دانشگاه کردستان
University of Kurdistan
زانکۆی کوردستان

Structural Control

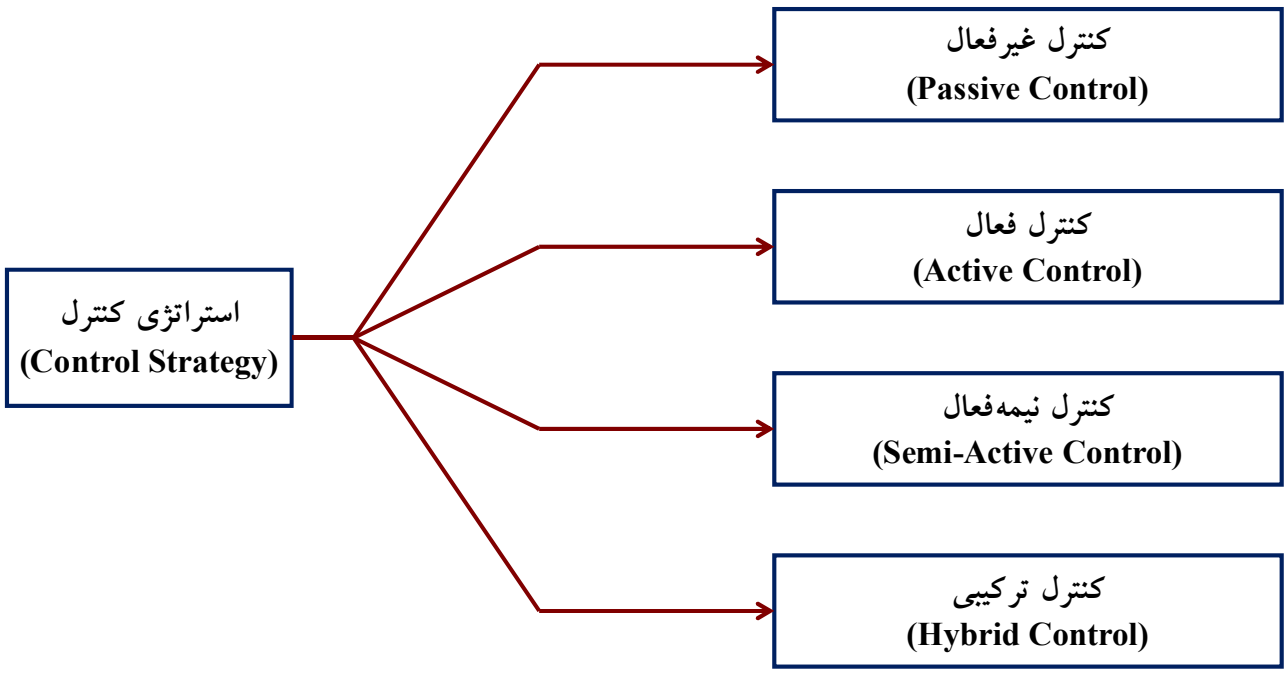
Basic concepts of structural control

By: Kaveh Karami
Associate Prof. of Structural Engineering
https://prof.uok.ac.ir/Ka.Karami

Basic concepts

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

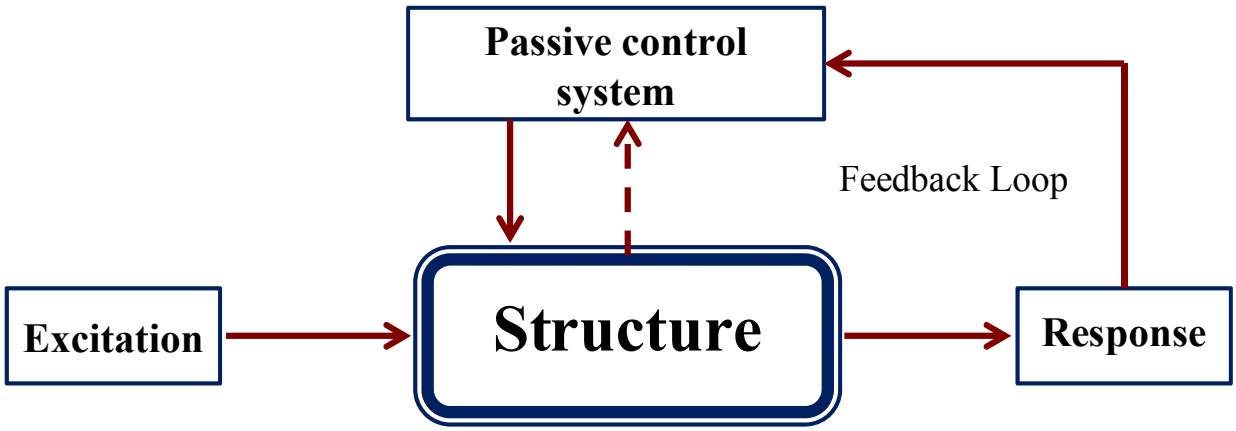
استراتژی کنترل در چهار گروه طبقه‌بندی می‌گردد.



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

▪ کنترل غیرفعال (Passive Control)

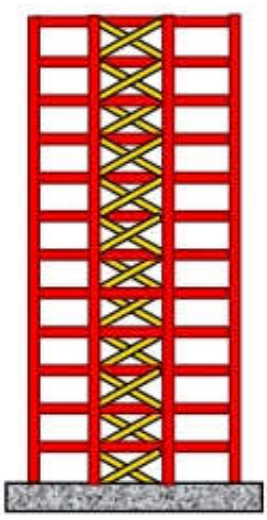
مفهوم کنترل سازه آن است که سازه آنچنان طراحی شود که در مقابل بارهای وارده مقاوم باشد؛ در این صورت ممکن است علاوه بر اجزای سازه‌ای، ابزار و سیستم‌هایی نیز به سازه اضافه گردد. این نوع کنترل‌ها را، **کنترل غیرفعال (Passive control)** می‌نامند. به عبارت دیگر این نوع کنترل به انرژی خارج از سازه نیازی ندارد و برای تولید نیرو از حرکت سازه استفاده می‌کند.



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

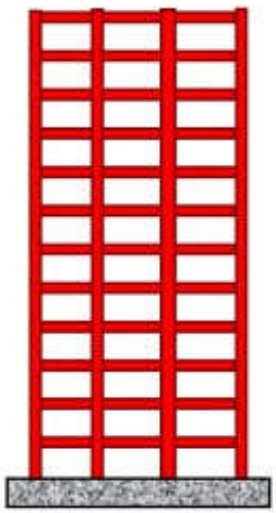
▪ کنترل غیرفعال (Passive Control)

تجهیزات متعارف کنترل غیرفعال:



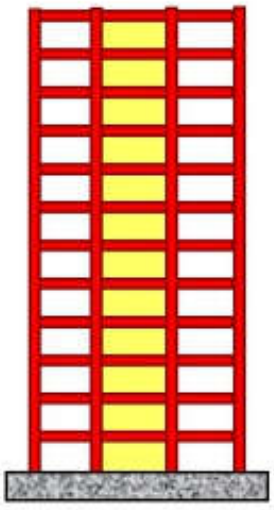
بادبندها

(Braces)



سیستم قاب خمشی

(Moment resisting frame)



دیوارهای برشی

(Shear walls)

Basic concepts

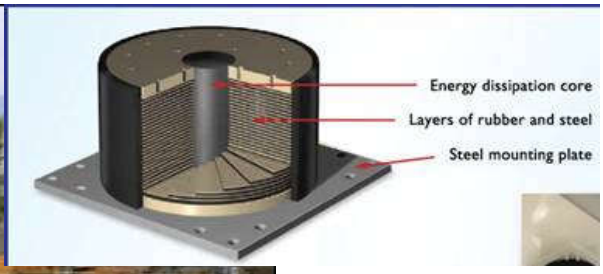
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

جداگر پایه (Base Isolation)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

جداگرهای پایه، نوعی سیستم کنترلی است که در حین ارتعاش با جدا کردن سازه از شالوده برش پایه ساختمان را کاهش می‌دهد.



Basic concepts

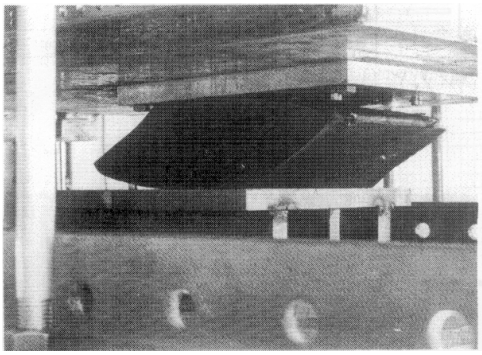
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

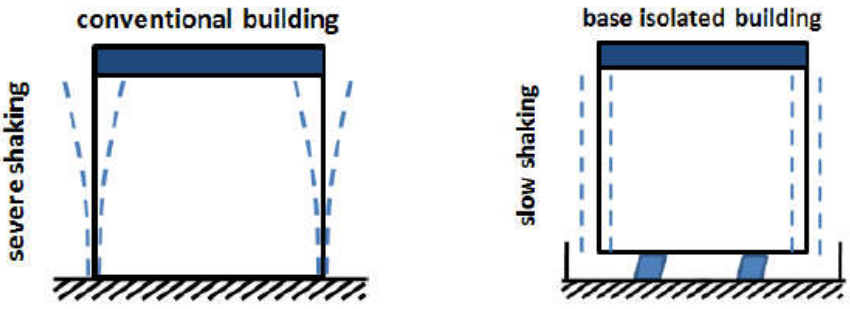
جداگر پایه (Base Isolation)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

اغلب جداگرها دارای رفتار غیرخطی می‌باشند



اعضای جداگر مابین شالوده و سازه قرار می‌گیرند



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

جداگر پایه (Base Isolation)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

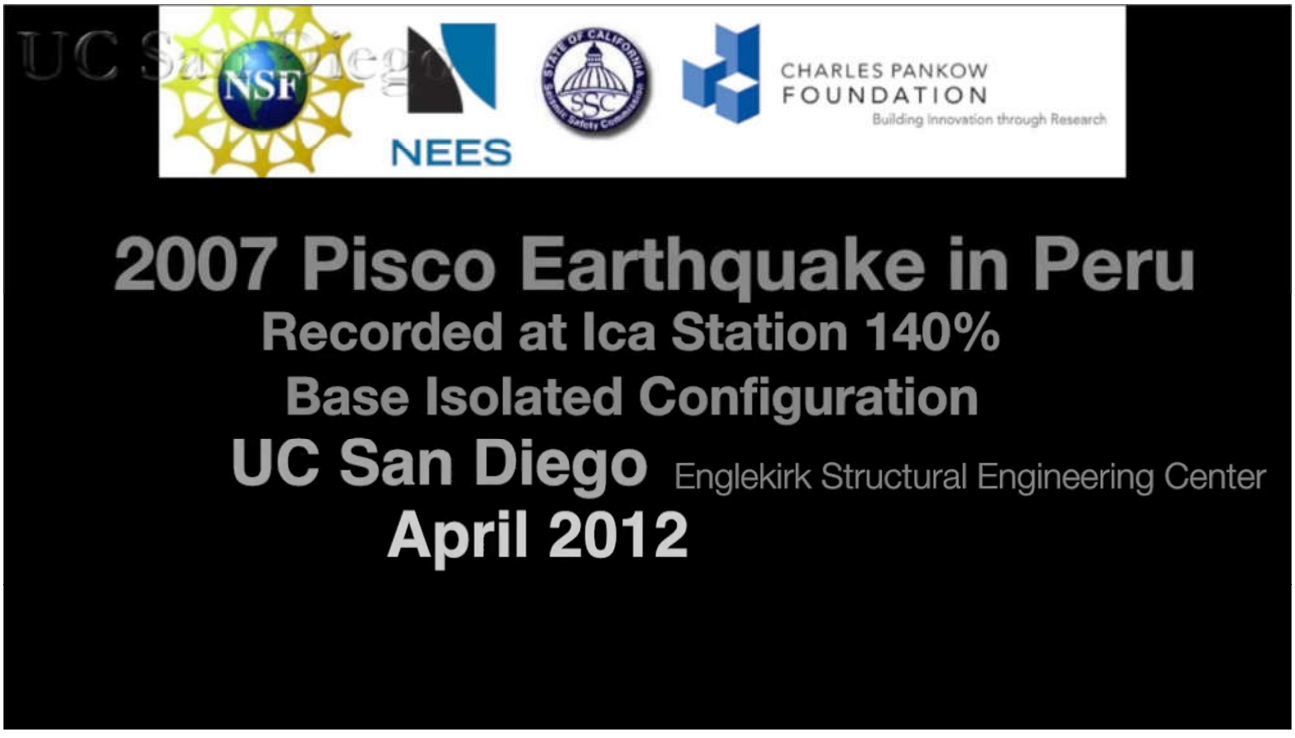
Basic concepts

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل غیرفعال (Passive Control)

جداگر پایه (Base Isolation)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:



Basic concepts

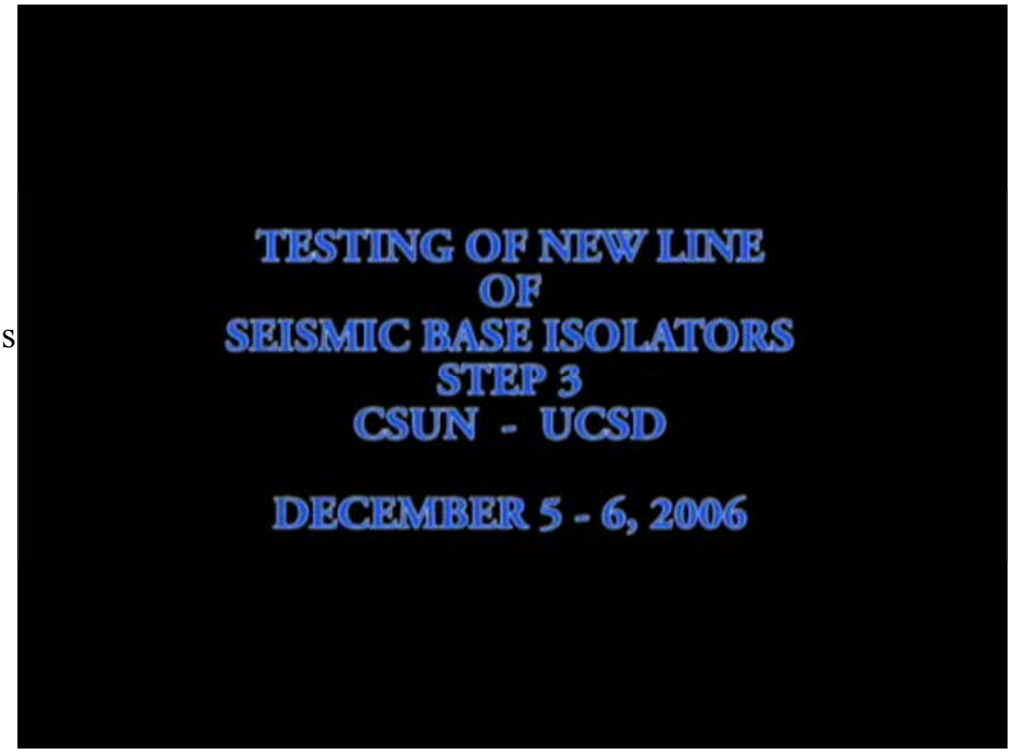
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

جداگر پایه (Base Isolation)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

- 12-story building models
- Fixed Period equals 1.2s
- Isolated period equals 5.0s



Basic concepts

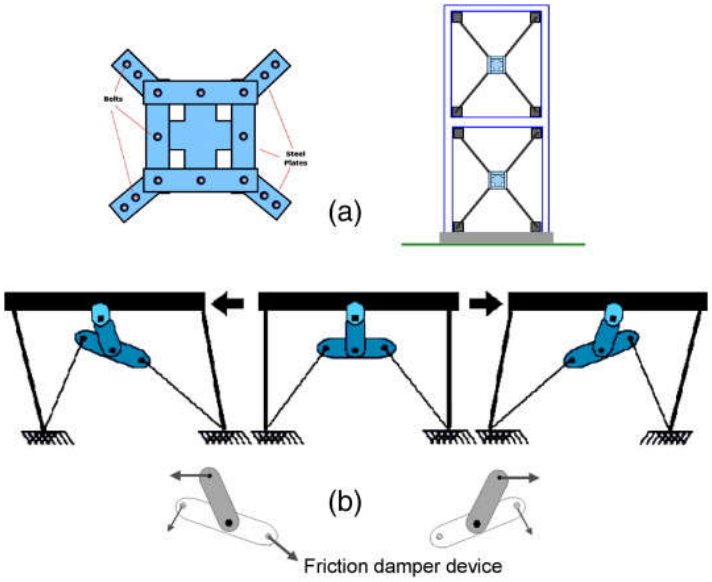
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

میراگر اصطکاکی (Friction Connection)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

میراگرهای اصطکاکی از یک سری قطعات فولادی تشکیل شده‌اند که حین زلزله‌های قوی این قطعات حرکت کرده و بر روی هم می‌لغزند. در اثر این لغزش انرژی وارده به سازه به صورت انرژی گرمایی ناشی از اصطکاک مستهلک می‌گردد.



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل غیرفعال (Passive Control)

میراگر اصطکاکی (Friction Connection)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

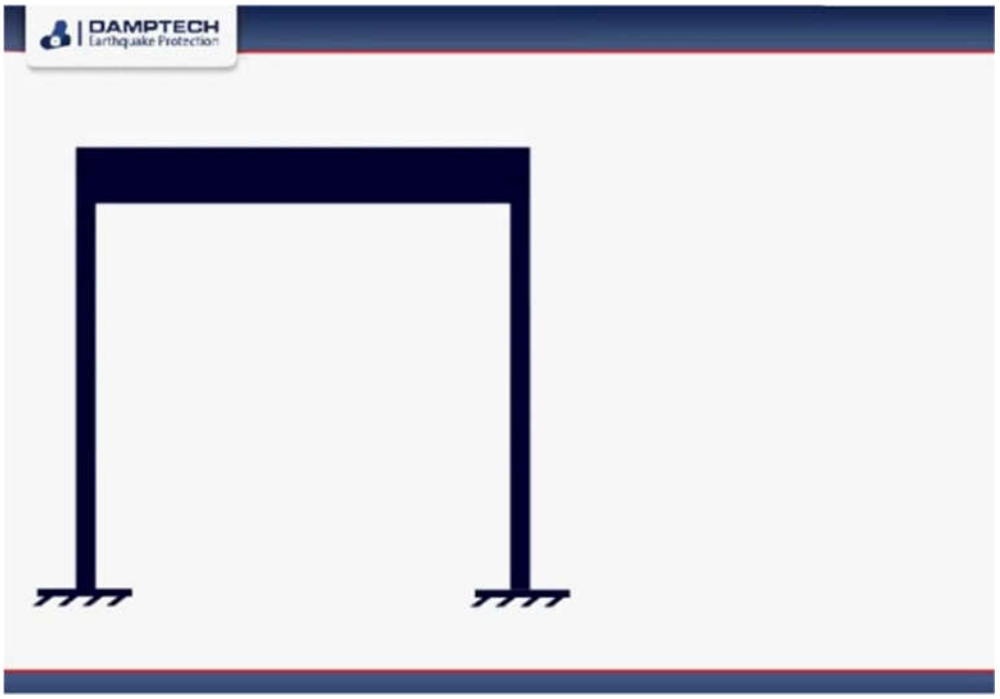
Basic concepts

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل غیرفعال (Passive Control)

میراگر اصطکاکی (Friction Connection)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:



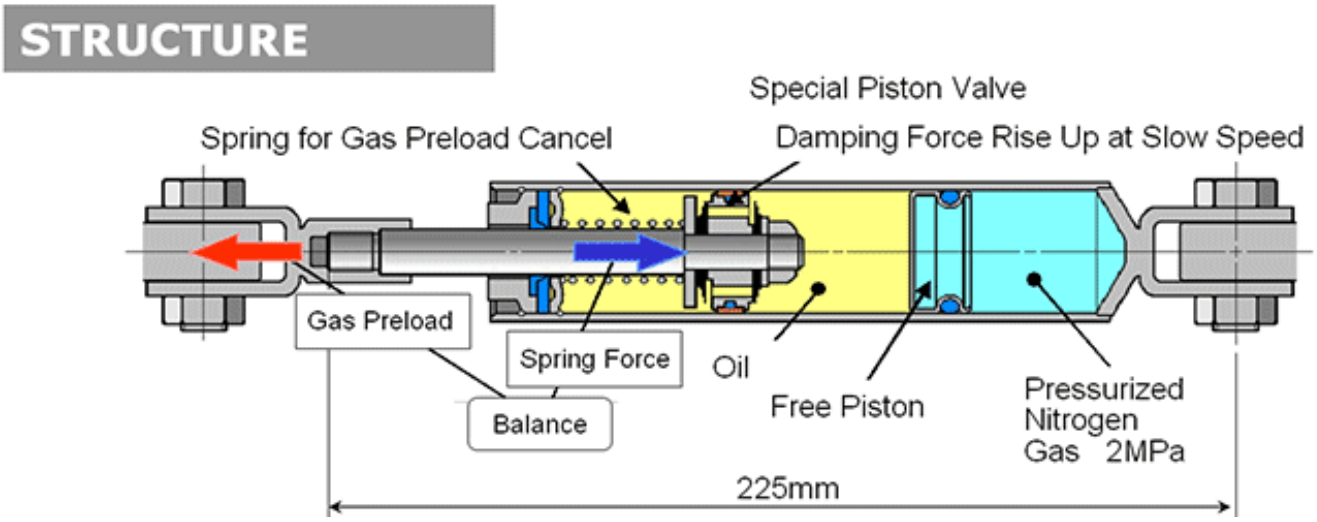
❑مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

میراگر ویسکوز (Viscous Damper)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

میراگرهای ویسکوز معمولا دارای یک سیلندر هیدرولیکی می‌باشند که به وسیله یک پیستون، محفظه درون سیلندر به دو بخش مجزا از هم تبدیل می‌شود. زمانی که پیستون حرکت می‌کند سیال درون میراگر (معمولا روغن با ویسکوزیته بالا) از یک سوراخ ریز درون پیستون بین دو محفظه داخلی سیلندر با سرعت بالا جابجا می‌شود.



❑مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

میراگر ویسکوز (Viscous Damper)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل غیرفعال (Passive Control)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

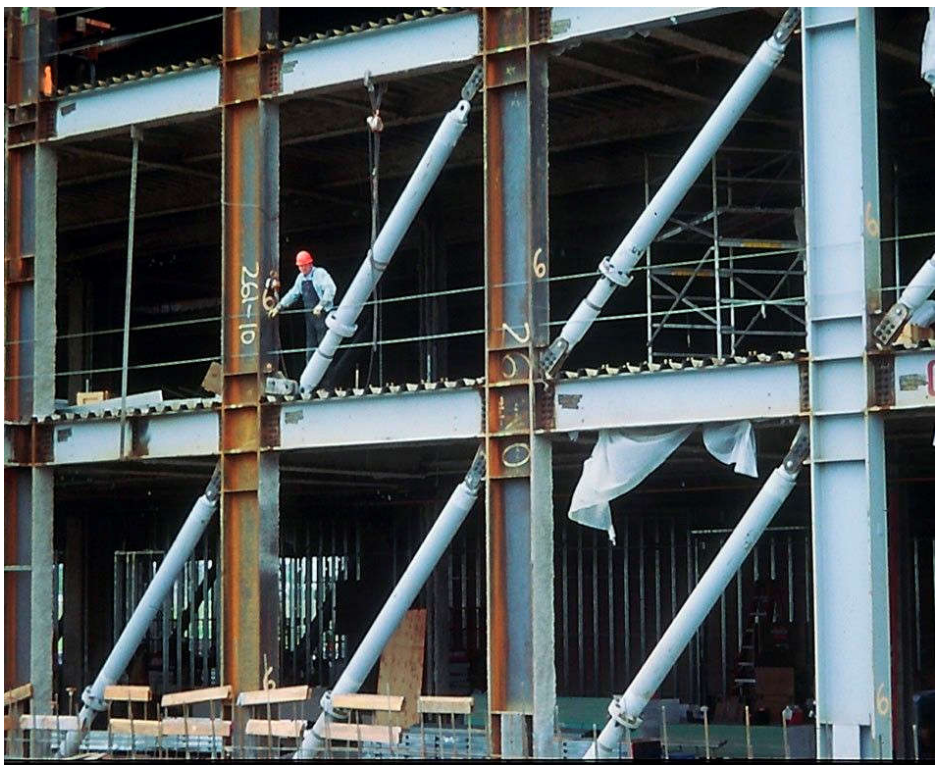
میراگر ویسکوز (Viscous Damper)

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل غیرفعال (Passive Control)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

میراگر ویسکوز (Viscous Damper)



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

میراگر ویسکوز (Viscous Damper)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

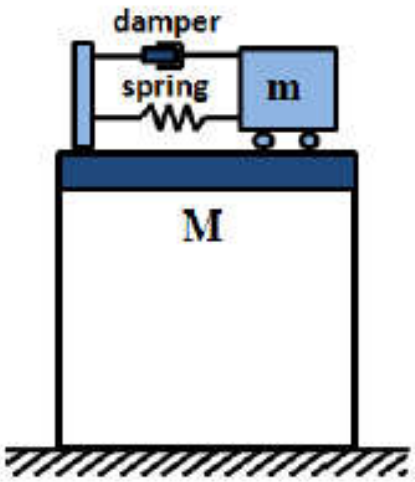
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

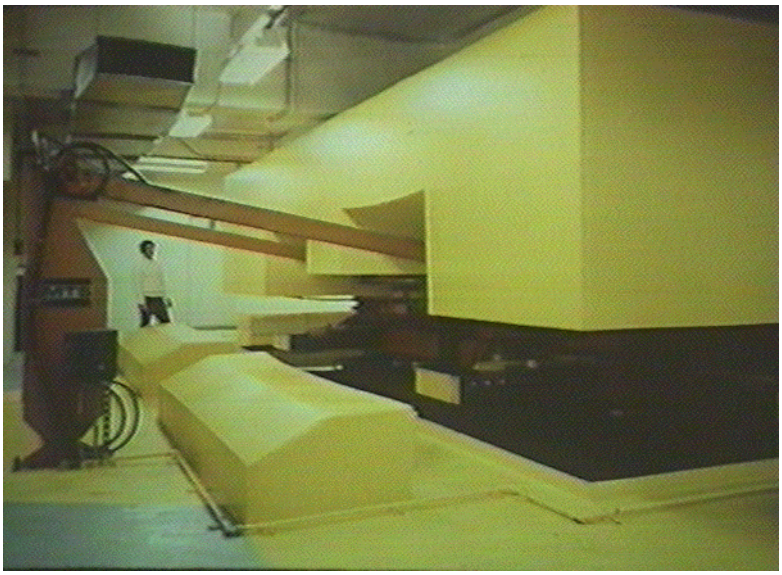
- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

میراگر جرمی تنظیم شونده
(TMD: Tuned Mass Damper)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

میراگر جرمی تنظیم شونده (TMD) شامل یک جرم (کمتر از یک درصد وزن کل سازه) است که توسط یک فنر و یک میراگر به منظور کاهش ارتعاش سازه به آن متصل می‌شود.





❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل غیرفعال (Passive Control)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

میراگر جرمی تنظیم شونده
(TMD: Tuned Mass Damper)

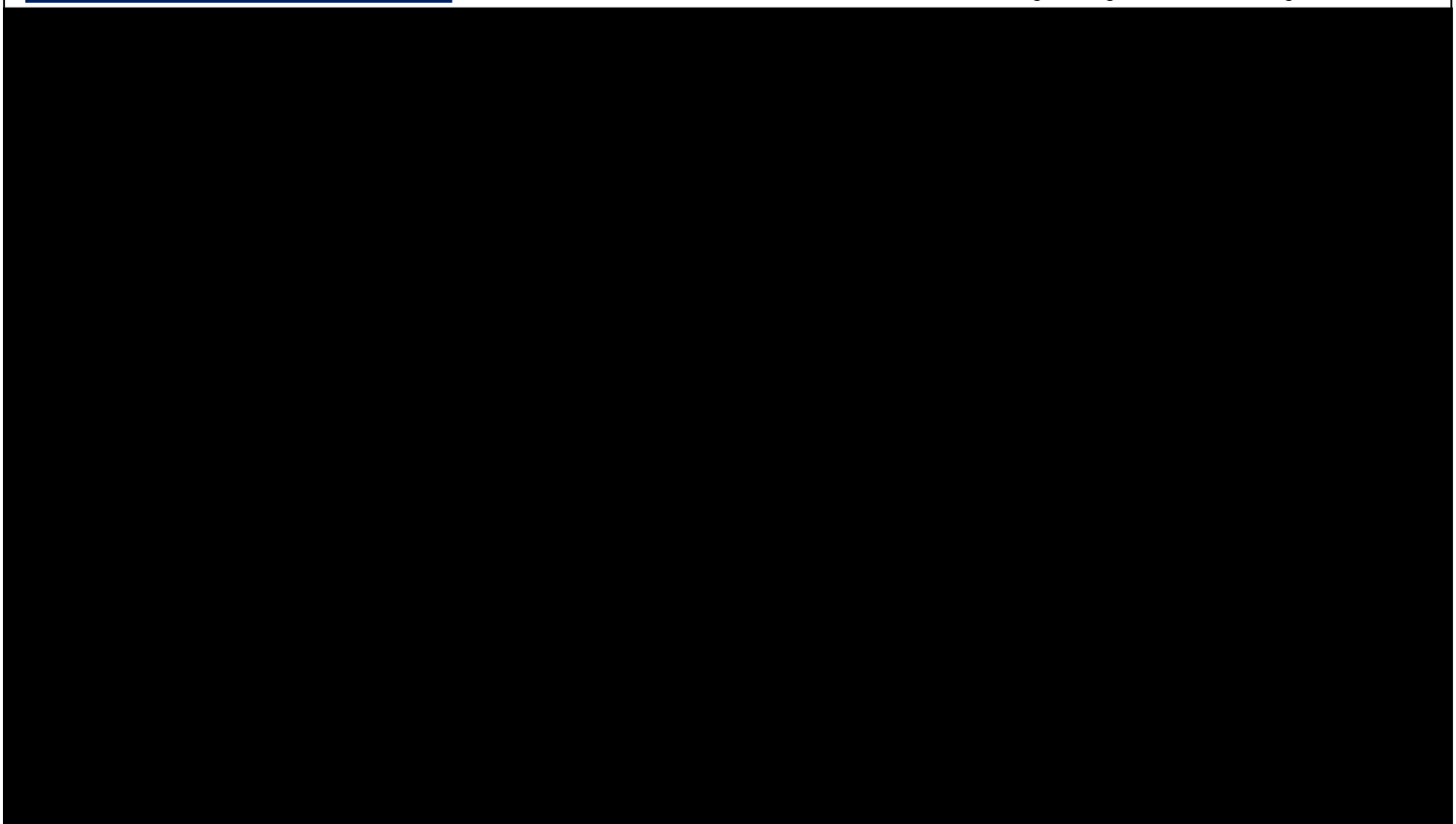
Basic concepts

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل غیرفعال (Passive Control)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

میراگر جرمی تنظیم شونده
(TMD: Tuned Mass Damper)



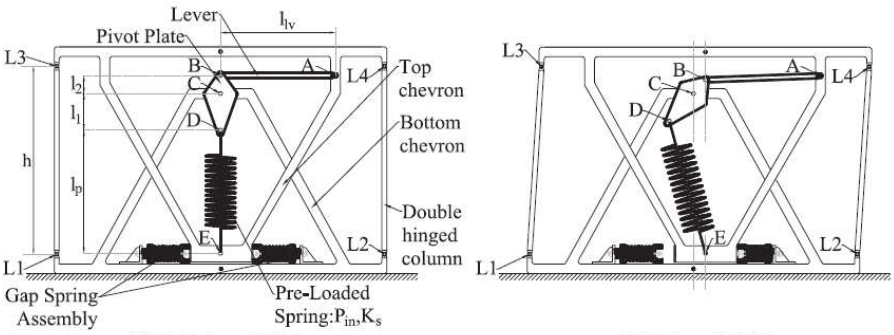
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

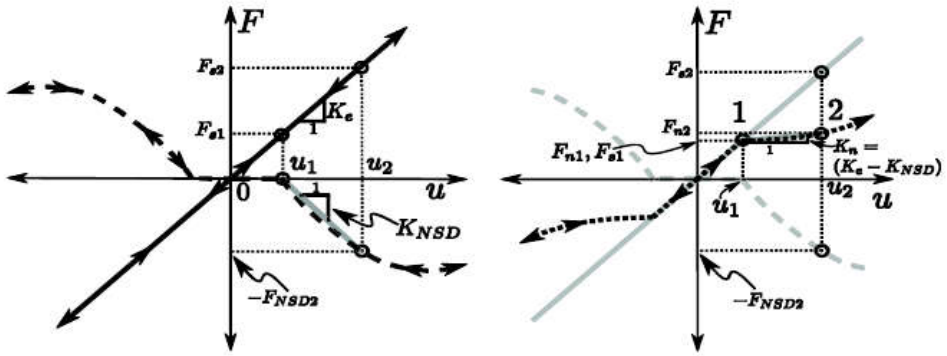
- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

دستگاه دارای سختی منفی
(NSD: Negative stiffness device)

تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:

دستگاه NSD توسط Nagarajaiah و همکاران در سال ۲۰۱۱ در دانشگاه buffalo ساخته شد. این دستگاه ترکیبی از یک فنر عمودی فشرده شده و دو جفت فنر افقی می‌باشد. فنر عمودی با ایجاد نیرویی در جهت موافق با حرکت سازه منجر به تولید سختی منفی شده و سختی سازه کاهش می‌یابد. ترکیب منحنی‌های رفتار سازه و دستگاه باعث ایجاد تسلیم ظاهری در کل سیستم می‌شود، درحالی که خود سازه تسلیم نشده است. با طراحی متناسب این دستگاه پاسخ‌های شتاب و دریفت و نیروی برشی در طبقات به اندازه‌ی قابل توجهی کاهش می‌یابد.





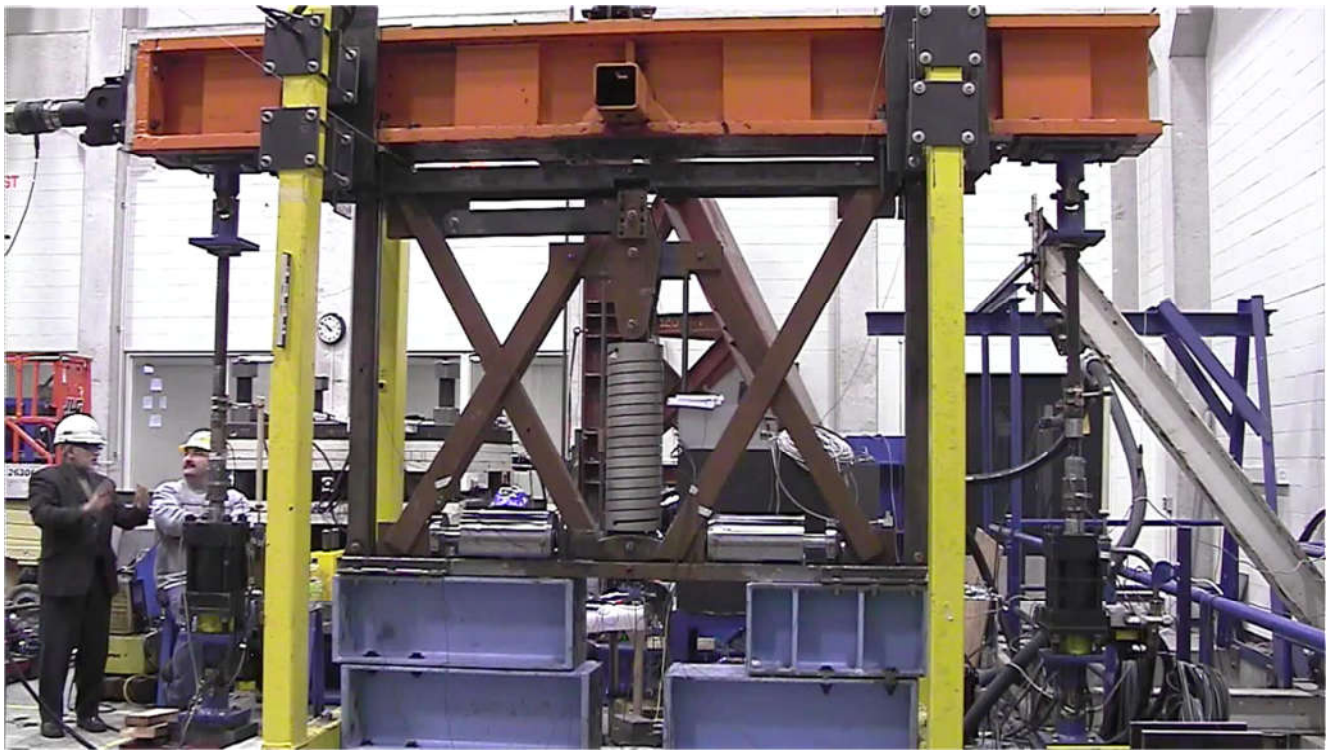
Basic concepts

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل غیرفعال (Passive Control)

دستگاه دارای سختی منفی
(NSD: Negative stiffness device)

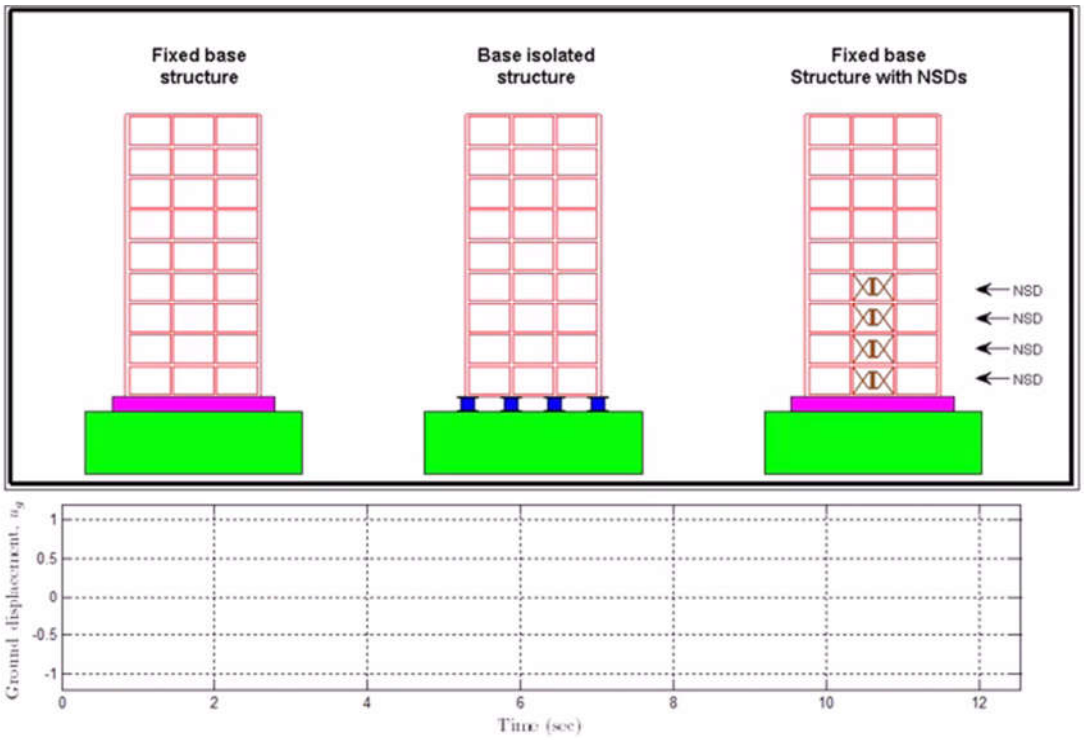
تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل غیرفعال (Passive Control)**

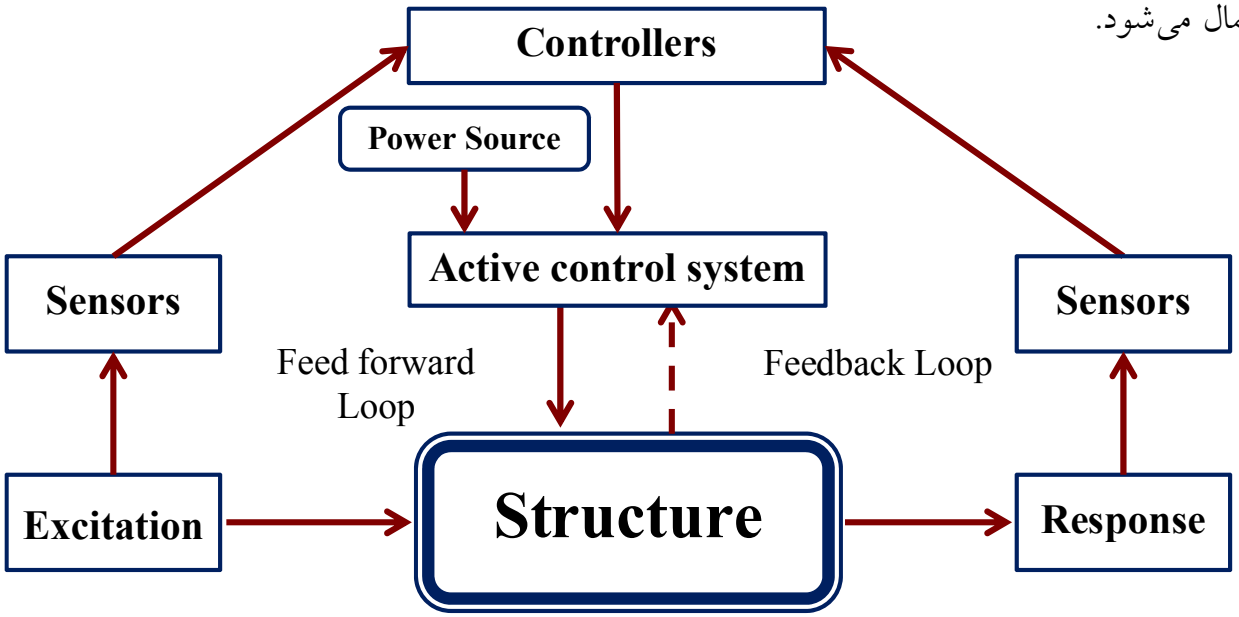
تجهیزات مدرن کنترل غیرفعال:



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل فعال (Active Control)**

ممکن است در هنگام وقوع زلزله نیروهایی که توسط یک دستگاه مولد نیرو (راه‌انداز، محرک یا Actuator که مفهوم تولید نیروی منفی را دارد) تولید می‌شود، به سازه اعمال کنیم تا رفتار سازه متعادل گردد. در این صورت از کنترل فعال استفاده کرده‌ایم. بنابراین در **کنترل فعال سازه‌ها (Active control)**، نیرویی خارج از سازه تولید و به آن اعمال می‌شود.



Basic concepts

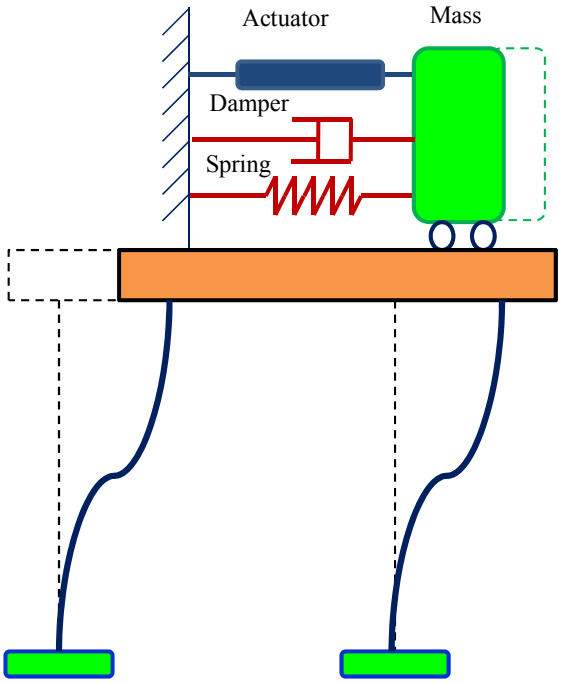
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل فعال (Active Control)**

میراگر جرمی تنظیم شونده فعال
(ATMD: Active Tuned Mass Damper)

تجهیزات کنترل فعال:

میراگر جرمی تنظیم شده فعال همان TMD است که حرکت آن توسط نیروی یک محرک کنترل می‌شود.



Basic concepts

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

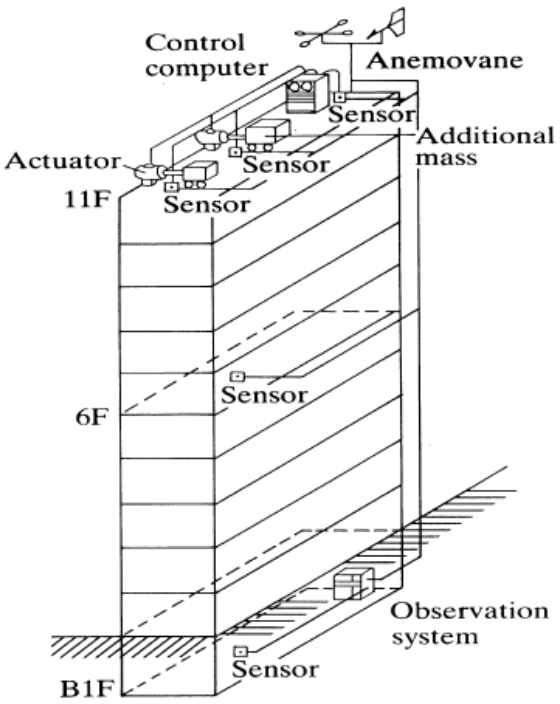
- **کنترل فعال (Active Control)**

میراگر جرمی تنظیم شونده فعال
(ATMD: Active Tuned Mass Damper)

تجهیزات کنترل فعال:

Kyobashi Center Building

- 11-story.
- Consists of two AMDs 4 and 1 tons



Basic concepts

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل فعال (Active Control)**

میراگر جرمی تنظیم شونده فعال
(ATMD: Active Tuned Mass Damper)

تجهیزات کنترل فعال:

TAIPEI FINANCIAL CENTER

first natural vibration period of 6.8 seconds.
Total height to 508m.
Total weight: 95,000 tones

Basic concepts

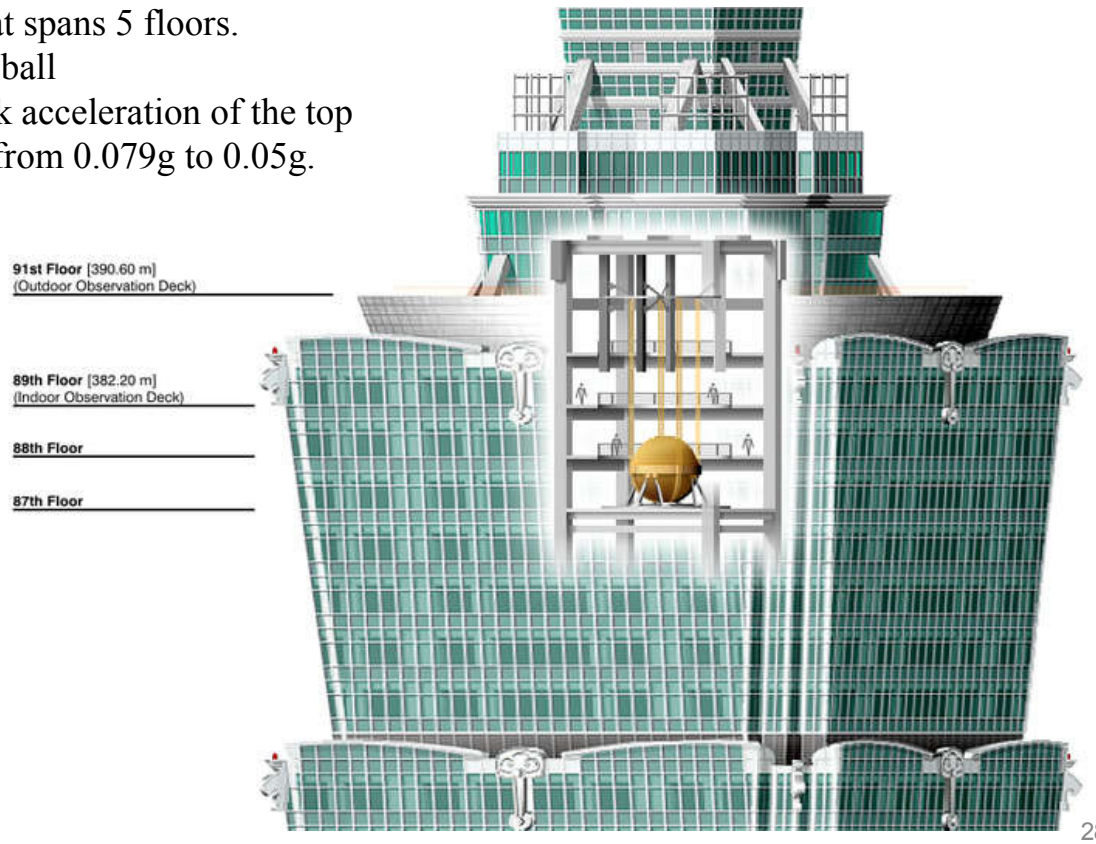
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل فعال (Active Control)**

میراگر جرمی تنظیم شونده فعال
(ATMD: Active Tuned Mass Damper)

تجهیزات کنترل فعال:

- A pendulum that spans 5 floors.
- 660 tonne steel ball
- Reduce the peak acceleration of the top occupied floor from 0.079g to 0.05g.



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل فعال (Active Control)**

تجهیزات کنترل فعال:

میراگر جرمی تنظیم شونده فعال
(ATMD: Active Tuned Mass Damper)

TAIPEI FINANCIAL CENTER

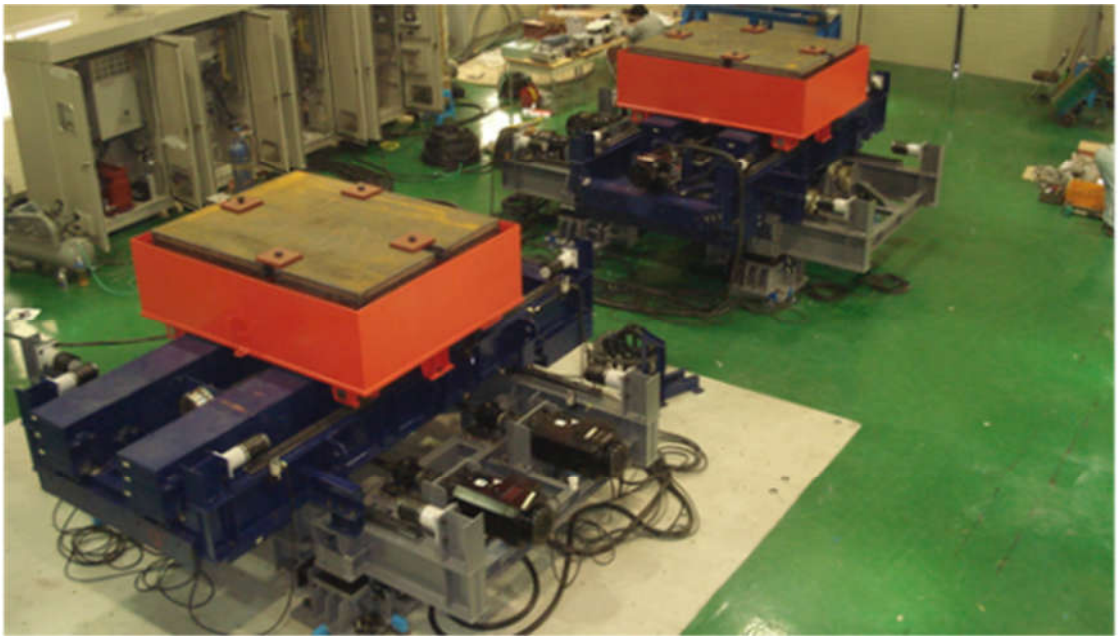
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل فعال (Active Control)**

تجهیزات کنترل فعال:

میراگر جرمی فعال
(AMD: Active Mass Damper)

میراگر جرمی فعال همان دارای یک جرم است که حرکت آن توسط نیروی یک محرک کنترل می‌شود.



Basic concepts

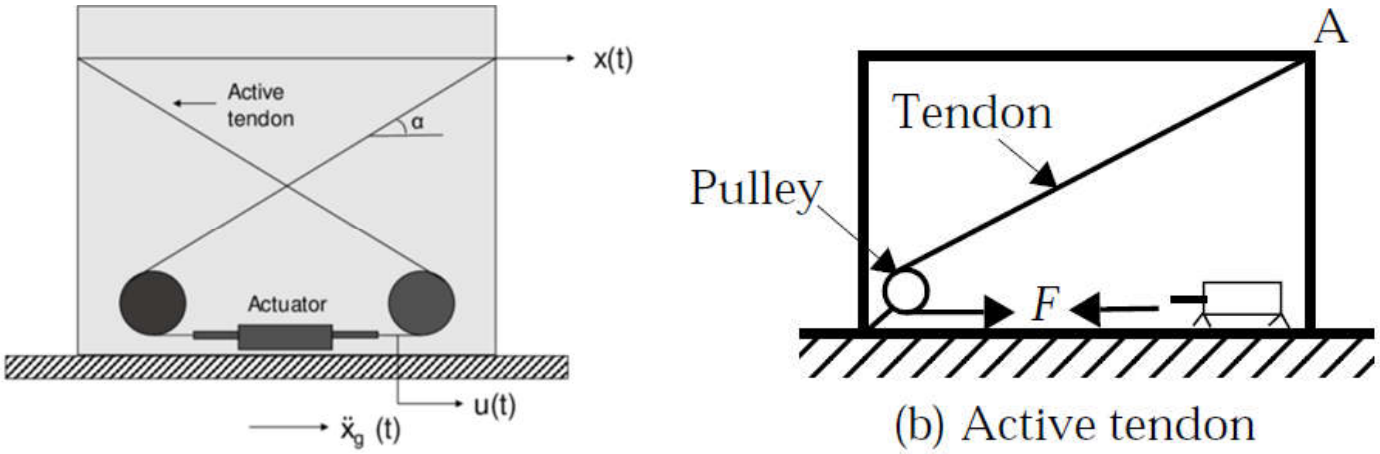
❑مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل فعال (Active Control)**

تاندون فعال (Active Tendon)

تجهیزات کنترل فعال:

تاندون‌های فعال متشکل از کابل‌هایی هستند که توسط یک محرک کشیده شده و همانند یک بادبند فعال عمل می‌کند.



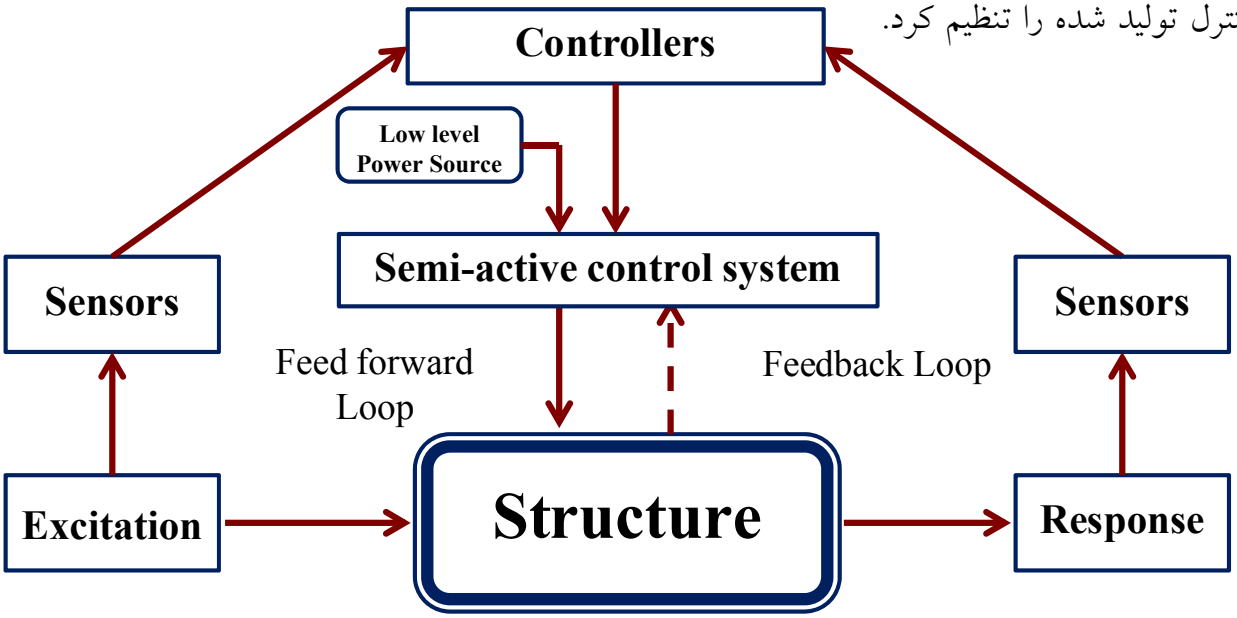
(اولین بار توسط عبدالرحمان در دهه ۱۹۷۰ ارائه شد.)

Basic concepts

❑مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل نیمه‌فعال (Semi-active Control)**

در صورتیکه هنگام وقوع زلزله اجزای سازه و یا ابزارهایی که به آن‌ها اضافه کرده‌ایم در اثر اعمال شرایط خاصی (نظیر ایجاد میدان مغناطیسی و یا میدان الکتریکی) نیروی متغیر و مناسب به سازه اثر دهند؛ در این صورت اصطلاحا گفته می‌شود که **کنترل نیمه‌فعال (Semi-active control)** داریم. معمولا این تجهیزات برای تولید نیرو از حرکات سازه استفاده کرده و نیازمند انرژی خارجی کمی (در حد باتری ساده) می‌باشند. با تغییر انرژی ورودی (برق) می‌توان نیروی کنترل تولید شده را تنظیم کرد.



❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل نیمه‌فعال (Semi-active Control)**

تجهیزات با میرایی متغیر (Variable Damping Device)

تجهیزات کنترل نیمه‌فعال:

میراگرهای هیدرولیکی نیمه‌فعال (SHD-Semi-active hydraulic Dampers)

میراگر SHD را شرکت Kajima ژاپن تولید می‌کند. ضریب میرایی این دستگاه به صورت لحظه‌ای از طریق باز و بسته شدن یک روزنه کوچک که دو بخش محفظه هیدرولیکی را به هم مرتبط می‌کند تنظیم می‌شود. این دستگاه قادر است با مصرف 70 watt برق نیروی 100 kN تولید نماید.

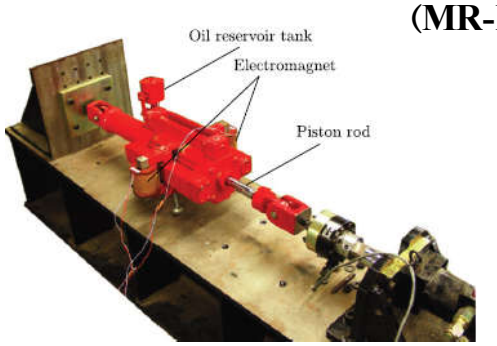
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل نیمه‌فعال (Semi-active Control)**

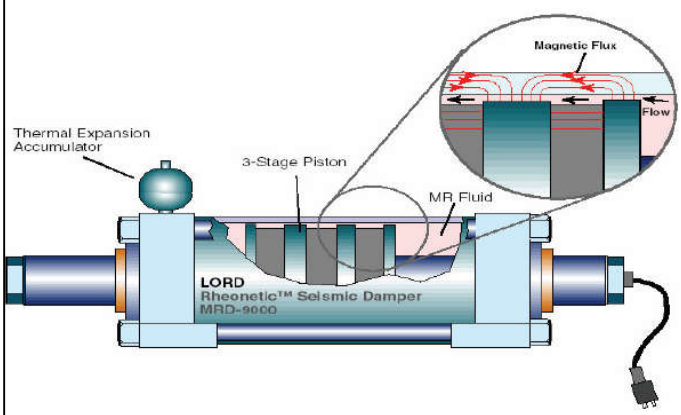
تجهیزات با میرایی متغیر (Variable Damping Device)

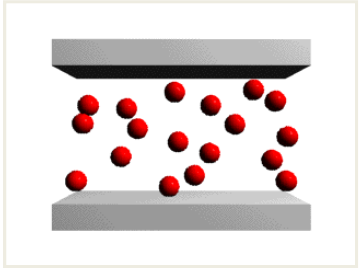
تجهیزات کنترل نیمه‌فعال:

میراگر حاوی سیال رئومغناطیسی (MR-Magneto-Rheological Dampers)

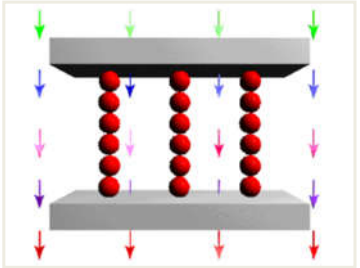


میراگر MR توسط Yang و همکارانش در سال ۲۰۰۲ در دانشگاه Lord-Notre Dame ساخته شد. این میراگر شامل یک سیلندر هیدرولیکی حاوی ذرات قطب‌پذیر معلق در یک سیال است. در صورتی که سیال در معرض میدان مغناطیسی قرار گیرد سیال از حالت مایع به حالت نیمه جامد تبدیل می‌گردد. این میراگر قادر است با صرف 20-50 Watt برق نیرویی معادل 200 kN تولید نمایید.





Without Magnetic Fields



With Magnetic Fields

❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

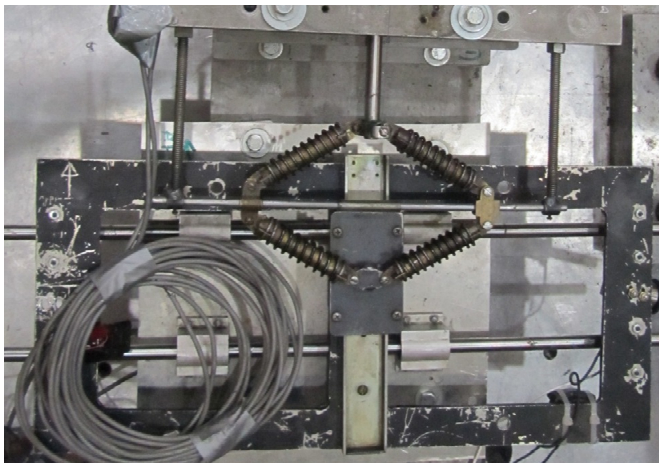
- **کنترل نیمه‌فعال (Semi-active Control)**

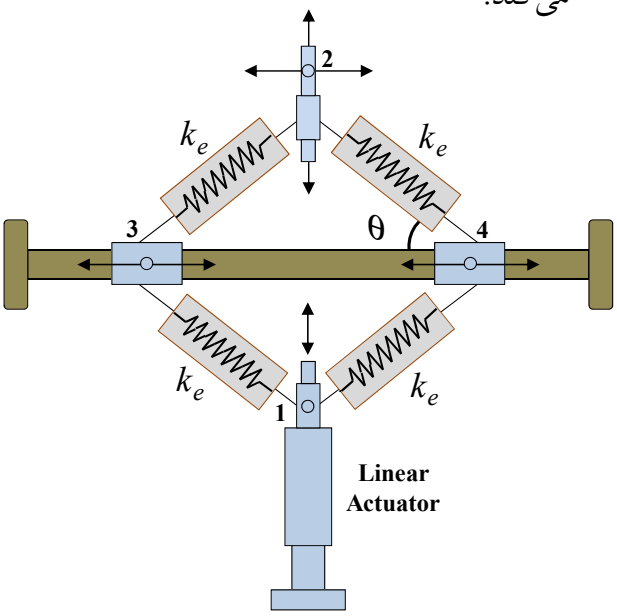
تجهیزات با سختی متغیر (Variable Stiffness Device)

تجهیزات کنترل نیمه‌فعال:

دستگاه نیمه‌فعال با سختی متغیر (SAIVS-Semi-active variable stiffness device)

دستگاه SAIVS توسط Nagarajaiah در سال ۲۰۰۰ در دانشگاه Rice ساخته شد. سختی در این دستگاه بین دو حد ماکزیمم و مینیمم بطور پیوسته، مستقل و با رفتار منحنی نیرو- جابجایی صاف تغیر می‌کند.





Basic concepts

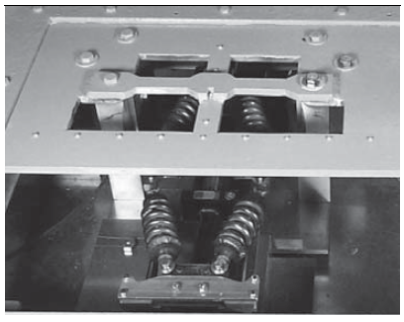
❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- کنترل نیمه‌فعال (Semi-active Control)

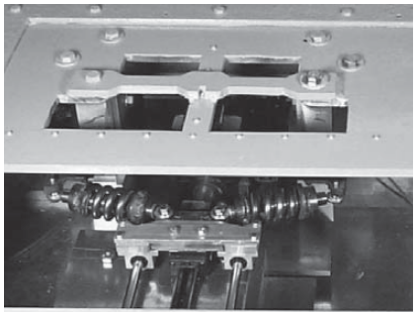
تجهیزات با سختی متغیر (Variable Stiffness Device)

تجهیزات کنترل نیمه‌فعال:

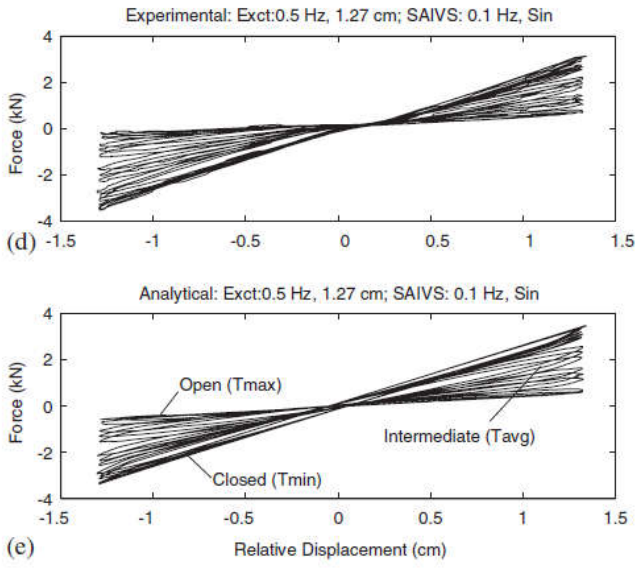
دستگاه نیمه‌فعال با سختی متغیر (SAIVS-Semi-active variable stiffness device)



Passive off



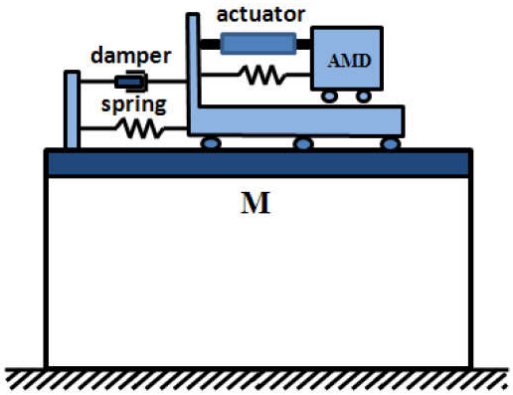
Passive on

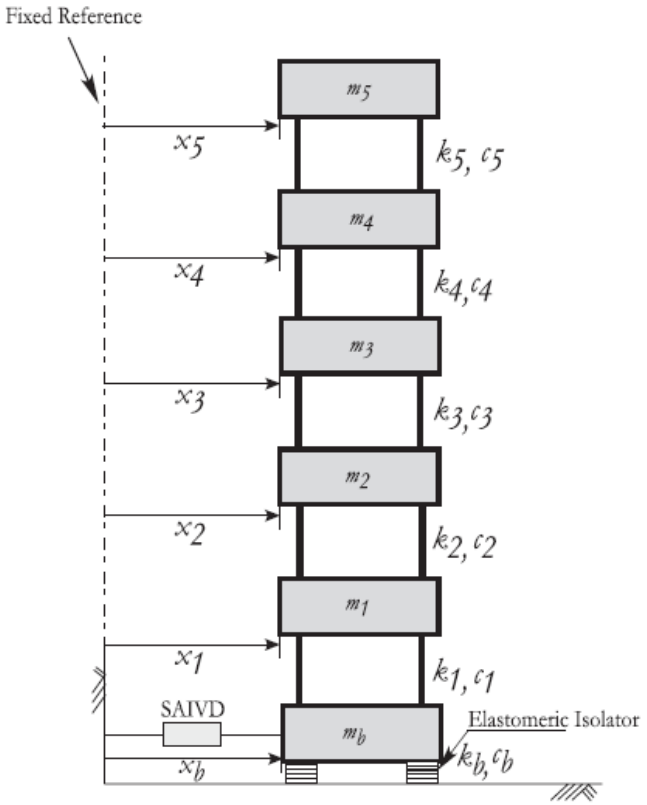


❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

- **کنترل ترکیبی (Hybrid control)**

اگر از انواع کنترل غیرفعال، فعال و نیمه‌فعال استفاده می‌شود، **کنترل ترکیبی (Hybrid control)** ایجاد کرده‌ایم.

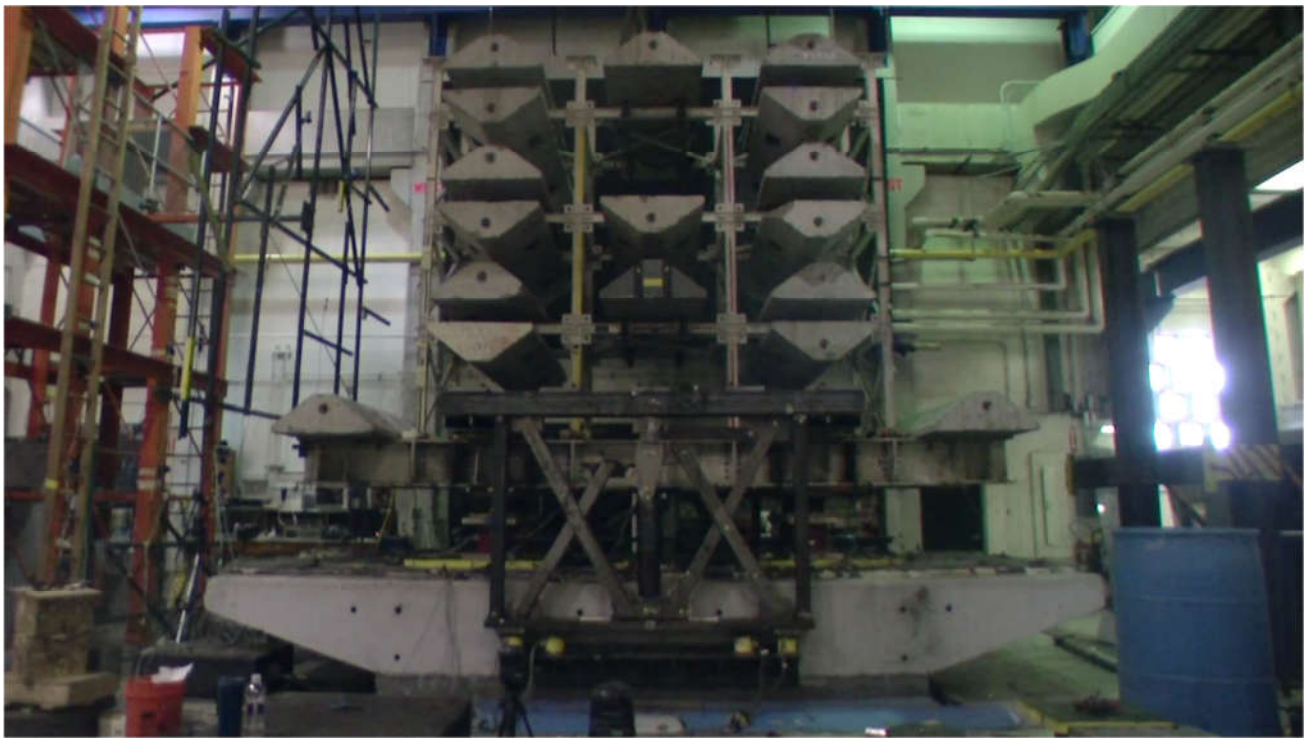




❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

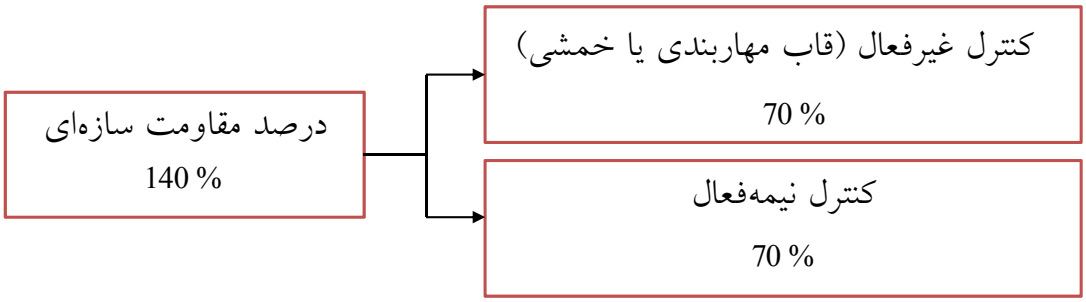
- **کنترل ترکیبی (Hybrid control)**

NSD with Base Isolation

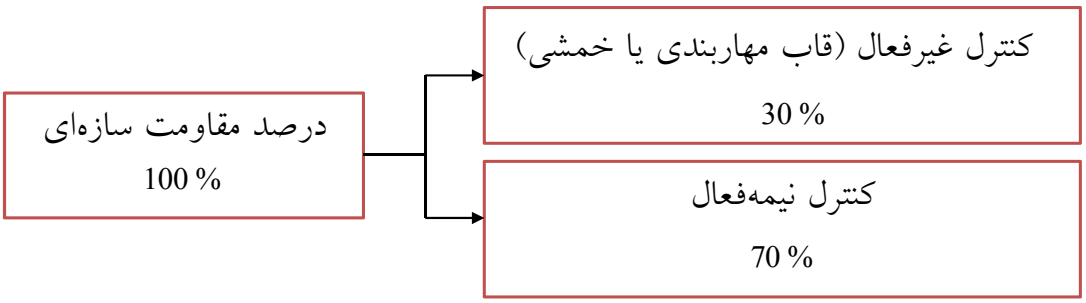


❑ مفهوم کنترل سازه‌ها و انواع آن

اوایل در ژاپن:

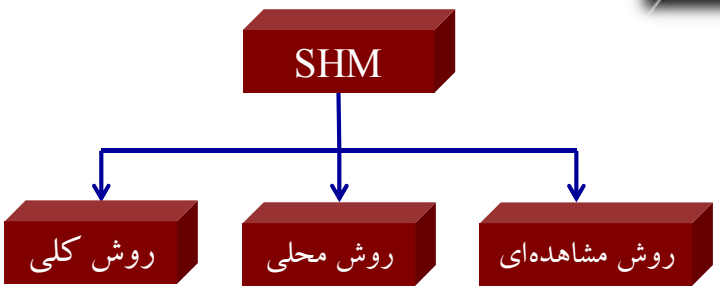


امروزه در ژاپن:



❑ بررسی سلامت سازه‌ای (SHM: Structural Health Monitoring)

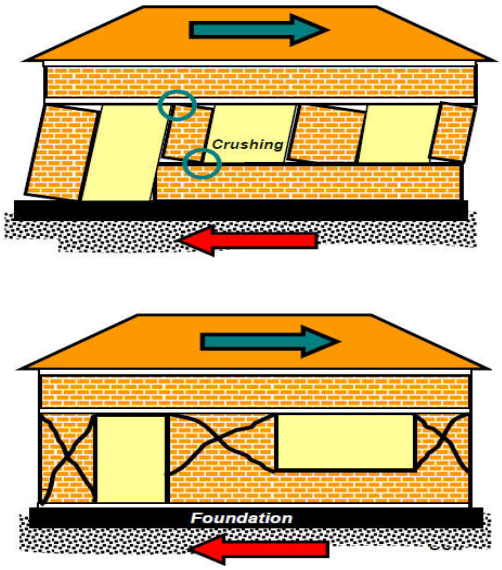
بررسی سلامت سازه‌ای، نظارت لحظه‌ای در طول عمر یک سازه است که به منظور تشخیص وجود خرابی، مقدار و مکان آن در قسمت‌های مختلف سازه صورت می‌گیرد.



Basic concepts

- روش مشاهده‌ای

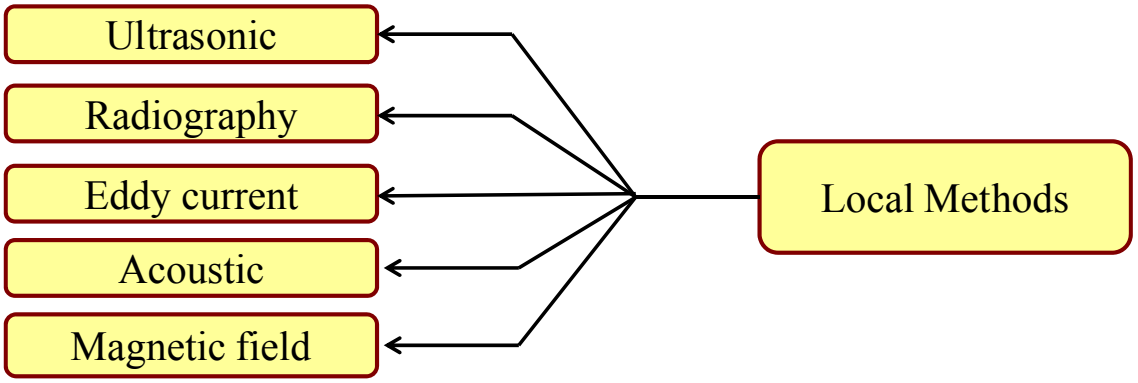
یک متخصص به بررسی ظاهری ساختمان از نظر ترک‌ها و جابجایی‌ها می‌پردازد.



Basic concepts

- روش محلی

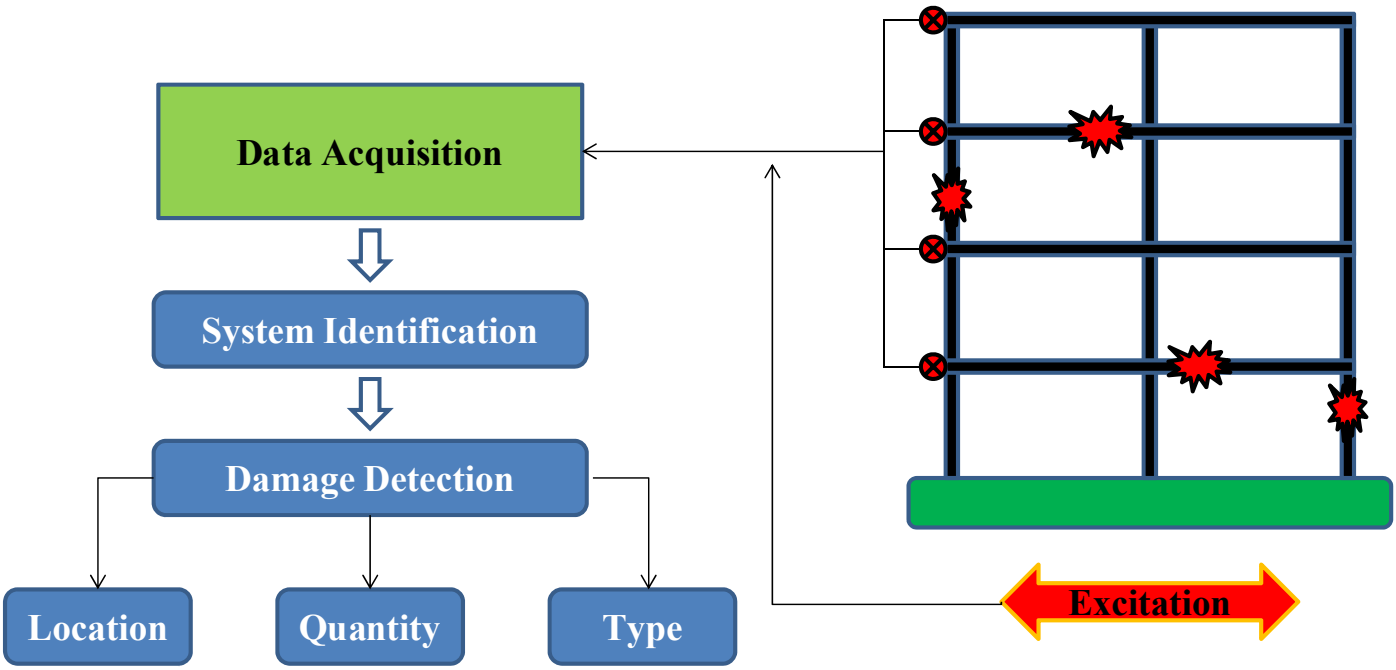
در روش‌های محلی مکان تقریبی آسیب مشخص می‌باشد؛ سازه را بصورت محلی بررسی کرده و آسیب‌های سطحی یا نزدیک سطح را آشکار می‌سازند. در این روش‌ها لازم است که منطقه مورد نظر از سازه به راحتی قابل دسترسی باشد تا بتوان آسیب را شناسایی کرد..



Basic concepts

روش کلی

شناسایی آسیب براساس ارتعاشات اندازه‌گیری شده انجام می‌شود.



Basic concepts

گذشته

- برای اولین بار Yao در سال ۱۹۷۲ بحث کنترل فعال را برای سازه‌ها مطرح کرد. (در سال‌های ۶۰ نیز توسط Freyssinet بحث کنترل سازه‌ای مطرح شده بود.)
- اولین سازه‌هایی که مجهز به کنترل سازه‌ها است در ژاپن بین سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۸ ساخته شد (AVS، AMD و ...)
- تئوری کنترل مدرن به شکل گسترده‌ای توسعه یافت.

حال

- به دلیل مشکلات اجرایی کنترل فعال، به سمت کنترل نیمه‌فعال روی آورده شد.
- انواع تئوری‌های جدید (شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک و ...) مطرح شده است.
- تحقیقات فراوان بر روی میراگرهای هوشمند انجام می‌گیرد.

❑ کنترل سازه‌ای گذشته، حال و آینده

- آینده
  - مصالح هوشمند (مهندسی مواد).
  - ارتقا سطح ایمنی.
  - سازه‌های هوشمند.

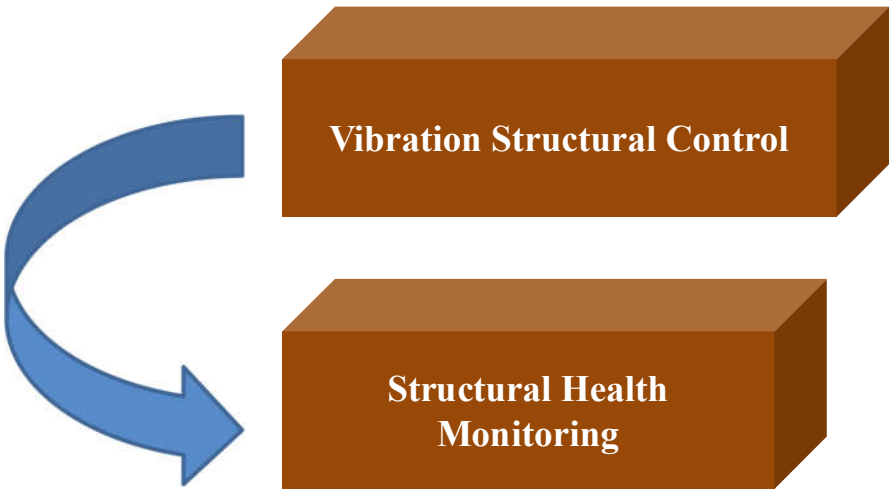
با تعریفی که از کنترل فعال و نیمه‌فعال شد، به سازه‌هایی که دارای این نوع کنترل‌ها باشد به نحوی که در مقابل نیروهای خارجی واکنش دلخواه را از خود نشان بدهند، سازه‌های هوشمند گفته می‌شود که باید دارای حسگر (Sensor)، پردازشگر (Processor)، محرک (Actuator) و سیستم جمع‌آوری اطلاعات (Data acquisition) باشند.

❑ کنترل سازه‌ای گذشته، حال و آینده

- آینده

Structural Health Monitoring

Vibration Structural Control



❑ کنترل سازه‌ای گذشته، حال و آینده

- آینده