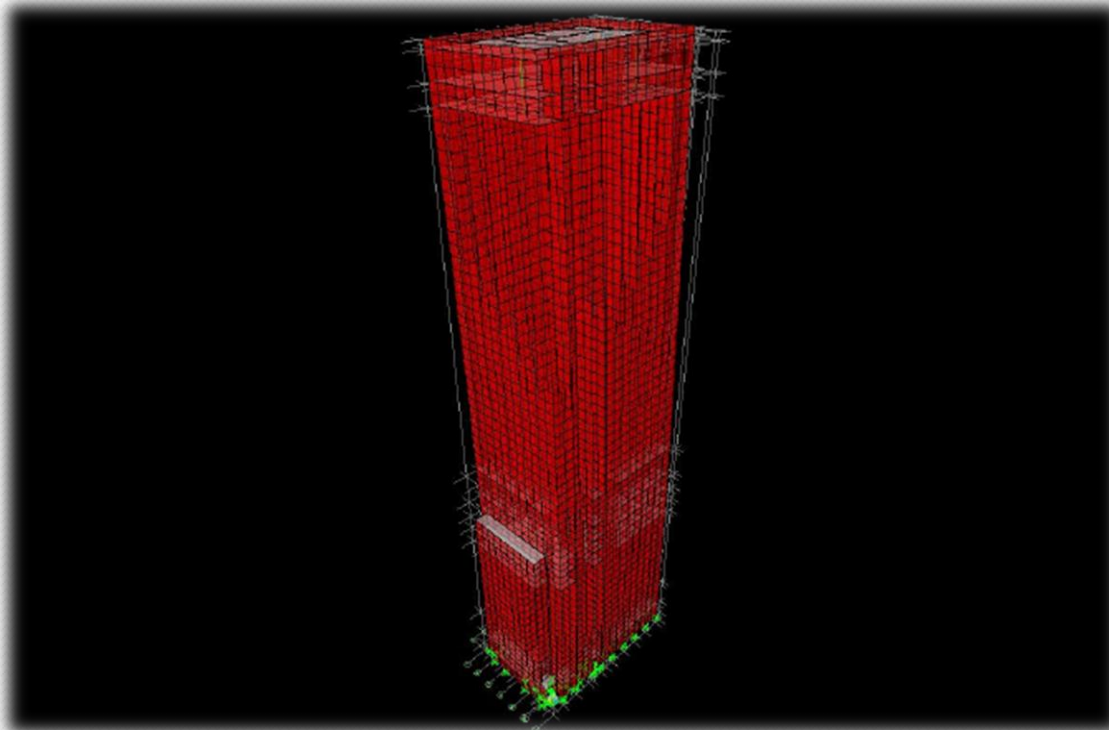


مقطع سیلو در طبقه اول



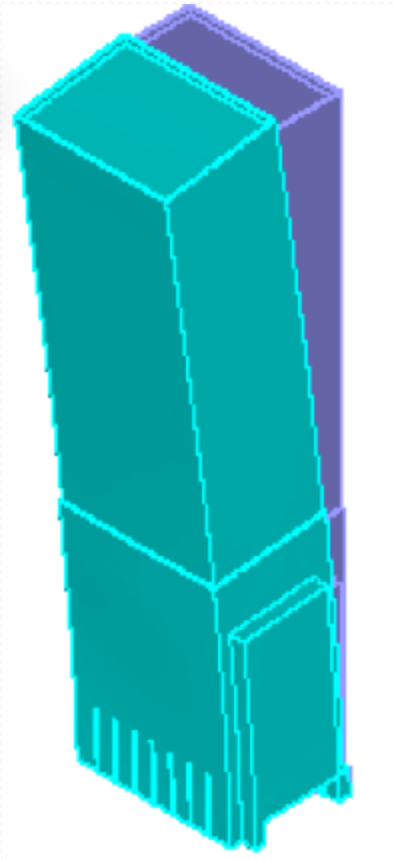
## مدل سازی

- ساخت مدل اجزای محدود برج (Finite Elements Model)
- برای بررسی پاسخ‌های سازه و پی از مدل‌های پیشرفته و ۳ بعدی المان محدودی شامل ۳۰۰۰۰۰ المان استفاده شده است.





## مدل سازی



- آنالیز دینامیکی سازه  
فرکانس مود اول برابر  $0.6 \text{ Hz}$

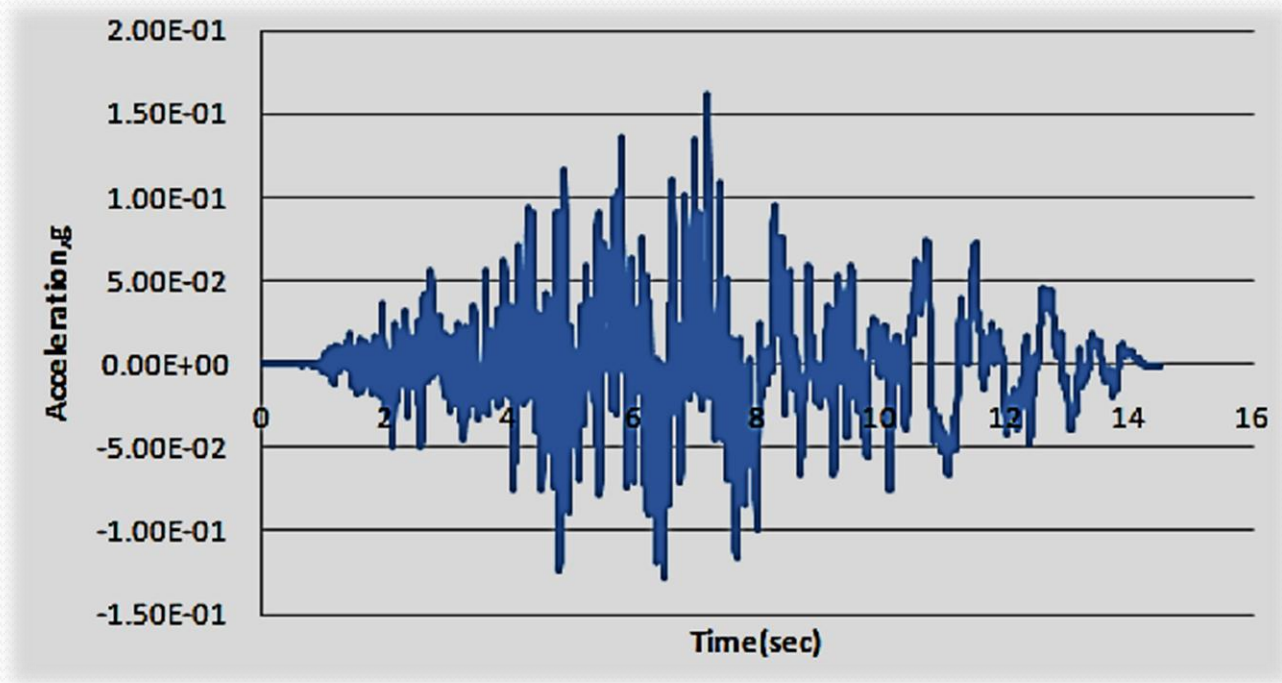
فرکانس مود اول، مدل ADINA



# مدل سازی

• زلزله طراحی

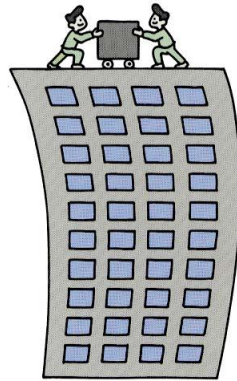
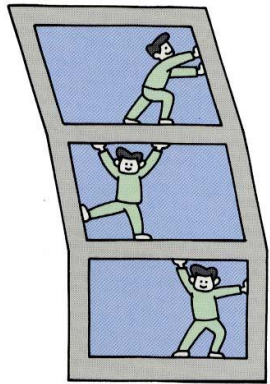
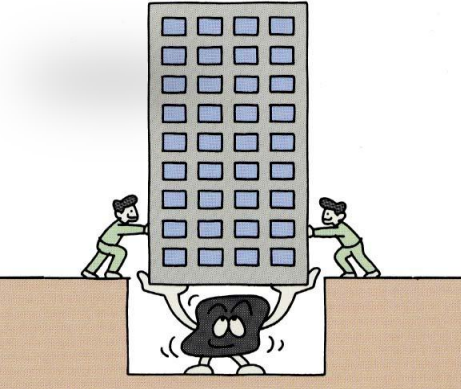
زلزله Duzce ترکیه با  $PGA=0.25g$



# فناوری‌های بررسی شده



## فناوری های بررسی شده



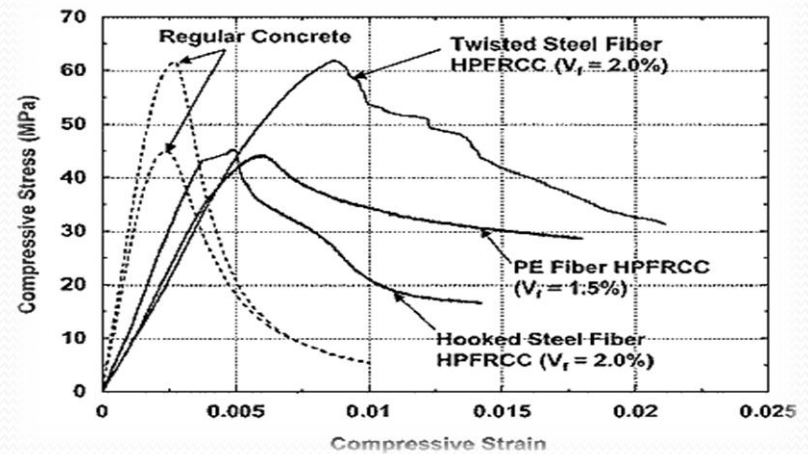
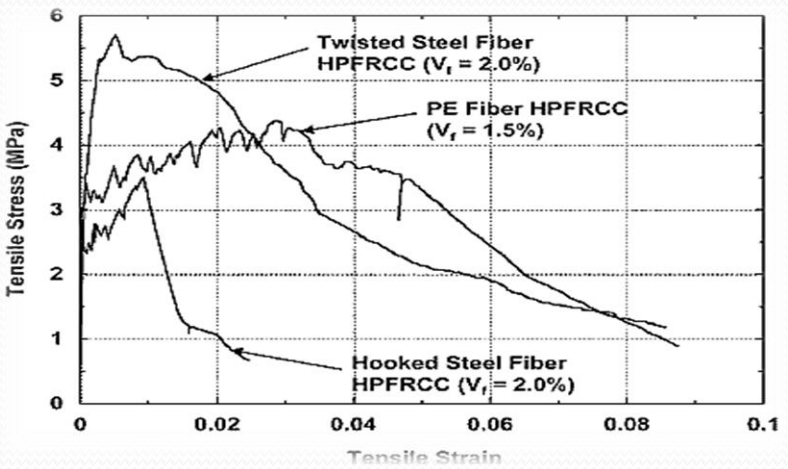
- بتن الیافی و نانو بتن
- دمپر (میراگر) هیدرولیکی
- جدا ساز پی
- آونگ وارونه
- کابل های پیش تنیده CFK



# فناوری های بررسی شده

## بتن الیافی و نانو بتن

- مزایای بتن با عملکرد بالا
  - ❖ قوی تر از بتن معمولی
  - ❖ ریخته گری آسان تر
  - ❖ مقاومت بالا تر در زمان کمتر
  - ❖ کارایی بهبود یافته
  - ❖ افزایش قابل ملاحظه شکل پذیری و مقاومت اعضا بدون استفاده از میلگردهای خمشی اضافی



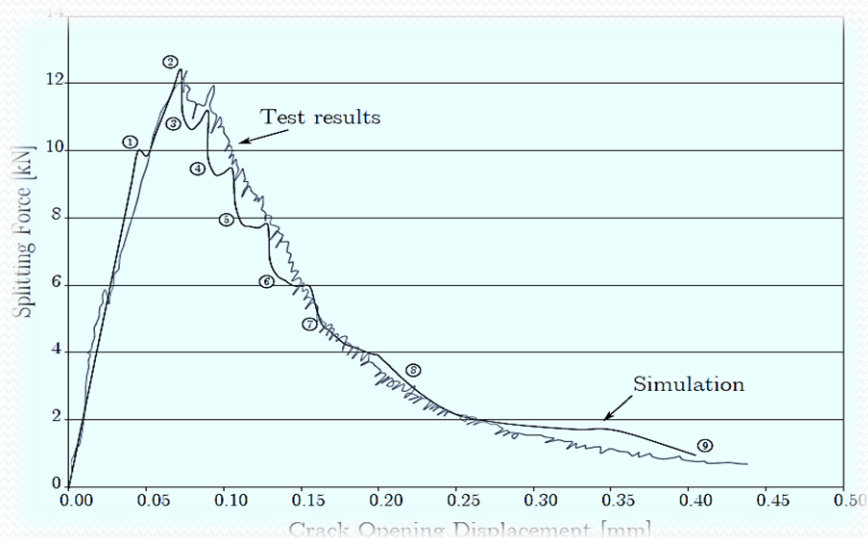
رفتار مکانیکی HPFRC در کشش و فشار



# فناوری های بررسی شده

## بتن الیافی و نانو بتن

- یکی از موانع اصلی استفاده از این مصالح، عدم وجود مدل عددی دقیق برای این مصالح است.
- در سال 2011 دکتر Trueb در رساله ی دوره دکترای دانشگاه ETH سوئیس مدل عددی برای این مصالح ارائه کرد و صحت این مدل را با مقایسه نتایج حدس زده شده با نتایج آزمایشگاهی، بررسی کرد.



تطابق قابل قبول بین نتایج آزمایشگاهی و  
مدل عددی در آزمایش خمش گوه (Wedge Splitting Test)



# فناوری های بررسی شده

## بتن الیافی و نانو بتن

- در آینده ای نزدیک HPFRC انقلابی در عرف مهندسی عمران به وجود خواهد آورد.
- با افزایش مقاومت کششی HPFRC نیاز به استفاده از میلگردهای برشی نیست.
- HPFRC دارای:
  - ❖ مقاومت فشاری، برشی و خمشی بالا
  - ❖ رفتار شکل پذیر
  - ❖ قابلیت جذب انرژی بیشتر
  - ❖ دوام بیشتر و ... می باشد.
- بتن مسلح معمولی در مقایسه با HPFRC زمان بر و دارای جزییات بیشتری است.



فناوری های بررسی شده

## نانو بتن Nano Concrete

- در نانو بتن از ذرات با سایز کمتر از 500 نانومتر استفاده می شود.
- مصالح نانو:
  - ❖ نانو لوله های کربنی (Carbon Nanotubes)
  - ❖ نانو سیلیکا (Nano Silica)
  - ❖ پلی کربوکسیلات (Poly Carboxylates)
  - ❖ نانو رس (Nano Clays)
- و ....



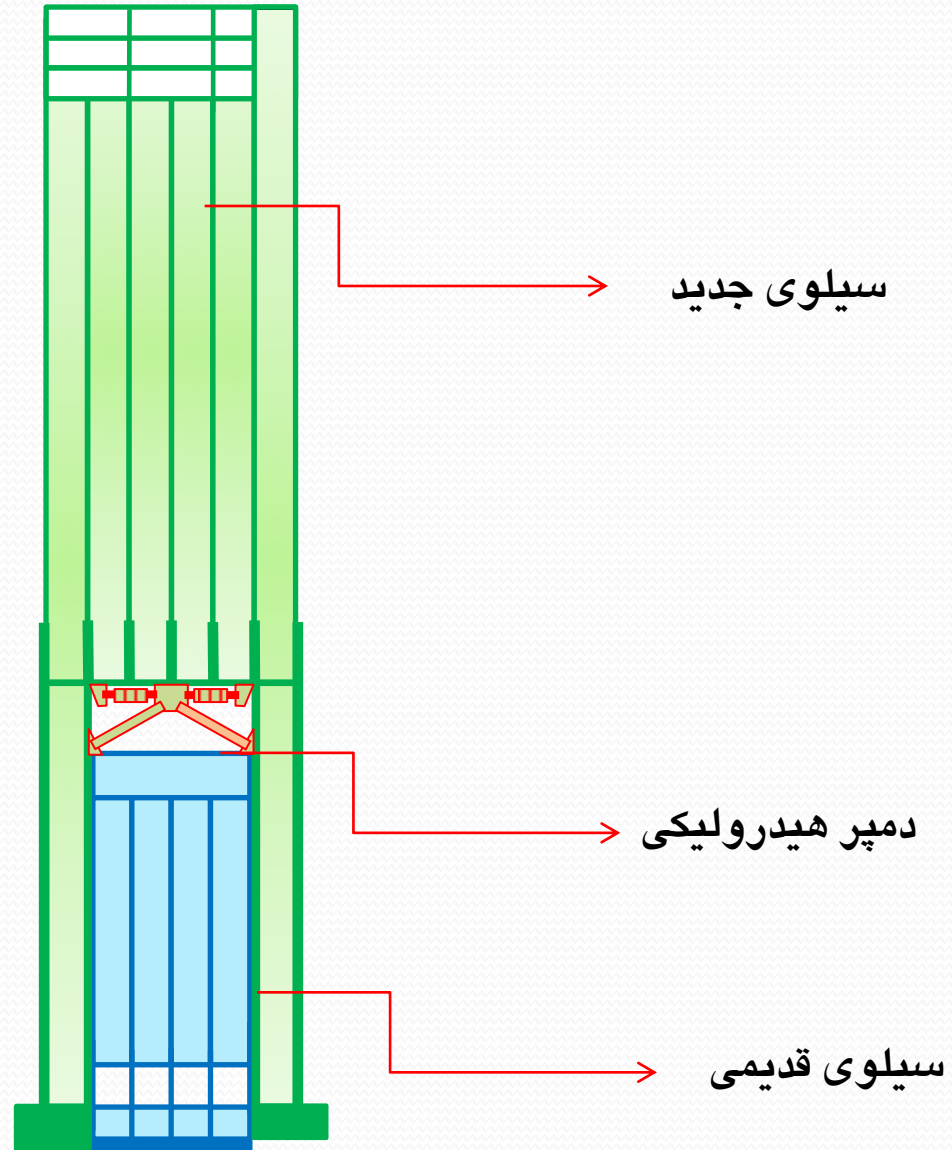
## نانو بتن Nano Concrete

- استفاده از نانو ذرات در بتن:
- ❖ باعث بهبود خصوصیات مکانیکی بتن نظیر، قابلیت جذب انرژی، مقاومت فشاری، کششی، خمشی و برشی بتن می شود
- مقاومت فشاری
- ✓ بتن ۱ روزه: 40 تا 90Mpa
- ✓ بتن ۲۸ روزه: 70 تا 100Mpa
- ❖ فرایند هیدراسیون را شتاب می دهد و زمان گیرش را کم می کند.
- ❖ چسبندگی بهتر ذرات سنگی و خمیر سیمان
- ❖ سازگار با محیط زیست
- ❖ مقرون به صرفه تر
- خوب و یکنواخت پخش شدن نانوذرات در بتن باعث بهبود مقاومت تفکیک (Segregation Resistance) و کارایی بتن می شود.



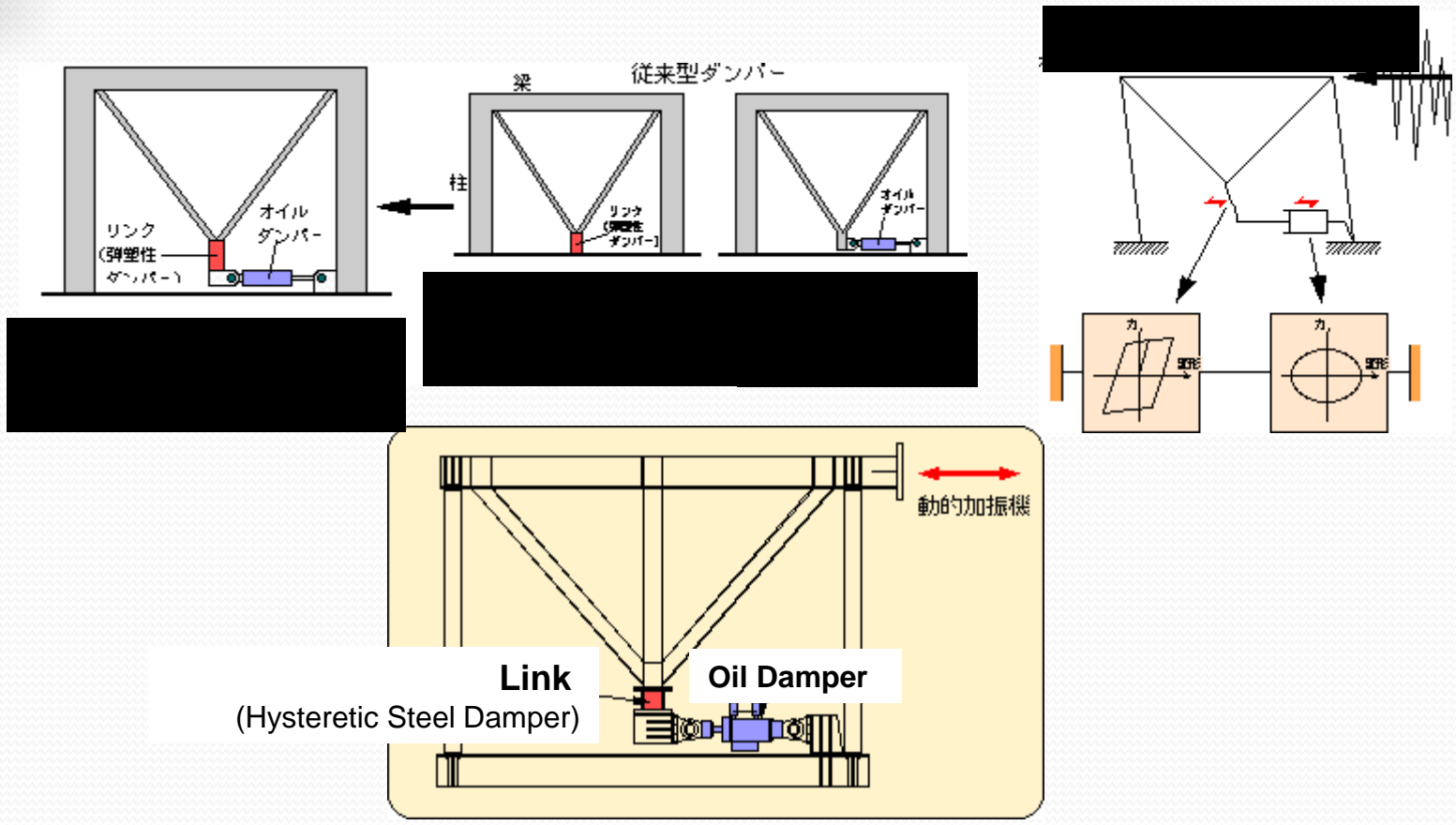
# فناوری های بررسی شده

## دمپر (میراگر) هیدرولیکی





# سیستم دھپر (میراگر) ہیدرولیکی



Hybrid System of Y-type Bracing + Oil Damper



# فناوری های بررسی شده

## دمپر (میراگر) هیدرولیکی

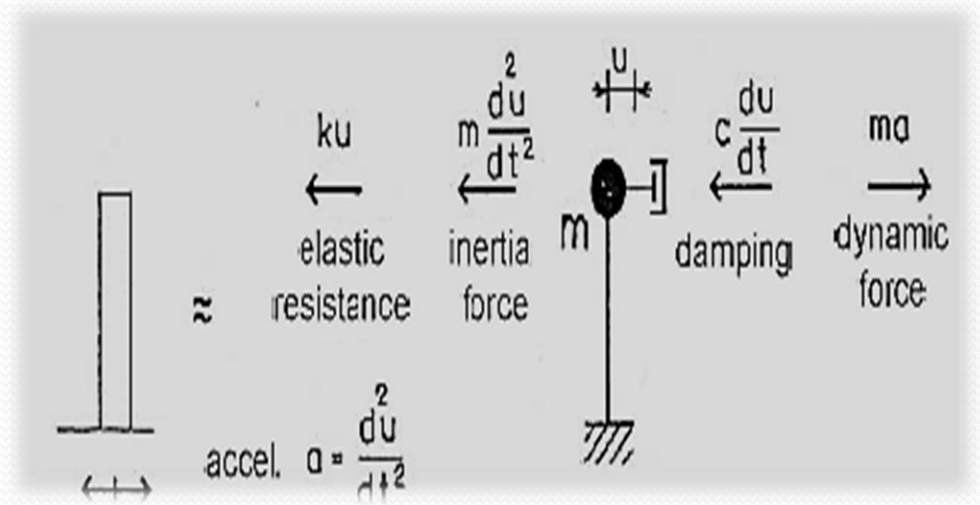
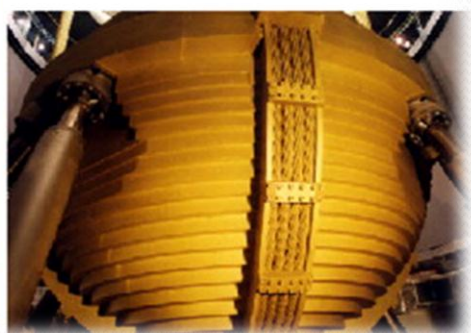
- در پروژه هتل آزادی تهران از ۱۶ عدد دمپر، ساخته شده توسط FIP Industriale استفاده شده است.
- ماکزیم نیروی ایجاد شده در دمپر: ۱۵۰۰ کیلو نیوتن





# آونگ وارونه Inverted Pendulum

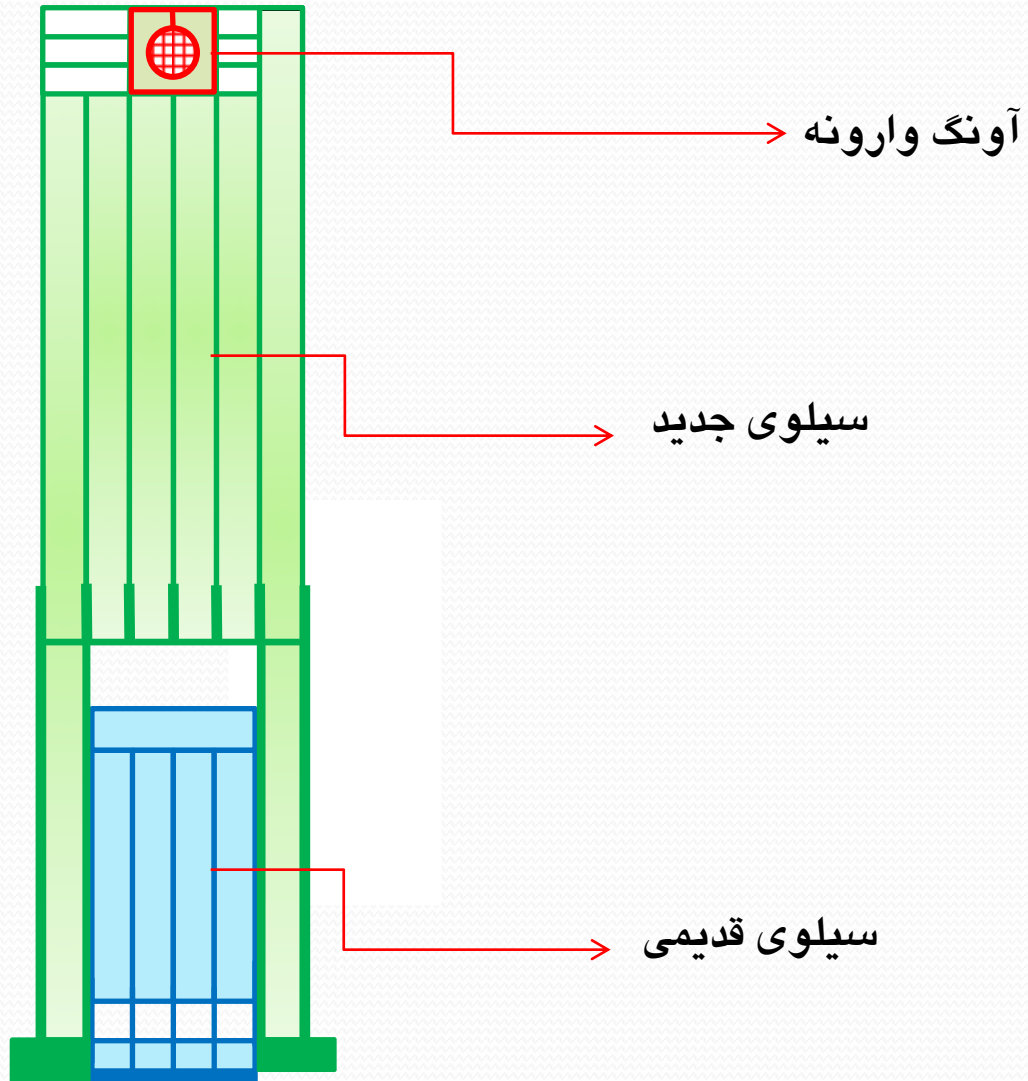
- آونگ وارونه به عنوان یک سیستم مقاوم در برابر نیروی جانبی
- در چندین سازه معروف مانند برج الدبی در امارات و ... از این سیستم استفاده شده است.



مدل آونگ وارونه



# آونگ وارونه Inverted Pendulum



## کابل های پیش تنیده CFK

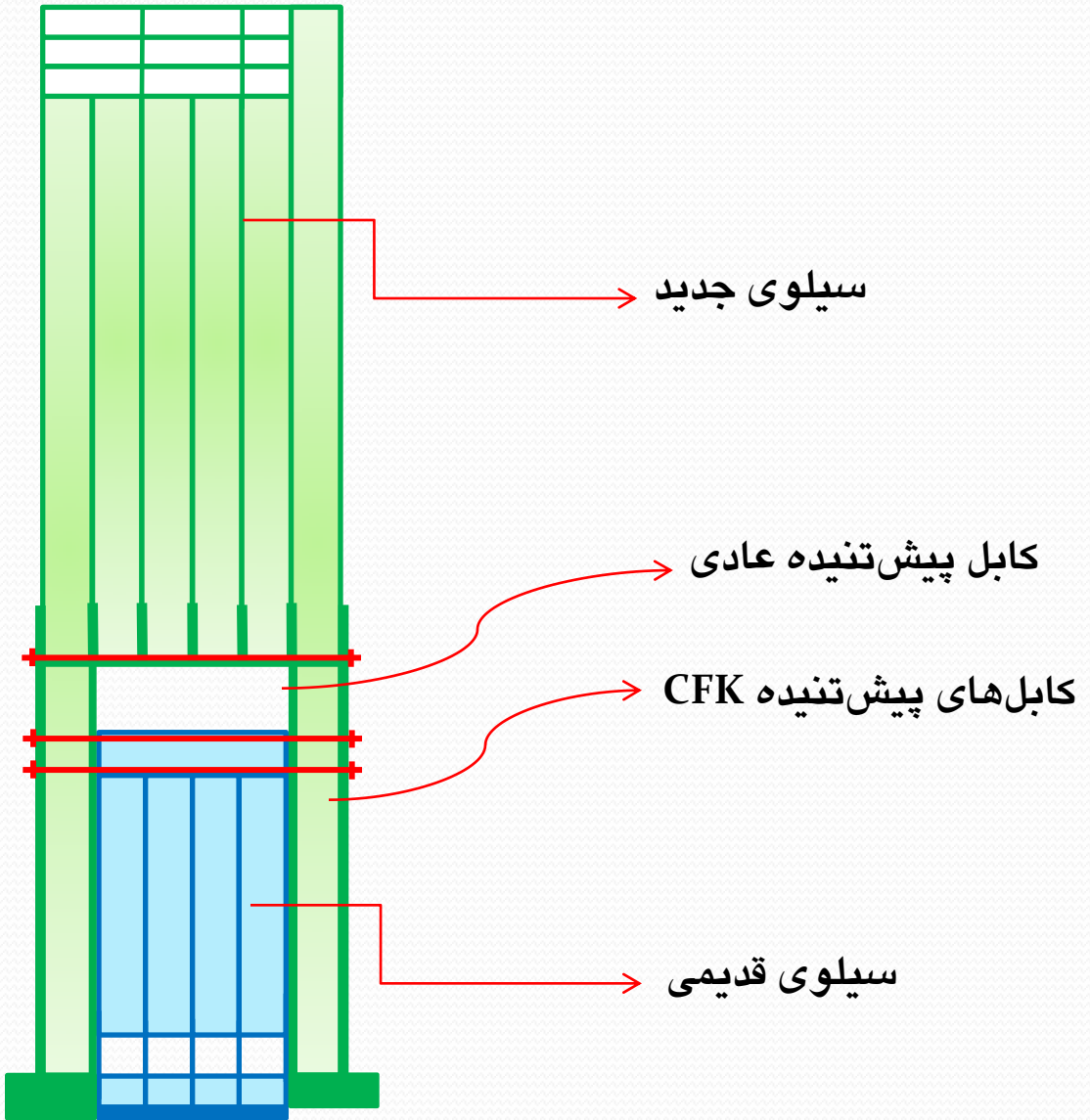
- برای تقویت دیوارهای سیلوی قدیمی، این دیوارها را در سقف توسط کابل های پیش تنیده به دیوارهای سیلوی جدید می دوزیم.
- کابل های CFK از انواع کابل های پیش تنیده است.





# فناوری های بررسی شده

## کابل های پیش تنیده CFK

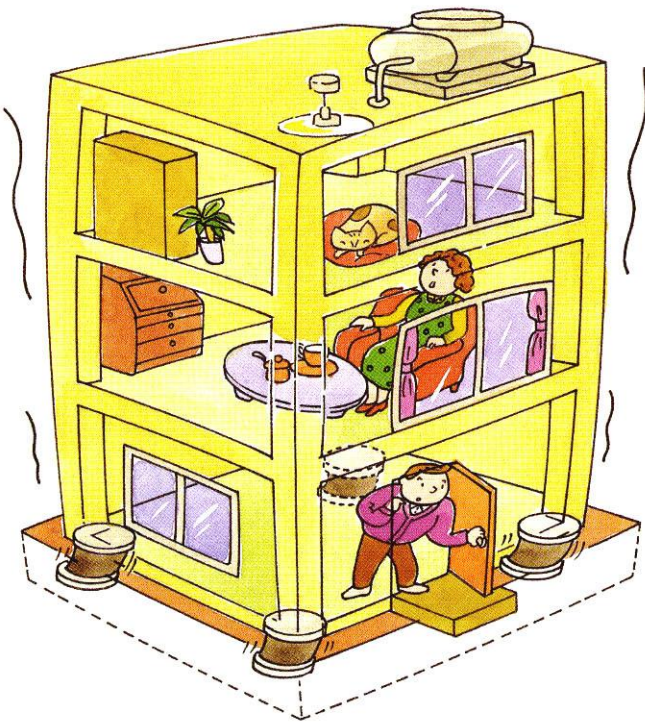




## جداساز پی Base Isolation

- یکی از روش های محافظت سازه در برابر نیروهای زلزله است.
- در این روش سازه از بستر لرزان جدا شده و لرزش ها به سازه منتقل نمی شود.
- از این روش در بسیاری از ساختمان ها مانند تالار شهر لس آنجلس و... استفاده شده است.

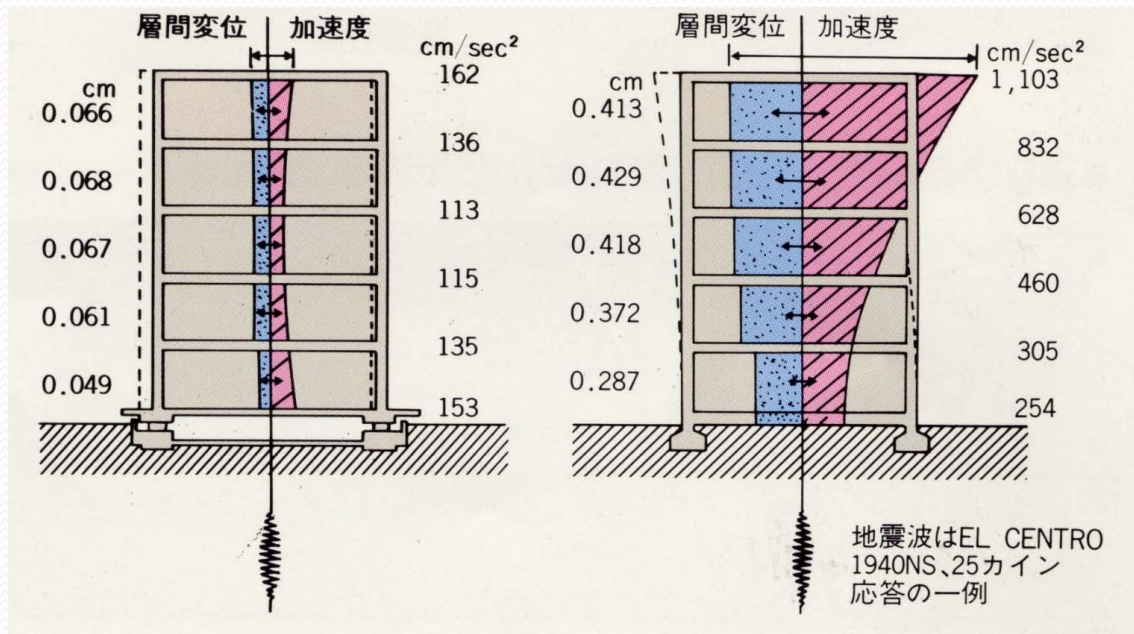
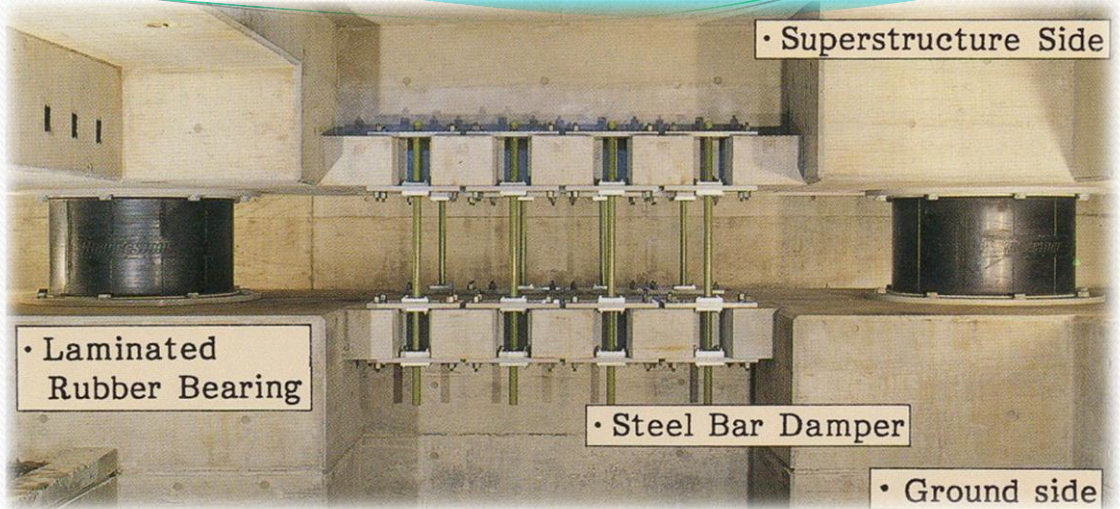
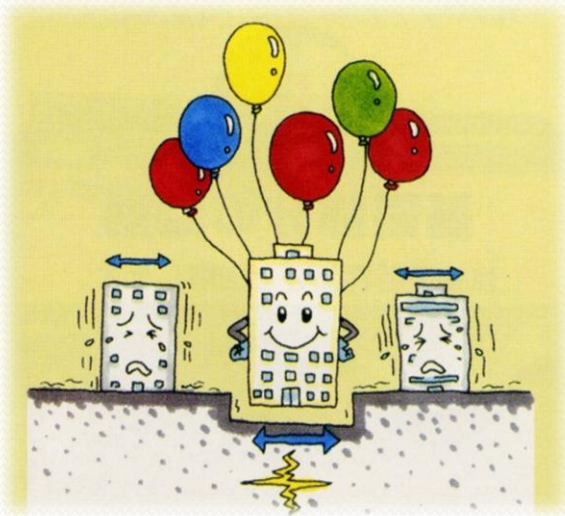


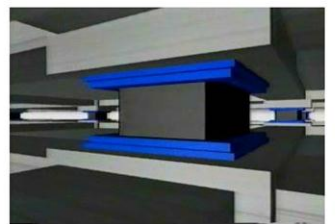
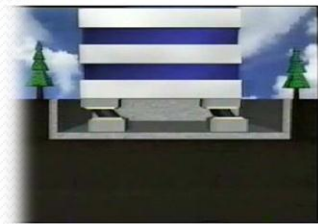
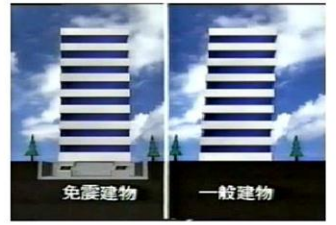
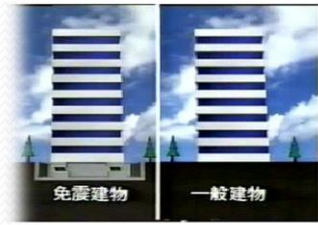
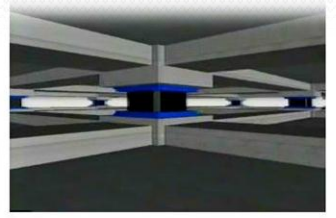
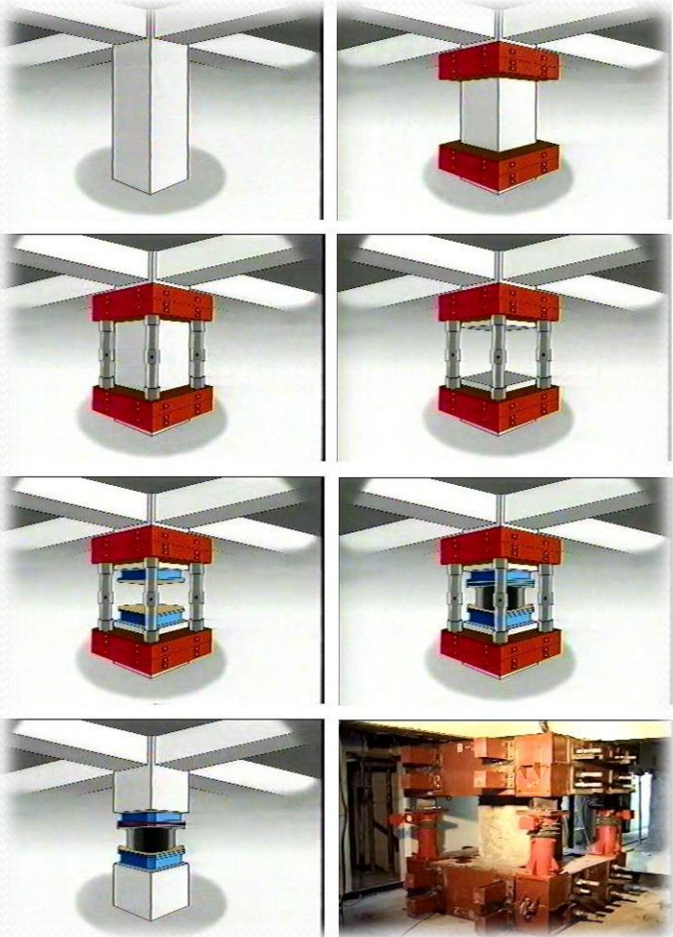


**Building with Seismic Isolation**



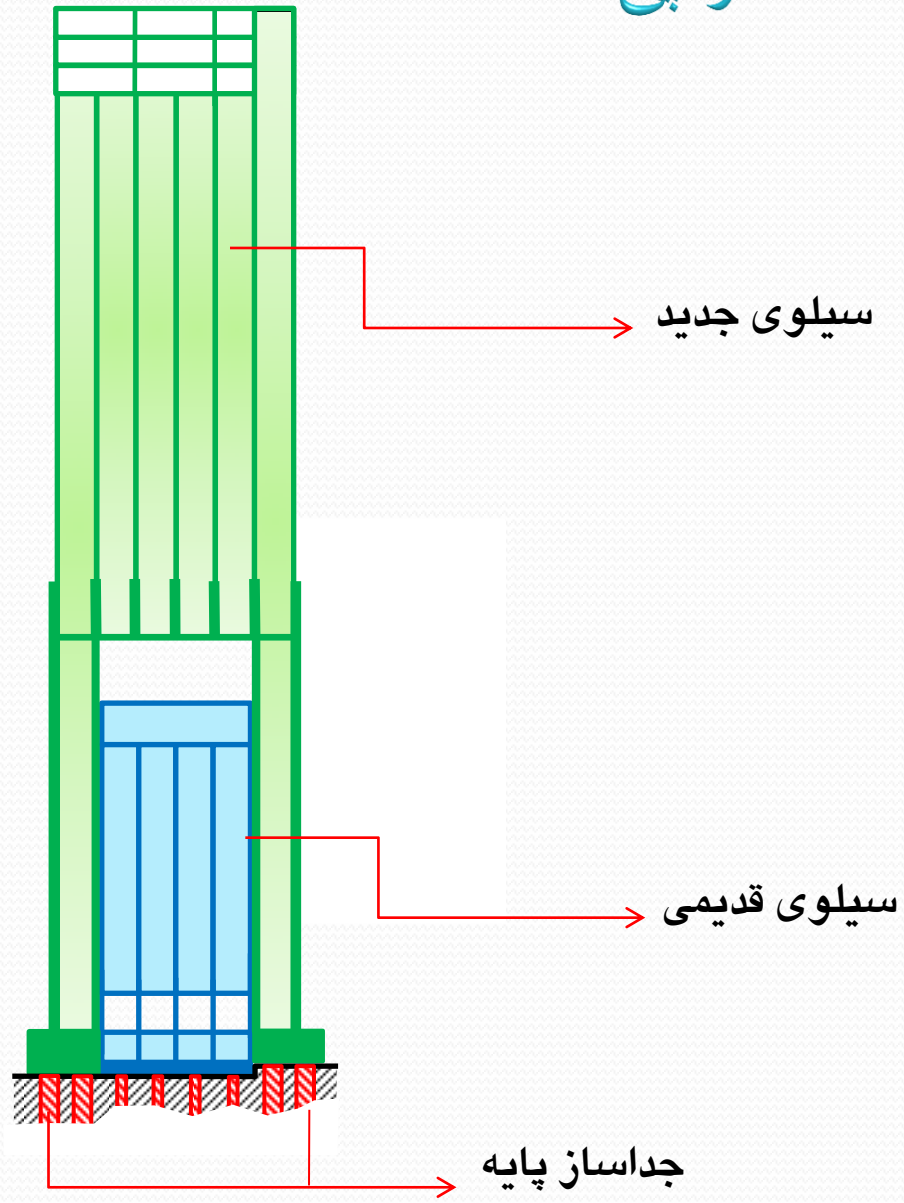
**Common Building**







# جداساز پی Base Isolation





# Technology Management

	بتن الیافی و نانوبتن	جداساز پایه	دمپر	آونگ وارونه	کابل های پیش تنیده
تقلیل نیرو در سازه	○●	++	++	+	○
تقلیل نیرو در پی	○●	++	++	+	○
سهولت اجرا	+	-	-	-	+
محاسبات	++	++	-	-	+



# Technology Management

	بتن الیافی و نانوبتن	جداساز پایه	دمپر	آونگ وارونه	کابل های پیش تنیده
قیمت	++	+	-	-	-
دانش بومی	+	+	+	-	-
توسعه در آینده	+++	++	++	+	+

# کاربرد روش مخروط در مقاومسازی سازه‌ها در برابر زلزله



## مقدمه

- عموماً در تحلیل دینامیکی سازه‌ها از انعطاف‌پذیری پی سازه صرف‌نظر گردیده و برخلاف واقعیت امر، سازه و پی جدا از هم و بدون در نظر گرفتن اثرات اندرکنش مورد آنالیز قرار می‌گیرند. با استفاده از روش مخروط و به فرم نسبتاً ساده و کاربردی که برای عموم مهندسين قابل بهره‌گیری است و با لحاظ کردن اثرات اندرکنش سازه و خاک به صورت عددی به تحلیل دینامیکی سازه‌ها پرداخته شده است.
- یک بار مدل‌سازی با نرم افزار SAP2000 با روش مخروط انجام گرفته و به منظور صحت‌سنجی، بار دیگر با نرم‌افزار ABAQUS مدل عددی ساخته شده است.
- مدلی هم در نرم‌افزار ETABS ساخته شده که در آن اندرکنش سازه و خاک در نظر گرفته نشده است.
- از جمله نتایج مورد بررسی در این تحقیق نشست و برش پایه می‌باشد.

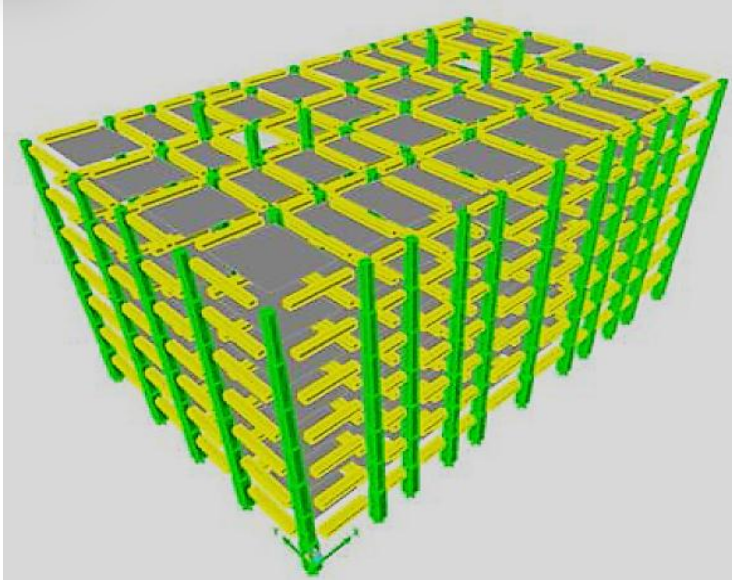


## معرفی

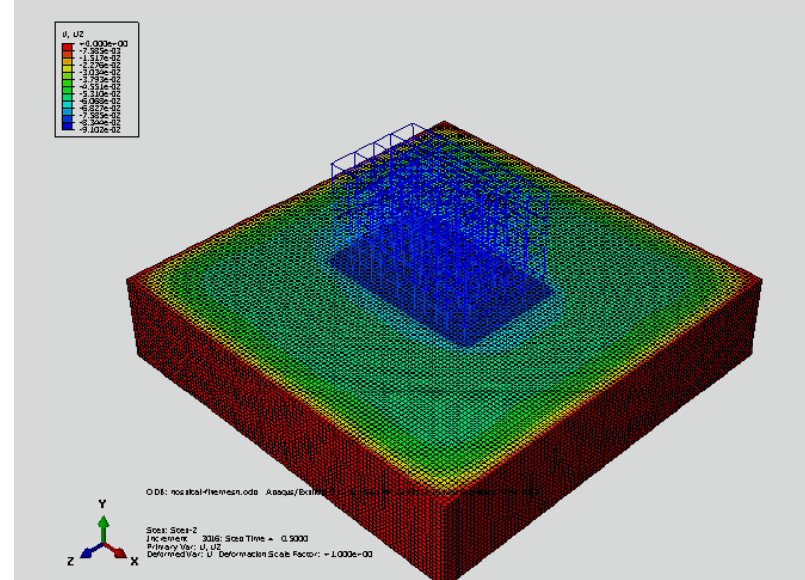
- یک سازه ۷ طبقه که یک بیمارستان در حال بهره برداری میباشد بعنوان مطالعه موردی بررسی و مورد تحلیل قرار گرفته است.
- سازه دارای ابعاد  $26 \times 42$  به ارتفاع  $27m$  بر روی پی گسترده قرار گرفته است.

$\phi$	C (kg/ m <sup>3</sup> )	E (Mpa)	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\nu$	v (m/s)	نوع خاک
۱۰	۸۰۰۰۰	۴/۲e۷	۱۷۵۰	۰/۳۵	۳۰۰	تیپ III

مشخصات ژئوتکنیکی خاک زیر سازه مورد تحلیل



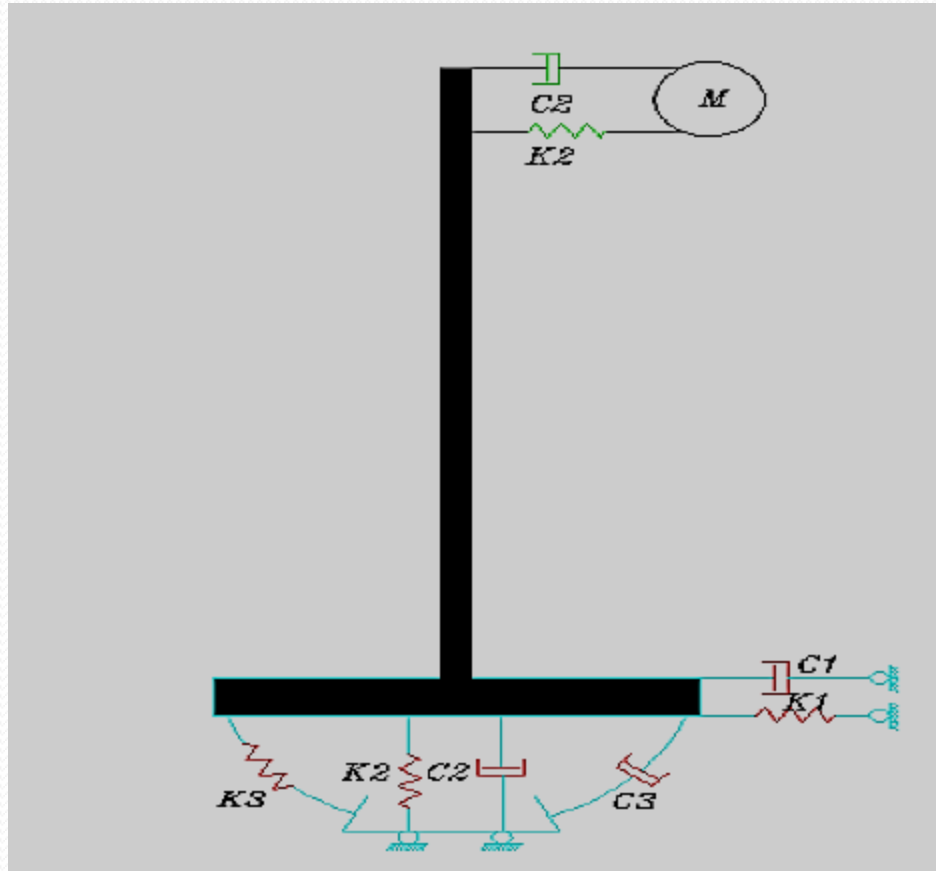
مدل ۳ بعدی در نرم افزار ETABS بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه



مدل ۳ بعدی در نرم افزار ABAQUS با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه



# مدل سازی

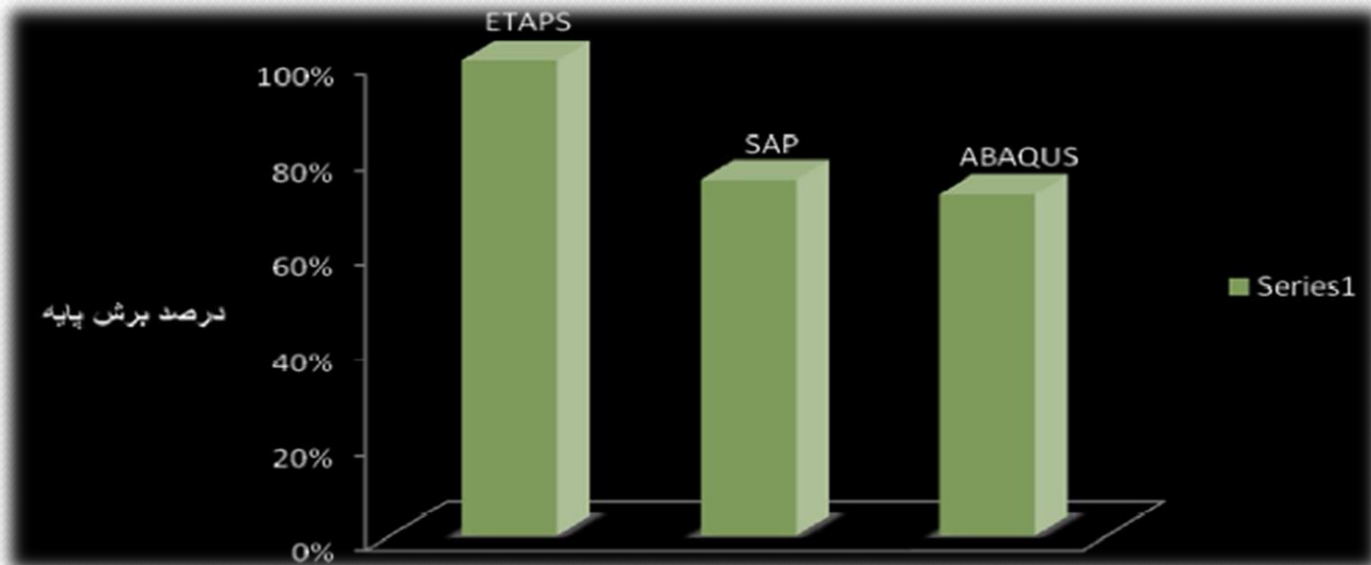


مدل ساخته شده در نرم افزار SAP2000  
با روش مخروط اندرکنش خاک و سازه در نظر گرفته شده است.



## برش پایه

• برش پایه حاصل از تحلیل مدل‌ها با لحاظ اندرکنش خاک - سازه در مدل مخروط در مقایسه با مدل سازه‌ای در نرم‌افزار ETABS به اندازه حدود ۲۵٪ کاهش را نشان می‌دهد. این کاهش در نرم‌افزار ABAQUS برابر مقدار ۲۸٪ می‌باشد. این نتایج که در شکل زیر آورده شده است بیانگر این مطلب است که با توجه به سختی مدلسازی و پیچیدگی کار در نرم‌افزار ABAQUS مدل مخروط روشی مناسب برای مدلسازی می‌باشد.





## بررسی نتایج

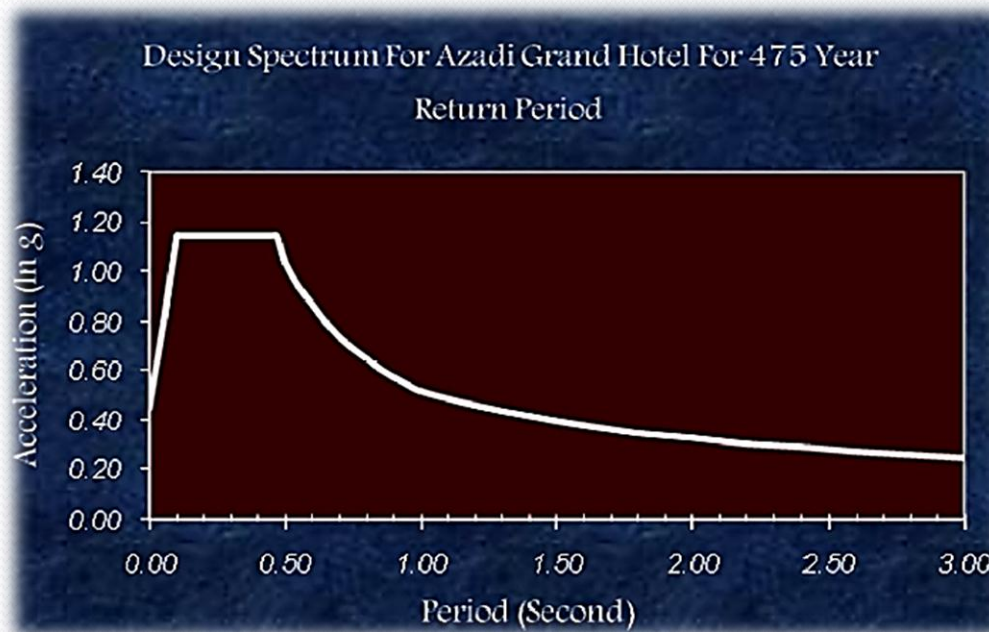
### نشست

- همچنین از مقایسه نمودارهای مربوط به نشست معلوم می‌گردد که روش مخروط در نرم‌افزار SAP میزان نشست را به علت در نظر گرفتن اندرکنش بیشتر از ETABS و حدود ۲۰٪ کمتر از نرم‌افزار ABAQUS نشان می‌دهد. که با توجه به سادگی مدل در روش مخروط نتیجه قابل قبولی محسوب می‌شود.



## مدل سازی

- زلزله مورد استفاده طیف زلزله تهران با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله می باشد.



طیف زلزله مورد استفاده در تحلیل



## نتیجه گیری

- از آنجا که سازه در هنگام زلزله تحت تأثیر اندرکنش سه سیستم مرتبط با همدیگر سازه، فونداسیون و خاک زیر آن قرار دارد لحاظ نمودن انعطاف پذیری خاک زیر شالوده امری ضروری محسوب می شود. در این پژوهش به تحلیل یک پروژه در حال بهره برداری با استفاده از هر دو روش مخروط و روش عددی پرداخته شد و نتایج با هم مقایسه گردید که با توجه به تقریبی بودن این روش و همچنین فرضیات موجود نتایج قابل قبولی محسوب می گردد.



# بازدید از مناطق زلزله زده اهر و ورزقان در سال 1391





# بازدید از مناطق زلزله زده اهر و ورزقان در سال 1391



**با تشکر از توجه شما**

Thanks For Your Attention