



دانشگاه کردستان
University of Kurdistan
زانکۆی کوردستان

Structural Control

Active and Semi-active Control of Structures

By: Kaveh Karami

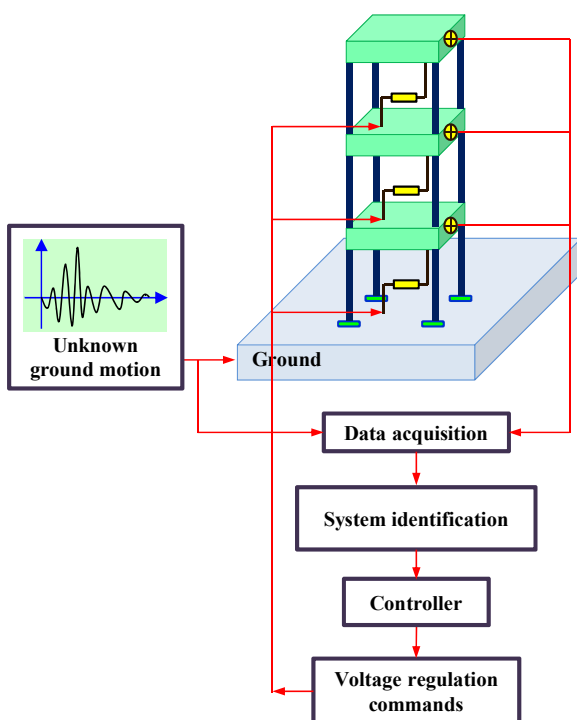
Associate Prof. of Structural Engineering

<https://prof.uok.ac.ir/Ka.Karami>

Active and Semi-active Control

□ کنترل فعال سازه‌ها

کنترل فعال سازه‌ها: در کنترل فعال سازه‌ها، نیروی خارجی توسط یک دستگاه مولد نیرو (Actuator) آنچنان به سازه وارد می‌شود که رفتار سازه را متعادل نماید. این در حالی است که در کنترل غیرفعال، نیروی خارجی جبران کننده‌ای به سازه اعمال نمی‌شود.



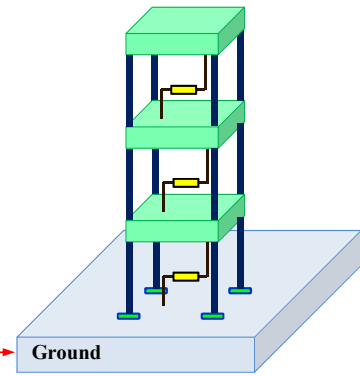
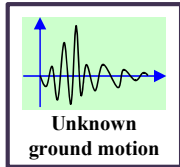
سیستم کنترل فعال در حالت کلی شامل سه بخش زیر است:

- جمع‌آوری و انتقال اطلاعات (Data Acquisition)
- کنترل کردن (Controller)
- اعمال نیرو (Actuator)

عدم قطعیت‌ها:

عدم قطعیت‌ها در بحث کنترل سازه‌ها شامل موارد زیر است:

- تاخیر زمانی (Time delay) ناشی از محاسبات
- غیرخطی هندسی
- غیرخطی مصالح
- محاسبه اشتباه سختی و میرایی (خطا در شناسایی سیستم)
- تاخیر در اعمال نیرو توسط محرک
- نیروی ورودی مانند زلزله



سیستم کنترل غیرفعال در حالت کلی

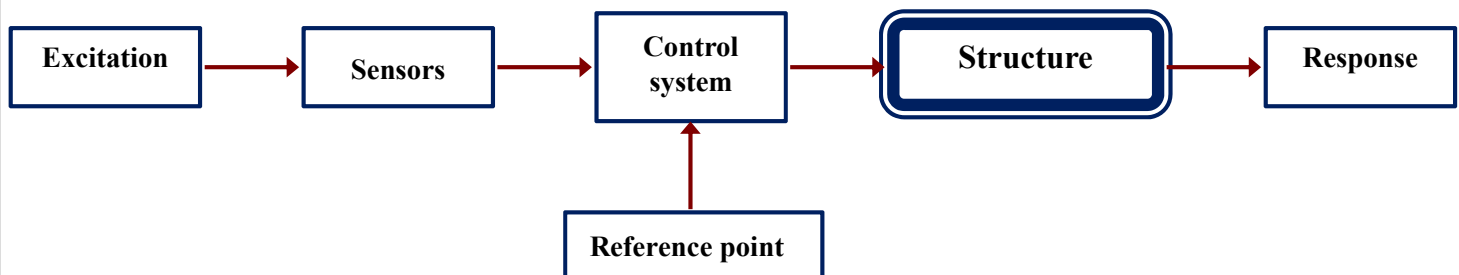
کنترل فعال یک نوع کنترل مقاوم (Robust control) است به طوری که بعد از اعمال نیروی کنترل، سازه باید مستحکم و استوار سر جای خودش باقی بماند. بنابراین از مزایای کنترل فعال نسبت به کنترل غیرفعال می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- جبران عدم قطعیت‌ها
- امکان ساخت ساختمان‌های بسیار بلند مقاوم در برابر باد و زلزله
- صرفه جویی در هزینه ساخت.

3

سیستم کنترل مدار باز (Open loop)

در سیستم مدار باز، نیروی کنترل براساس نیروی خارجی نسبت به یک نقطه مرجع محاسبه و اعمال می‌گردد. در این نوع سیستم کنترلی چون نیروهای کنترل براساس نیروهای خارجی و مقادیر پاسخ هدف (مرجع) محاسبه می‌گردد به آن کنترل پیش‌خور (Feed forward control) نیز گفته می‌شود.



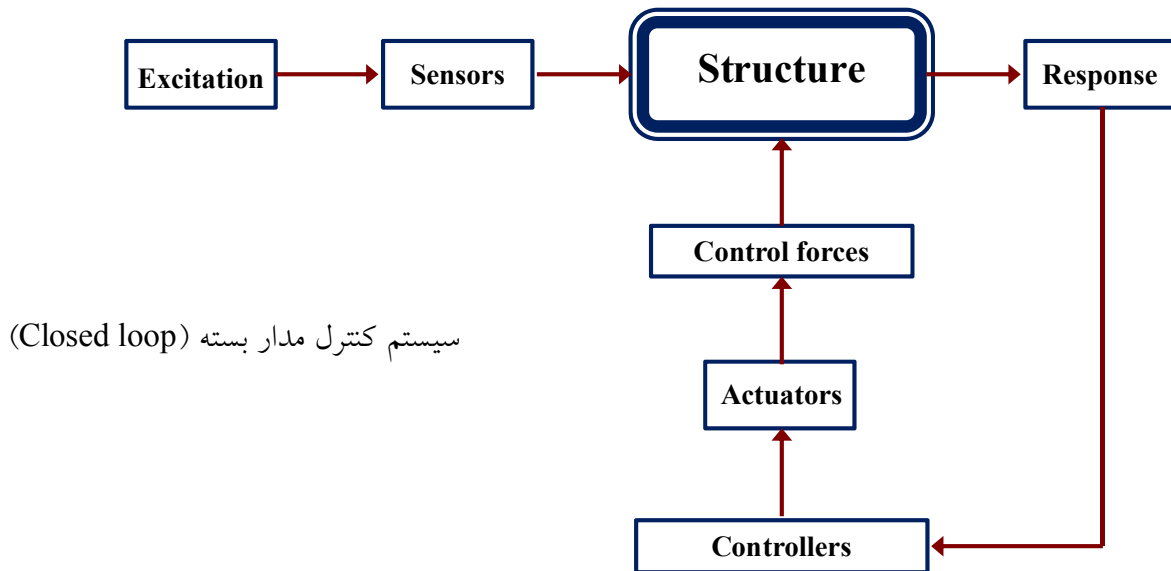
سیستم کنترل مدار باز (Open loop)

نقطه مرجع در مهندسی برق: یک سیگنال باید در زمانی به یک نقطه خاص برسد (Tracking)
نقطه مرجع در مهندسی عمران: یک جابجایی هدف که سازه نباید از آن تجاوز نماید.

4

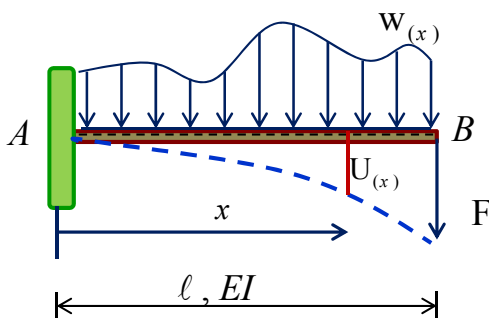
سیستم کنترل مدار بسته (Closed loop)

در این نوع ساختار کنترلی، نیروهای کنترل براساس خروجی‌ها (پاسخ‌های سازه) محاسبه شده و به سازه اعمال می‌شود. این نوع سیستم کنترلی مورد توجه بیشتری در مهندسی عمران قرار گرفته است. در این نوع سیستم کنترلی چون نیروهای کنترل براساس بازخوردی از سیستم (پاسخ‌های سازه) محاسبه می‌گردد به آن کنترل بازخورد (Feedback control) نیز گفته می‌شود.

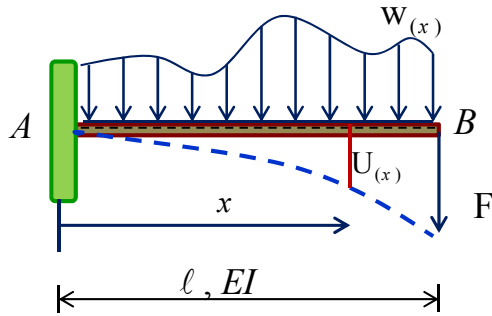


5

مثال ۱- در تیر نشان داده شده در شکل زیر نیروی کنترلی F را آنچنان محاسبه نمایید که جابجایی تیر تا حد امکان از رابطه $U^*_{(x)} = \frac{1}{2}\alpha x^2$ پیروی نماید. جابجایی تیر تحت اثر بار گسترده برابر با $U_{0(x)} = \frac{g(x)}{EI}$ است.



6



U_F تغییر شکل تیر تحت اثر تنها نیروی کنترل F برابر است با:

با فرض

$$h_{(x)} = \frac{x^2}{6}(3\ell - x) \quad (2)$$

U_F تغییر شکل تیر به صورت زیر در می‌آید:

7

$U_{(x)}$ تغییر شکل کلی تیر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$U_{(x)} = \frac{1}{EI}(Fh_{(x)} + g_{(x)}) \quad (4)$$

اختلاف جابجایی کل با جابجایی هدف به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$e_{(x)} = \frac{1}{EI}(Fh_{(x)} + g_{(x)}) - U_{(x)}^* \quad (5)$$

اگر هدف صفر شدن خطا تنها در یک موقعیت مشخص (مثلاً انتهای تیر کنسول نقطه B) باشد در این صورت خواهیم داشت:

$$F = \frac{EIU_{(x=\ell)}^* - g_{(x=\ell)}}{h_{(x=\ell)}} \quad (6)$$

8

حال اگر هدف مینیمم شدن خطا در طول کل تیر باشد می‌توان به کمک روش حداقل مربعات (LSM: Least square method) مقدار خطا را در کل طول تیر به حداقل رساند. برای این منظور تابع شاخص عملکرد (Performance Index) به صورت زیر تعریف می‌شود:

با مینیمم سازی شاخص عملکرد:

$$(5) \rightarrow (8) \Rightarrow F = \frac{\int_0^{\ell} h_{(x)} (EU_{(x)}^* - g_{(x)}) dx}{\int_0^{\ell} h_{(x)}^2 dx} \quad (9)$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود در هر دو حالت نیروی کنترل تابعی از جابجایی اندازه‌گیری شده $(g_{(x)})$ است. یعنی کنترل از نوع بازخورد (Feedback control) است.

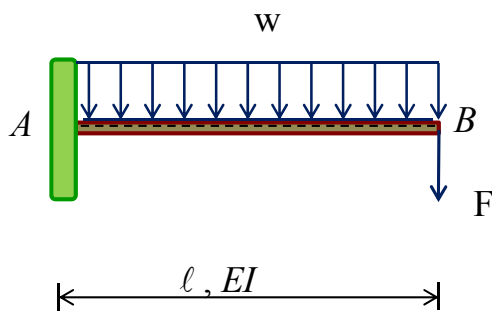
حال اگر هدف مینیمم شدن خطا در تعداد محدودی نقطه در تیر باشد می‌توان به کمک روش حداقل مربعات مقدار خطا را در تعداد محدودی نقطه به حداقل رساند:

مثال ۲- در تیر نشان داده شده جابجایی هدف برابر با $U_{(x)}^* = \frac{1}{2}\alpha x^2$ است. نیروی کنترلی F را در حالت‌های زیر محاسبه نمایید:

الف- مقدار خطا در نقطه B صفر شود.

ب- مقدار خطا در نقاط وسط و انتهای تیر حداقل شود.

ج- مقدار خطا در طول تیر حداقل شود.



Matlab Code (L07Example02.m)

11

پاسخ مثال ۲-

تغییر شکل تیر تحت اثر بار گسترده برابر است با:

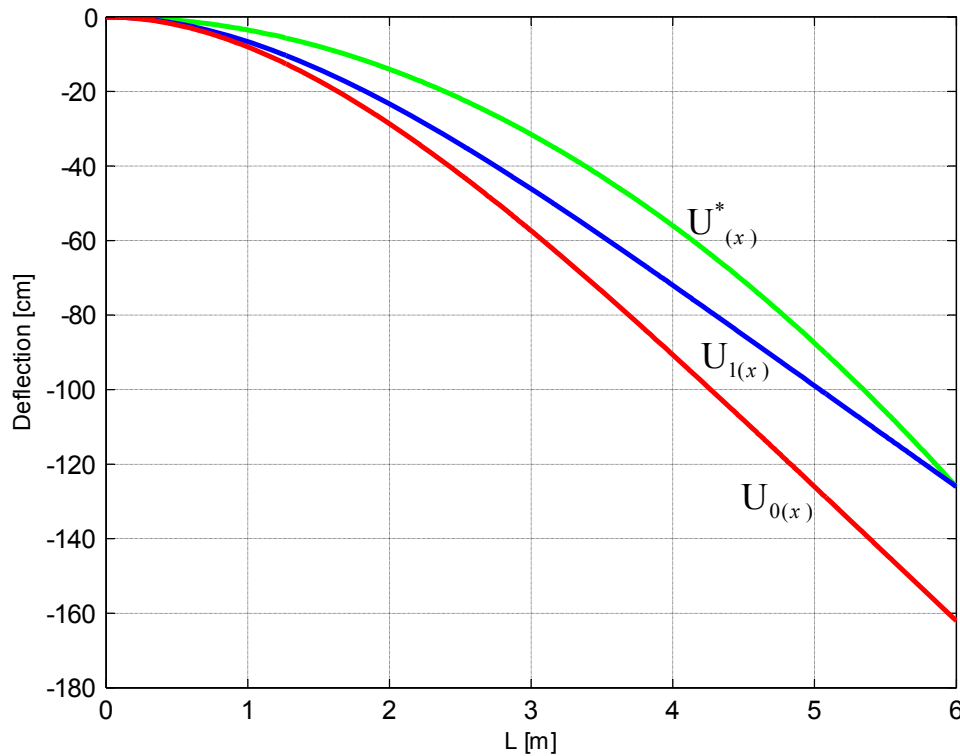
$$g_{(x)} = \frac{wx^2}{24}(6\ell^2 - 4\ell x + x^2) \quad (11)$$

الف- خطا در نقطه B صفر شود:

$$F_1 = \frac{3EI\alpha}{2\ell} - \frac{3w\ell}{8}$$

$$U_{1(x)} = \frac{1}{EI} \left(\left(\frac{3EI\alpha}{2\ell} - \frac{3w\ell}{8} \right) \left(\frac{x^2}{6}(3\ell - x) \right) + \left(\frac{wx^2}{24}(6\ell^2 - 4\ell x + x^2) \right) \right)$$

12



نمودار تغییر شکل تیر در حالت $\alpha = -0.07$, $L = 6 (m)$, $w = -2 (ton / m)$, $EI = 200 ton.m^2$, $F_1 = 1 ton$

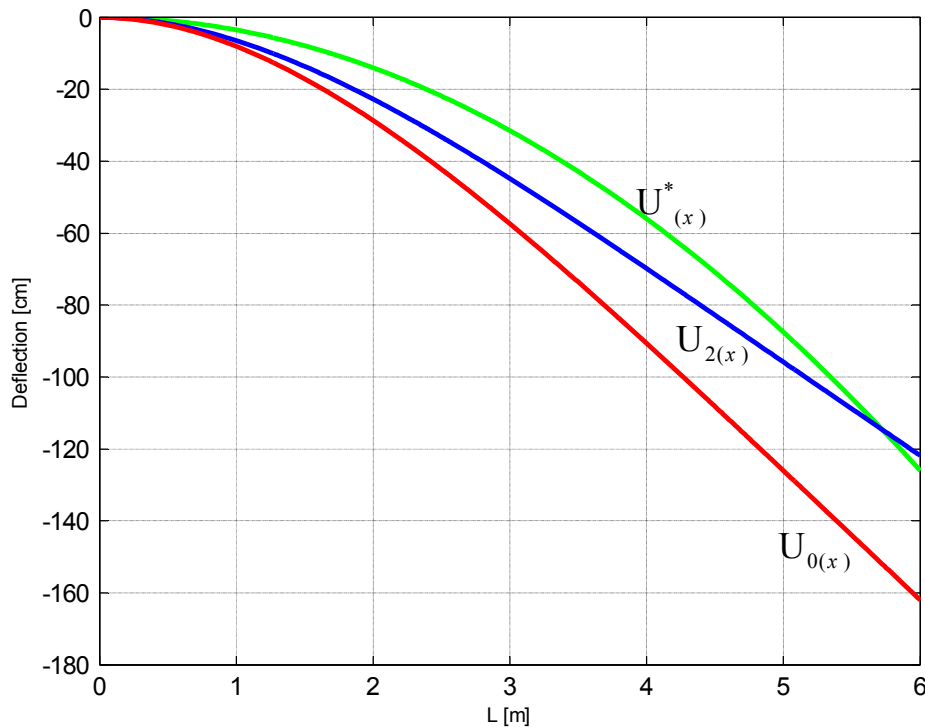
13

ب- مقدار خطا در نقاط وسط و انتهای تیر حداقل شود:

$$F_2 = \left(\frac{414}{281} \right) \frac{EI\alpha}{\ell} - \left(\frac{853}{2248} \right) w\ell$$

$$U_{2(x)} = \frac{1}{EI} \left[\left(\left(\frac{414}{281} \frac{EI\alpha}{\ell} - \frac{853}{2248} w\ell \right) \left(\frac{x^2}{6} (3\ell - x) \right) + \left(\frac{wx^2}{24} (6\ell^2 - 4\ell x + x^2) \right) \right) \right]$$

14



نمودار تغییر شکل تیر در حالت $\alpha = -0.07, L = 6 (m), w = -2 (ton / m), EI = 200 ton.m^2, F_2 = 1.116 ton$

15

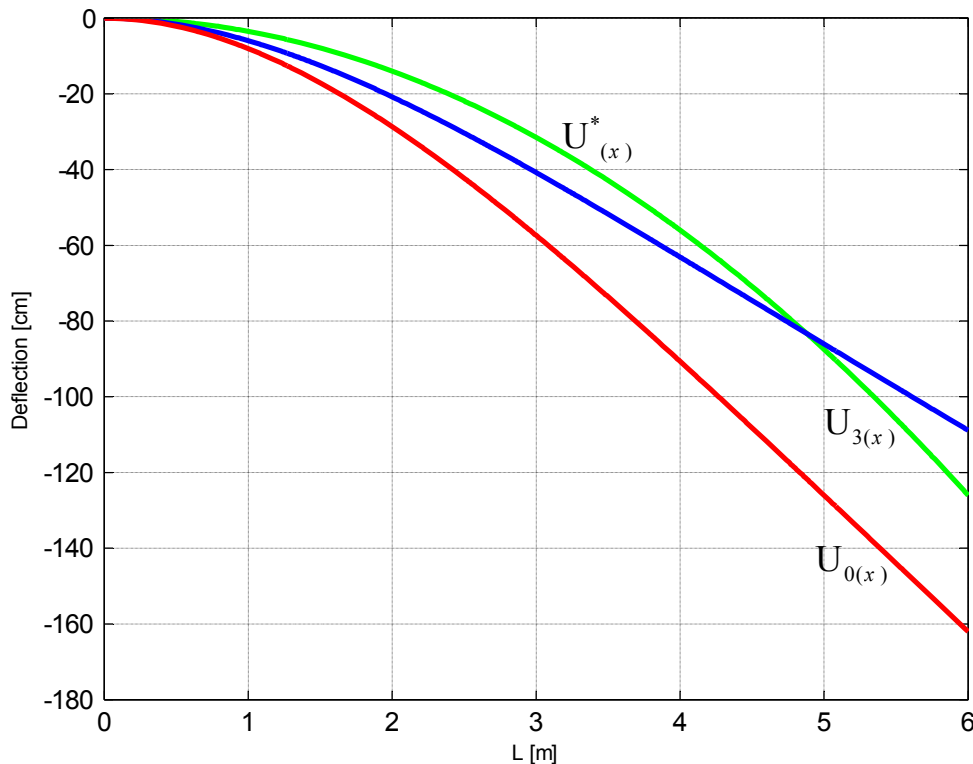
ج- مقدار خطا در طول تیر حداقل شود:

$$= \frac{\int_0^\ell \left(\frac{x^2}{6} (3\ell - x) \right) \left(\frac{EI}{2} \alpha x^2 - \left(\frac{wx^2}{24} (6\ell^2 - 4\ell x + x^2) \right) \right) dx}{\int_0^\ell \left(\frac{x^2}{6} (3\ell - x) \right)^2 dx}$$

$$\Rightarrow F_3 = \frac{91}{66} \frac{EI\alpha}{\ell} - \frac{413}{1056} w\ell$$

$$U_{3(x)} = \frac{1}{EI} \left(\left(\frac{91}{66} \frac{EI\alpha}{\ell} - \frac{413}{1056} w\ell \right) \left(\frac{x^2}{6} (3\ell - x) \right) + \left(\frac{wx^2}{24} (6\ell^2 - 4\ell x + x^2) \right) \right)$$

16

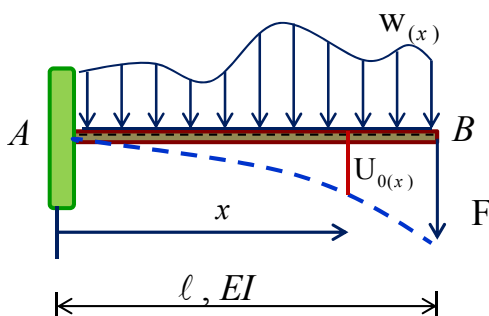


نمودار تغییر شکل تیر در حالت $\alpha = -0.07$, $L = 6 (m)$, $w = -2 (ton / m)$, $EI = 200 ton.m^2$, $F_3 = 1.476 ton$

17

مثال ۳- در تیر نشان داده شده جابجایی هدف برابر با $U^*_{(x)} = \frac{1}{2}\alpha x^2$ است. نیروی کنترلی F را در حالت‌های

زیر محاسبه نمایید:



الف- مقدار خطا در نقطه B صفر شود.

ب- مقدار خطا در نقاط وسط و انتهای تیر حداقل شود.

ج- مقدار خطا در طول تیر حداقل شود.

جابجایی تیر تحت اثر بار گسترده در نقاط وسط و انتهای تیر به ترتیب u_1 و u_2 است که توسط حسگرهایی اندازه‌گیری می‌گردد. جابجایی سایر نقاط از رابطه زیر قابل درونیابی می‌باشد:

$$U_{0(x)} = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2$$

تغییر شکل تیر تحت اثر بار گسترده برابر است با:

$$U_{0(x)} = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 \quad (I)$$

$$\left. \begin{aligned} \Rightarrow \alpha_0 + \alpha_1(0) + \alpha_2(0)^2 &= 0 \\ \Rightarrow \alpha_0 + \alpha_1(\ell/2) + \alpha_2(\ell/2)^2 &= u_1 \\ \Rightarrow \alpha_0 + \alpha_1(\ell) + \alpha_2(\ell)^2 &= u_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \begin{cases} \alpha_0 = 0 \\ \alpha_1 = \frac{4u_1 - u_2}{\ell} \\ \alpha_2 = \frac{2u_2 - 4u_1}{\ell^2} \end{cases} \quad (II)$$

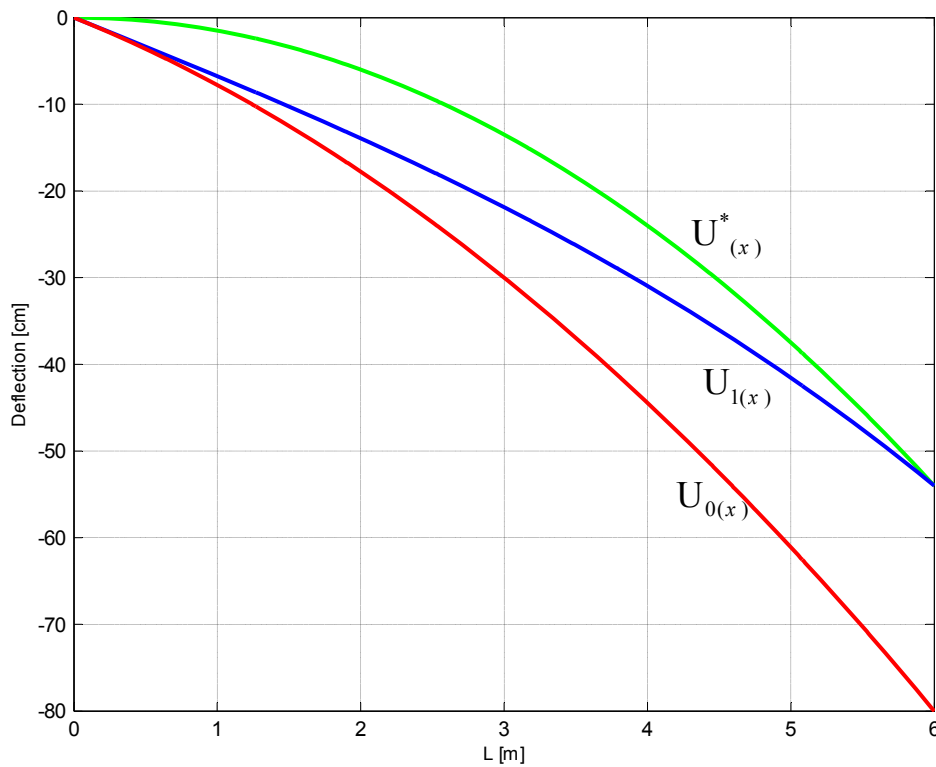
$$(II) \rightarrow (I) \Rightarrow U_{0(x)} = u_1 \left[4\left(\frac{x}{\ell}\right) - 4\left(\frac{x}{\ell}\right)^2 \right] + u_2 \left[-\left(\frac{x}{\ell}\right) + 2\left(\frac{x}{\ell}\right)^2 \right] \quad (12)$$

$$(12) \Rightarrow g_{(x)} = EIu_1 \left[4\left(\frac{x}{\ell}\right) - 4\left(\frac{x}{\ell}\right)^2 \right] + EIu_2 \left[-\left(\frac{x}{\ell}\right) + 2\left(\frac{x}{\ell}\right)^2 \right] \quad (13)$$

الف - خطا در نقطه B صفر شود:

$$F_1 = \frac{3EI\alpha}{2\ell} - \frac{3EIu_2}{\ell^3}$$

$$U_{1(x)} = \left(\frac{4u_1 - u_2}{\ell} \right) x + \left(\frac{3\alpha}{4} + \frac{u_2 - 8u_1}{2\ell^2} \right) x^2 - \left(\frac{\alpha}{4\ell} - \frac{u_2}{2\ell^3} \right) x^3$$



نمودار تغییر شکل تیر در حالت

$$\alpha = -0.03, L = 6 (m), w = -2 (ton / m), EI = 200 ton.m^2, F_1 = 0.722 ton, u_1 = -0.3 m, u_2 = -0.8 m$$

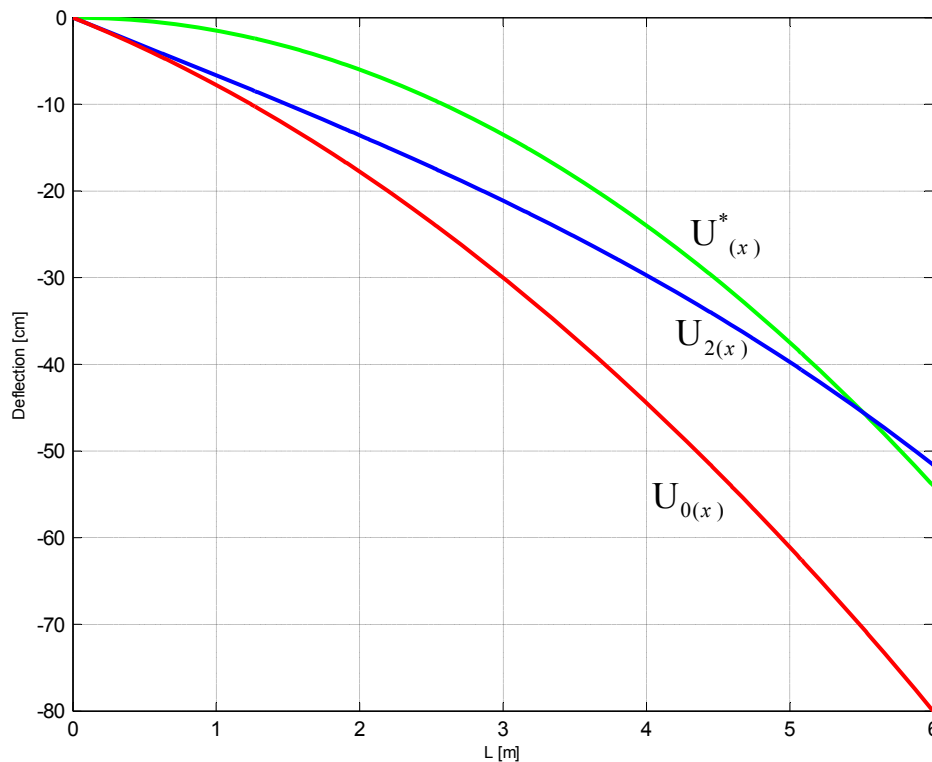
21

ب- مقدار خطا در نقاط وسط و انتهای تیر حداقل شود:

$$F_2 = \frac{EI}{\ell} (1.473\alpha) - \frac{EI}{\ell^3} (0.854u_1 + 2.733u_2)$$

$$U_{2(x)} = \left(\frac{4u_1 - u_2}{\ell} \right) x + \left(\frac{1.473\alpha \ell^2 + 1.267u_2 - 8.854u_1}{2\ell^2} \right) x^2 - \left(\frac{1.473\alpha \ell^2 - 0.854u_1 - 2.733u_2}{6\ell^3} \right) x^3$$

22



نمودار تغییر شکل تیر در حالت

$$\alpha = -0.03, L = 6 \text{ (m)}, w = -2 \text{ (ton / m)}, EI = 200 \text{ ton.m}^2, F_2 = 0.788 \text{ ton}, u_1 = -0.3 \text{ m}, u_2 = -0.8 \text{ m}$$

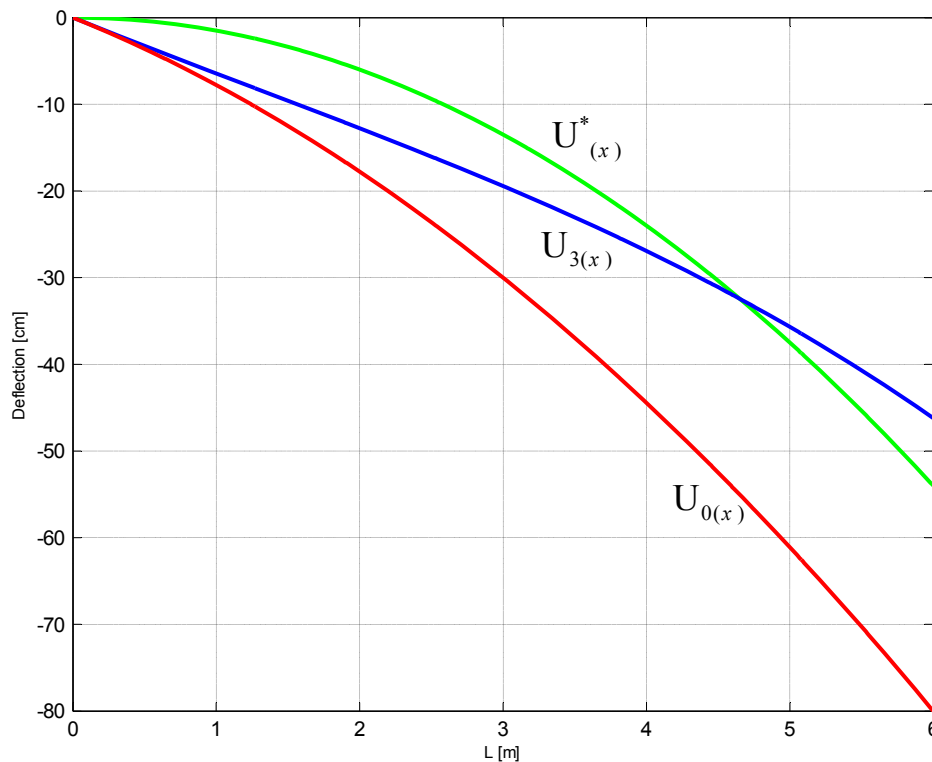
23

ج- مقدار خطا در طول تیر حداقل شود:

$$\Rightarrow F_3 = EI \left[\frac{91}{66} \left(\frac{\alpha}{\ell} \right) - \frac{1}{\ell^3} \left(\frac{98}{33} u_1 + \frac{133}{66} u_2 \right) \right]$$

$$U_{3(x)} = \left(\frac{4u_1 - u_2}{\ell} \right) x + \left(\frac{91\alpha}{132} - \frac{181u_1}{33\ell^2} + \frac{131u_2}{132\ell^2} \right) x^2 + \left(-\frac{91\alpha}{396\ell} + \frac{49u_1}{99\ell^3} + \frac{133u_2}{396\ell^3} \right) x^3$$

24

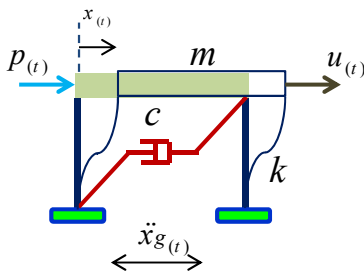


نمودار تغییر شکل تیر در حالت

$$\alpha = -0.03, L = 6 \text{ (m)}, w = -2 \text{ (ton / m)}, EI = 200 \text{ ton.m}^2, F_3 = 0.939 \text{ ton}, u_1 = -0.3 \text{ m}, u_2 = -0.8 \text{ m}$$

25

کنترل با بازخورد سختی و میرایی در سیستم‌های SDOF



نیروی کنترل $u(t)$ در حالت بازخورد تابعی از جابجایی و سرعت به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

$$u(t) = -c_d \dot{x}(t) - k_d x(t) \quad (12)$$

هدف در کنترل فعال آن است که این نیروی کنترل به گونه‌ای محاسبه شود تا رفتار سازه متعادل گردد. معادله دیفرانسیل حرکت با در نظر گرفتن نیروی کنترل به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{x}_g(t) + p(t) + u(t) \quad (13)$$

مراحل کنترل به شرح زیر می‌باشد:

- پاسخ در حالت کنترل نشده محاسبه یا اندازه‌گیری می‌شود.
- نیروی کنترل $u(t)$ با انتخاب مقادیر دلخواه برای c_d و k_d محاسبه می‌گردد.
- معادله حرکت با احتساب نیروی کنترل تشکیل می‌شود.
- پاسخ سازه کنترل شده محاسبه می‌گردد. در صورتی که پاسخ سازه در حد مجاز قرار داشته باشد نیروی کنترل انتخابی مطلوب است. در غیر این صورت مقادیر جدیدی برای c_d و k_d انتخاب می‌گردد و مراحل فوق تا زمانی که پاسخ‌ها در محدوده مطلوب قرار گیرند تکرار می‌شود.

26

کنترل با بازخورد سختی و میرایی در سیستم‌های SDOF

با جایگذاری معادله (۱۲) در معادله (۱۳) خواهیم داشت:

$$(12) \rightarrow (13) \Rightarrow m\ddot{x}_{(t)} + (c + c_d)\dot{x}_{(t)} + (k + k_d)x_{(t)} = -m\ddot{x}_{g(t)} + p_{(t)} \quad (14)$$

توجه شود که در این جا سختی و میرایی سازه تغییر نمی‌کند. در واقع عملیات از نظر ریاضی در حال انجام است در غیر این صورت با کنترل غیر فعال و نیمه فعال مواجه خواهیم بود. طرفین رابطه (۱۴) را بر m تقسیم می‌کنیم:

$$(14) \xrightarrow{+m} \ddot{x}_{(t)} + \left(\frac{c}{m} + \frac{c_d}{m}\right)\dot{x}_{(t)} + \left(\frac{k}{m} + \frac{k_d}{m}\right)x_{(t)} = -\ddot{x}_{g(t)} + \frac{p_{(t)}}{m} \quad (15)$$

با تعریف پارامترهای زیر

$$\begin{aligned} \frac{k}{m} &= \omega^2 & 2\xi\omega + \frac{c_d}{m} &= 2\xi_{eq}\omega_{eq} \\ \frac{c}{m} &= 2\xi\omega & \omega^2 + \frac{k_d}{m} &= \omega_{eq}^2 \end{aligned} \quad (16)$$

27

کنترل با بازخورد سختی و میرایی در سیستم‌های SDOF

رابطه (۱۵) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$(16) \rightarrow (15) \Rightarrow \ddot{x}_{(t)} + 2\xi_{eq}\omega_{eq}\dot{x}_{(t)} + \omega_{eq}^2 x_{(t)} = -\ddot{x}_{g(t)} + \frac{p_{(t)}}{m} \quad (17)$$

معادله (۱۷) مشابه معادله یک سیستم SDOF بدون نیروی کنترل می‌باشد؛ با این تفاوت که نسبت میرایی معادل ξ_{eq} و فرکانس معادل ω_{eq} به جای ξ و ω قرار می‌گیرد.

$$(16) \Rightarrow \omega_{eq} = \sqrt{\omega^2 + \frac{k_d}{m}} \xrightarrow{m=\frac{k}{\omega^2}} \omega_{eq} = \omega \sqrt{1 + \frac{k_d}{k}} \quad (18)$$

ξ_{α} مقدار افزایش ضریب میرایی ناشی از نیروی کنترل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\xi_{\alpha} + \xi = \xi_{eq} \Rightarrow \xi_{\alpha} = \xi_{eq} - \xi \quad (19)$$

28

کنترل با بازخورد سختی و میرایی در سیستم‌های SDOF

از رابطه (۱۶) ضریب میرایی معادل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$(16) \Rightarrow 2\xi\omega + \frac{c_d}{m} = 2\xi_{eq}\omega_{eq} \Rightarrow \xi_{eq} = \frac{\omega}{\omega_{eq}}\xi + \frac{c_d}{2m\omega_{eq}} \quad (20)$$

با جایگذاری رابطه‌های (۱۸) و (۲۰) در رابطه (۱۹) خواهیم داشت:

$$(20) \rightarrow (19) \Rightarrow \xi_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{k_d}{k}}} \left(\frac{c_d}{2m\omega} - \xi \left(\sqrt{1 + \frac{k_d}{k}} - 1 \right) \right) \quad (21)$$

حالت حدی $\xi_{eq} = 1$

$$(16), (18) \xRightarrow{\xi_{eq}=1} \frac{c_d}{2\omega m} = \sqrt{1 + \frac{k_d}{k}} - \xi \quad (22)$$

29

کنترل با بازخورد سختی و میرایی در سیستم‌های SDOF

با بررسی روابط (۱۸) و (۲۱) می‌توان نتیجه گرفت:

$$(18) \Rightarrow \text{if } k_d \uparrow \Rightarrow \omega_{eq} \uparrow$$

$$(21) \Rightarrow \text{if } k_d \uparrow \Rightarrow \xi_{\alpha} \downarrow$$

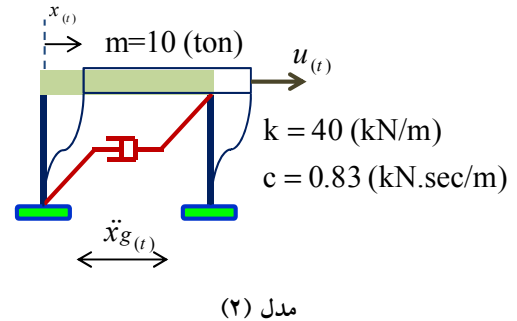
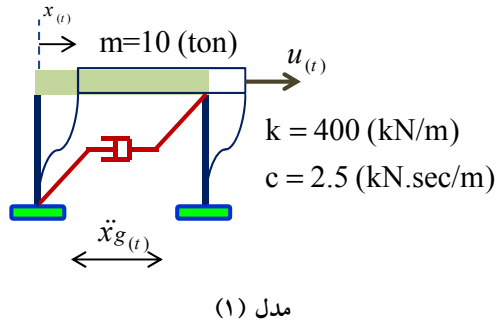
- اگر بازخورد جابجایی در حال افزایش باشد و بخواهیم با افزایش k_d جابجایی را کم کنیم در این صورت افزایش k_d باعث افزایش فرکانس شده و میرایی اضافه شده به سازه را هم کم می‌کند. این امر ممکن است باعث ناپایداری سازه گردد. بنابراین اگر بخواهیم جابجایی را کاهش دهیم کار کردن با میرایی مناسب‌تر است.

- اگر بازخورد سرعت در حال افزایش باشد و بخواهیم با افزایش c_d سرعت را کم کنیم در این صورت افزایش c_d باعث افزایش میرایی اضافه شده به سازه می‌گردد.

(در کل کار کردن با c_d به جای k_d پاسخ‌های بهتری نتیجه می‌دهد)

30

مثال ۴- رفتار دو مدل SDOF نشان داده شده تحت اثر دو زلزله Elcentro و Kobe را با در نظر گرفتن بازخورد سرعت کنترل نمایید.

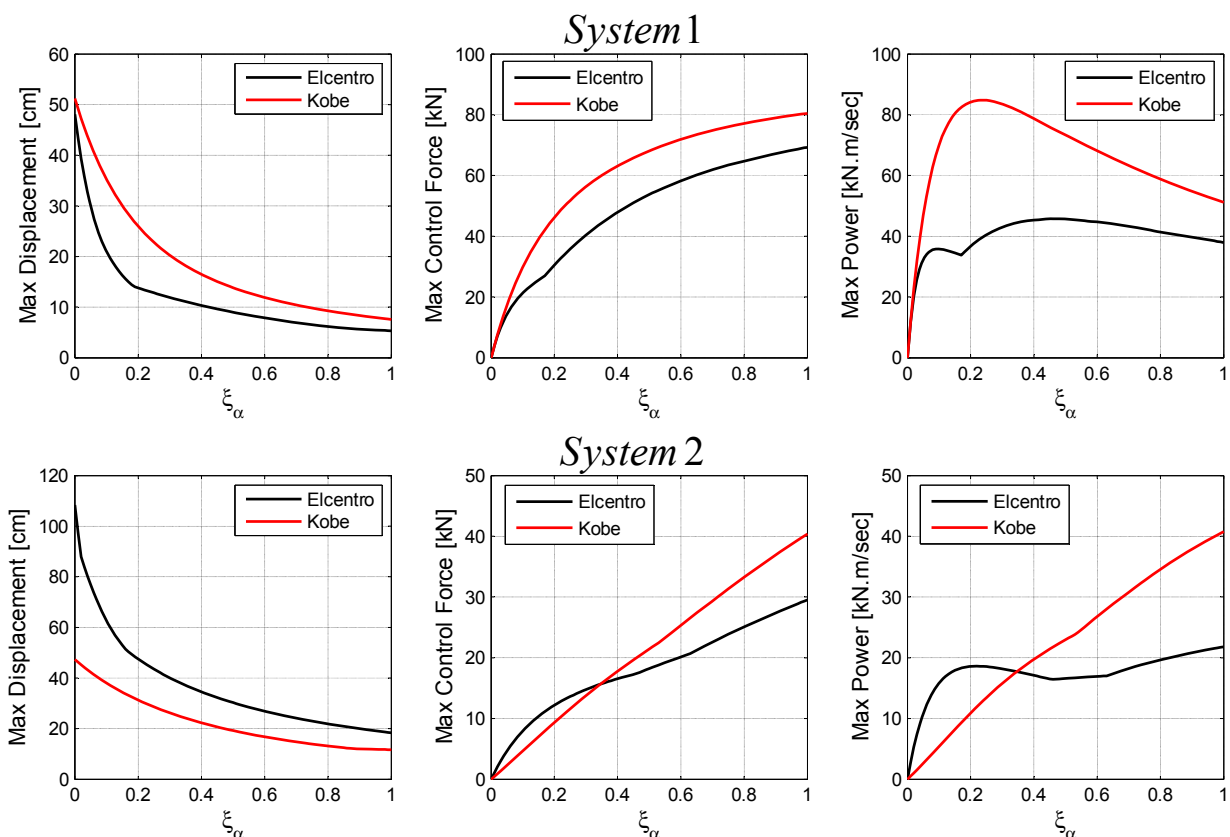


Matlab Code (L07Example04.m)

31

پاسخ مثال ۴-

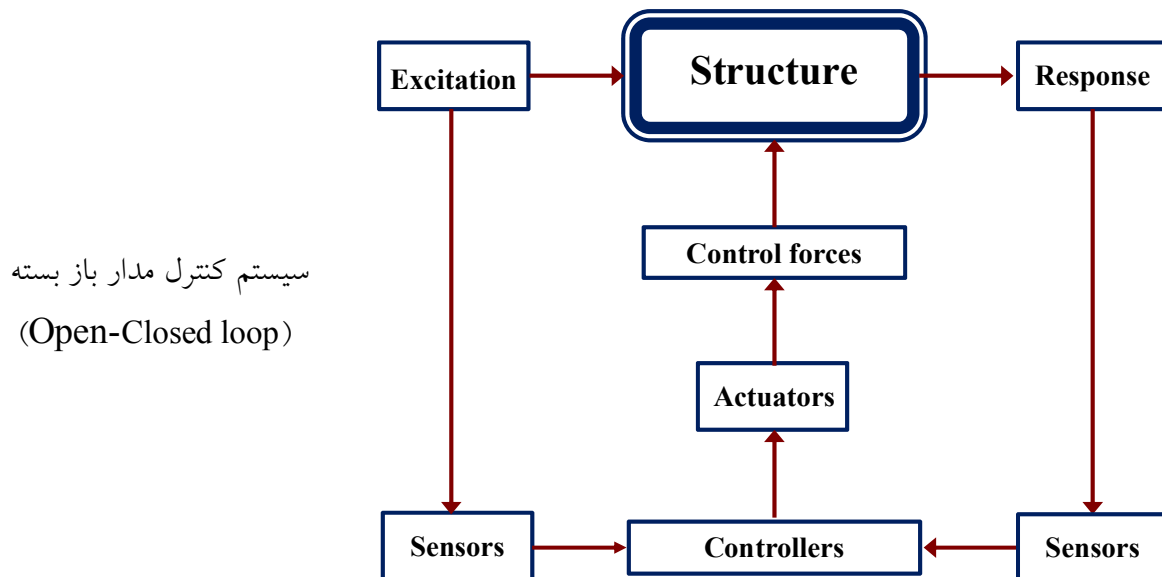
$$(21) \Rightarrow c_d = 2m\omega \left[\xi_\alpha \sqrt{1 + \frac{k_d}{k}} + \xi \left(\sqrt{1 + \frac{k_d}{k}} - 1 \right) \right]$$



32

سیستم کنترل مدار باز - بسته (Open-Closed loop)

در این نوع ساختار کنترلی، نیروهای کنترل براساس خروجی‌ها (پاسخ‌های سازه) و ورودی‌ها (نیروی خارجی) محاسبه شده و به سازه اعمال می‌شود. این نوع سیستم کنترلی نیز یک کنترل باز خور (Feedback control) است.



33

محرک (مولد نیرو):

دستگاه‌های مولد نیرو یا راه‌اندازها به منظور اعمال نیروی خارجی کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

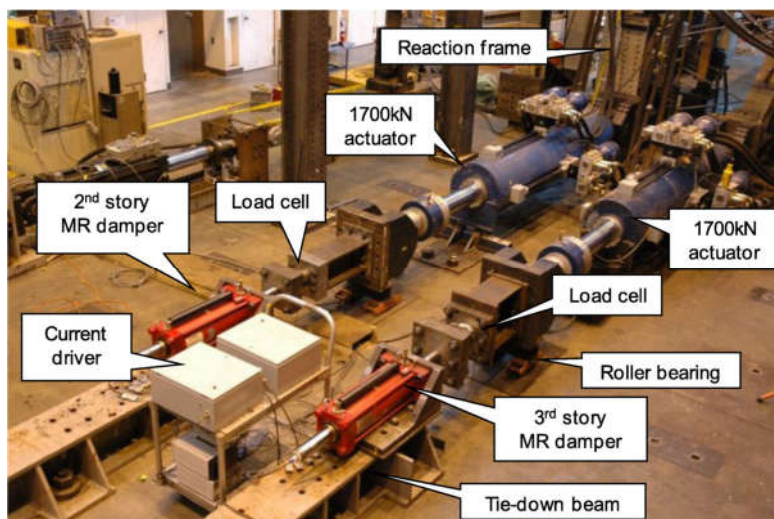


یک محرک ایده‌آل باید سه شرط اصلی را دارا باشد:

- بتواند تولید نیروی زیادی نماید.
- در مدت زمان کوتاهی نیرو را اعمال نماید.
- انرژی مصرفی آن کم باشد.

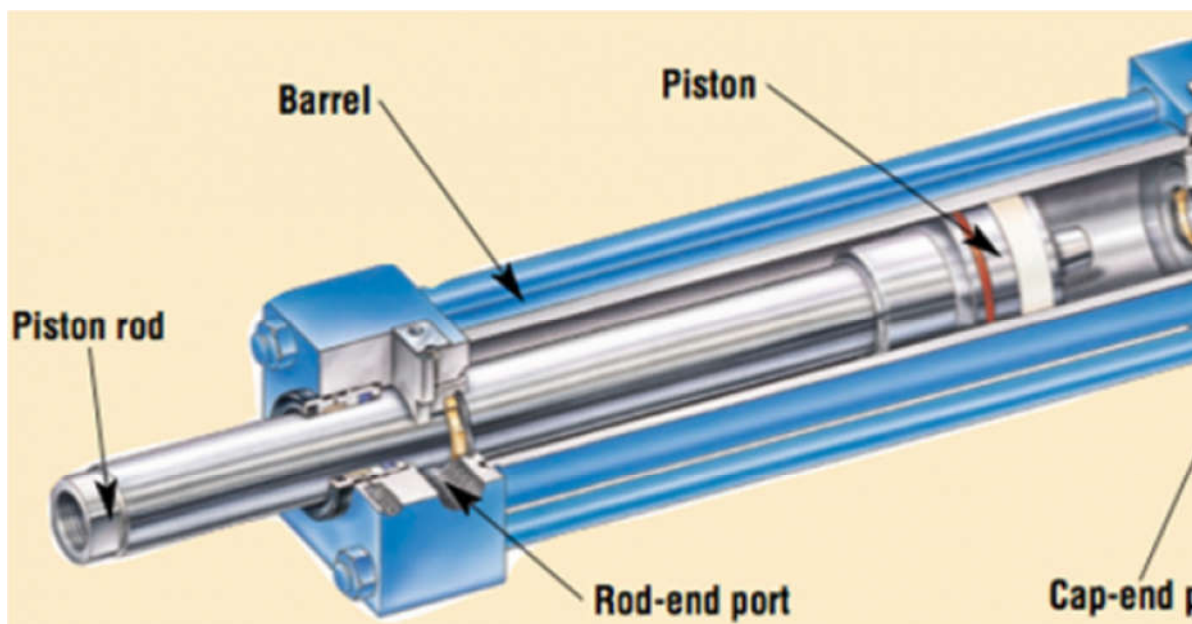
دو سوال در مورد محرک‌ها مطرح می‌شود:

- نیرو به چه صورتی ایجاد می‌شود؟
- چگونه نیرو به سازه انتقال داده می‌شود؟



34

ساختار بیشتر راهاندازها مشتمل بر یک پیستون و نیرویی است که به آن اعمال می‌شود تا باعث حرکت آن شود. حرکت پیستون و انتقال آن به سازه، نیروی کنترلی لازم را به وجود می‌آورد.

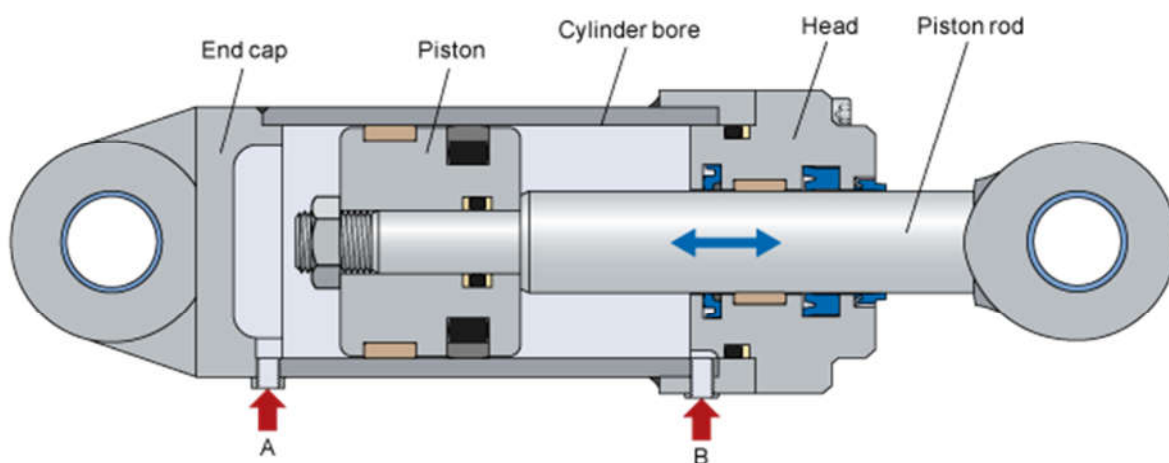


35

سه نمونه متعارف محرک‌ها به شرح زیر است:

▪ محرک هیدرولیکی (Hydraulic Actuator):

در این نوع راهانداز، اعمال نیرو به پیستون که در داخل سیلندر حرکت می‌کند از طریق وارد یا خارج شدن مایع از روزنه می‌باشد



36

سه نمونه متعارف محرک ها به شرح زیر است:

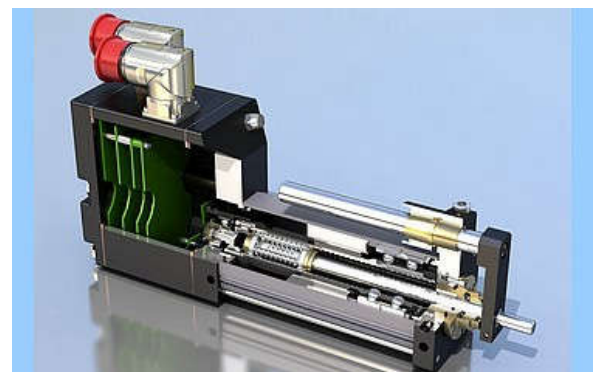
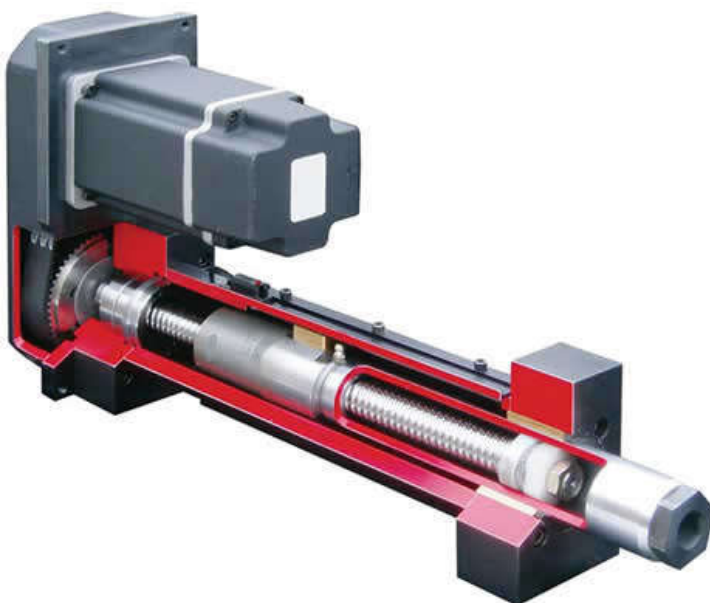
- محرک هیدرولیکی (Hydraulic Actuator):



37

سه نمونه متعارف محرک ها به شرح زیر است:

- محرک الکترومکانیکی (Electromechanical Actuator): در این نوع راه انداز، حرکت پیستون توسط دنده های برقی انجام می گیرد.



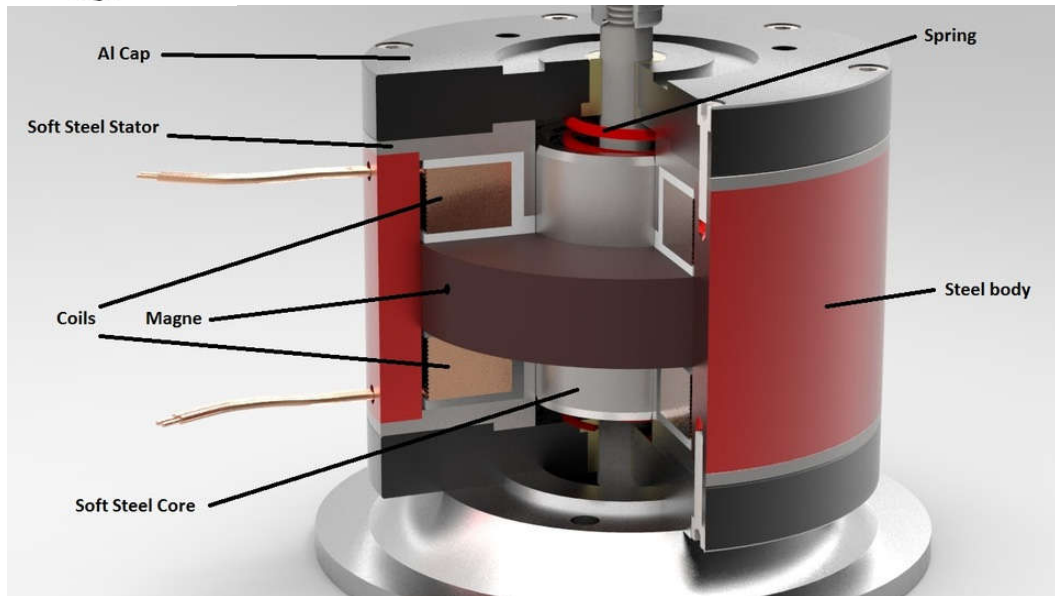
38



سه نمونه متعارف محرک‌ها به شرح زیر است:

▪ محرک الکترومغناطیسی (Electromagnetic Actuator):

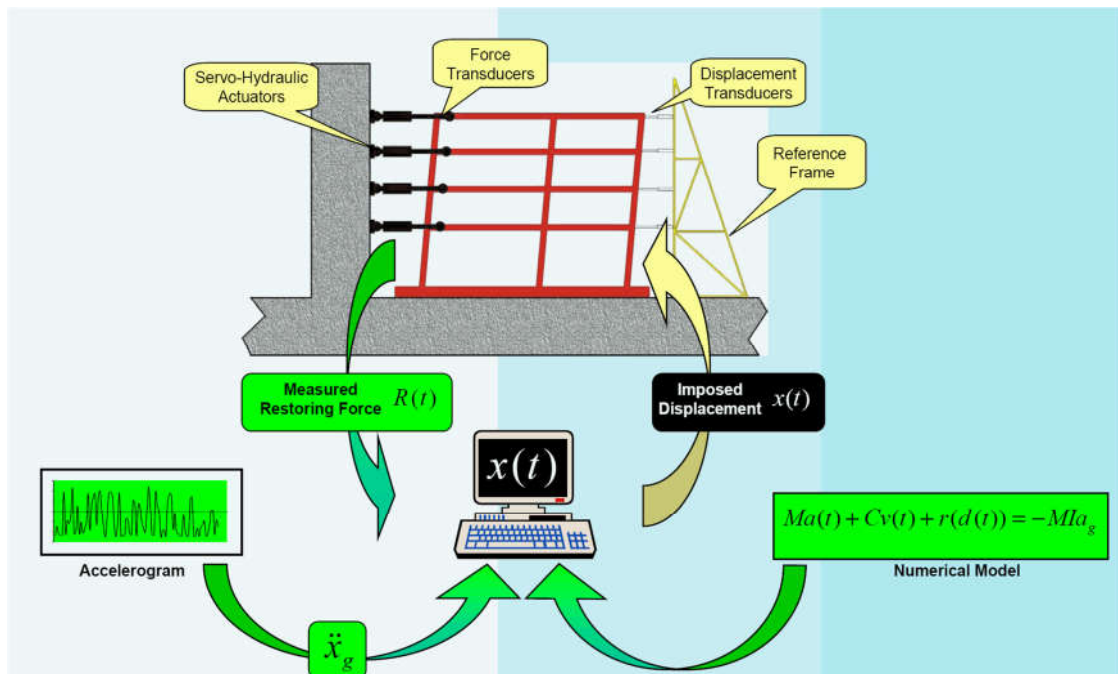
در این نوع راه انداز، حرکت پیستون توسط میدان مغناطیسی انجام می گیرد.



39

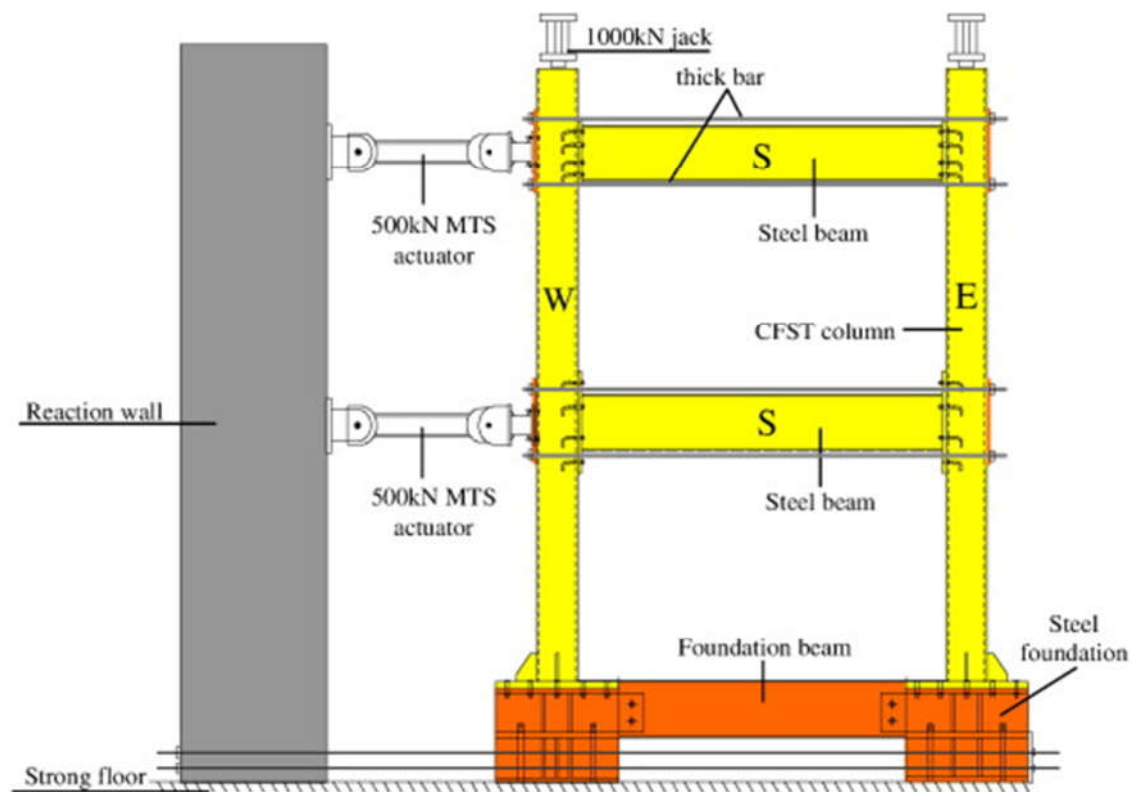
به شیوه‌های مختلفی می توان نیروی راه انداز را به سازه منتقل کرد:

محرک خارج از سازه: می توان راه انداز یا محرک را در منطقه‌ای مستقل (خارج) از سازه ثابت کرد و با حرکت پیستون نیروی لازم را به سازه انتقال داد.



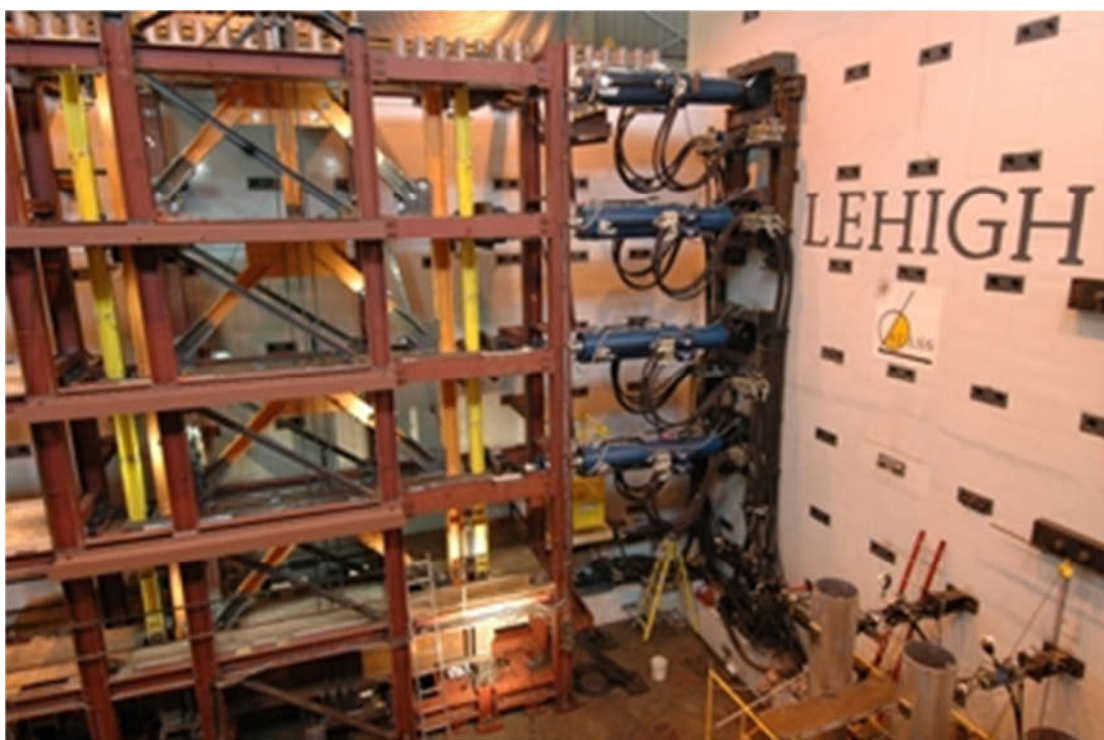
40

محرک خارج از سازه:

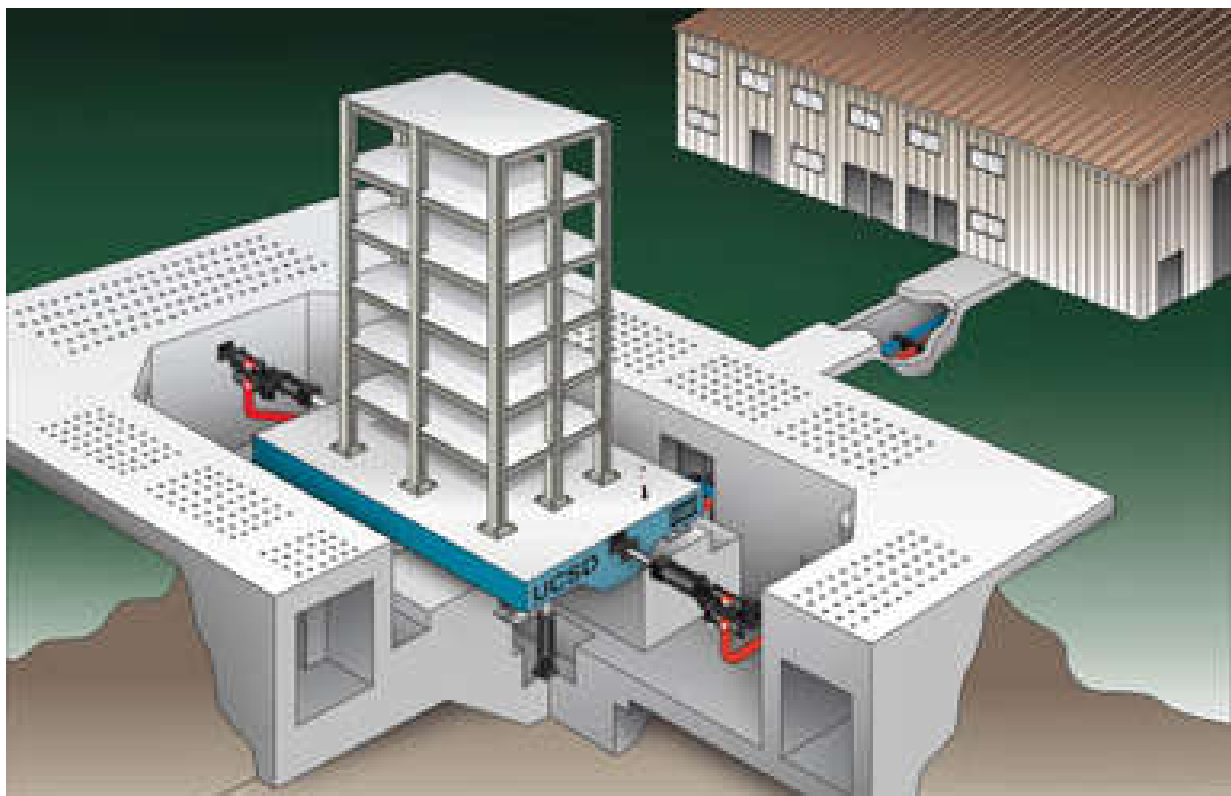


41

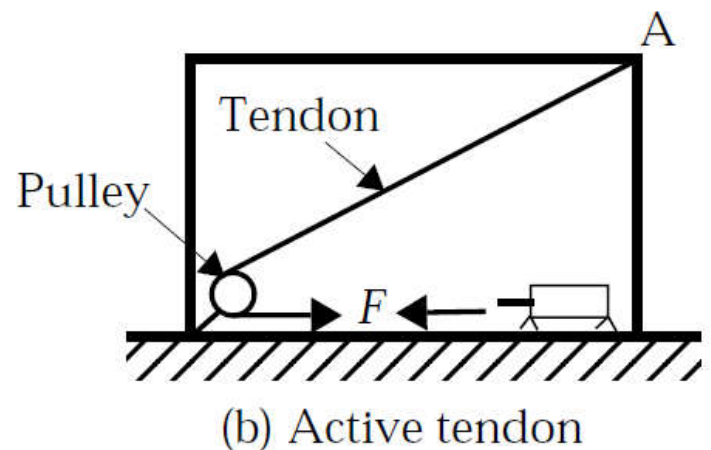
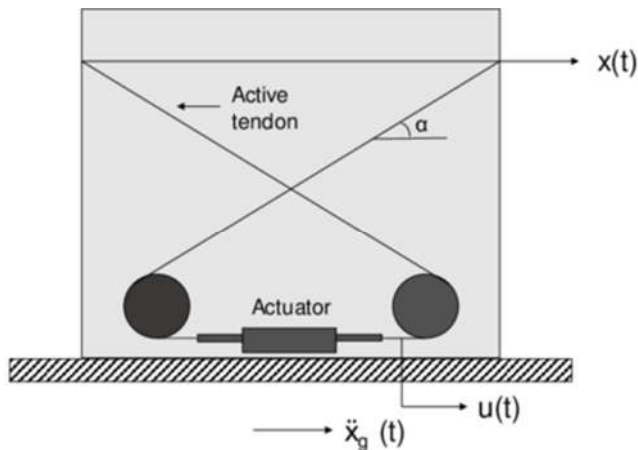
محرک خارج از سازه:



42

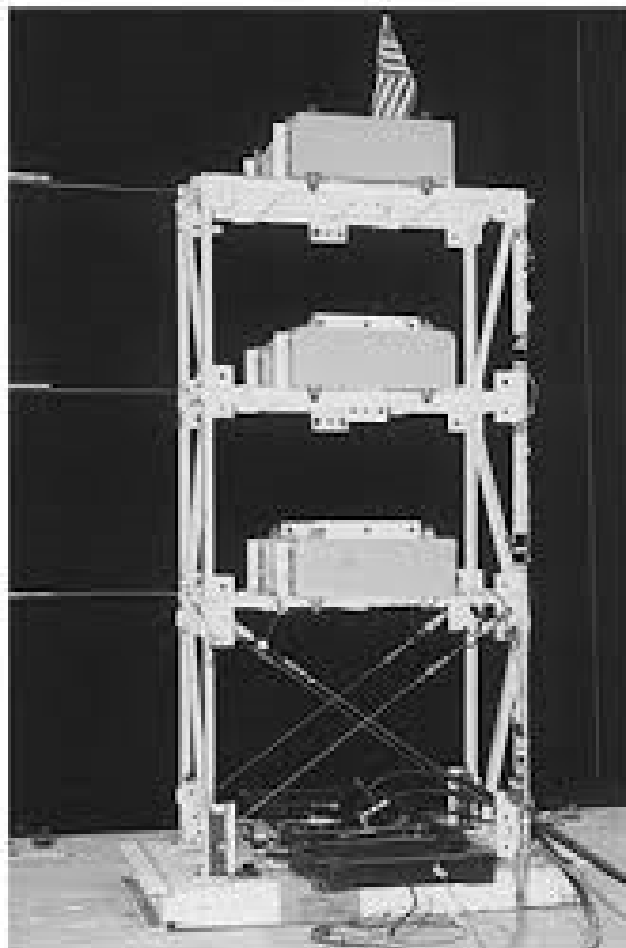


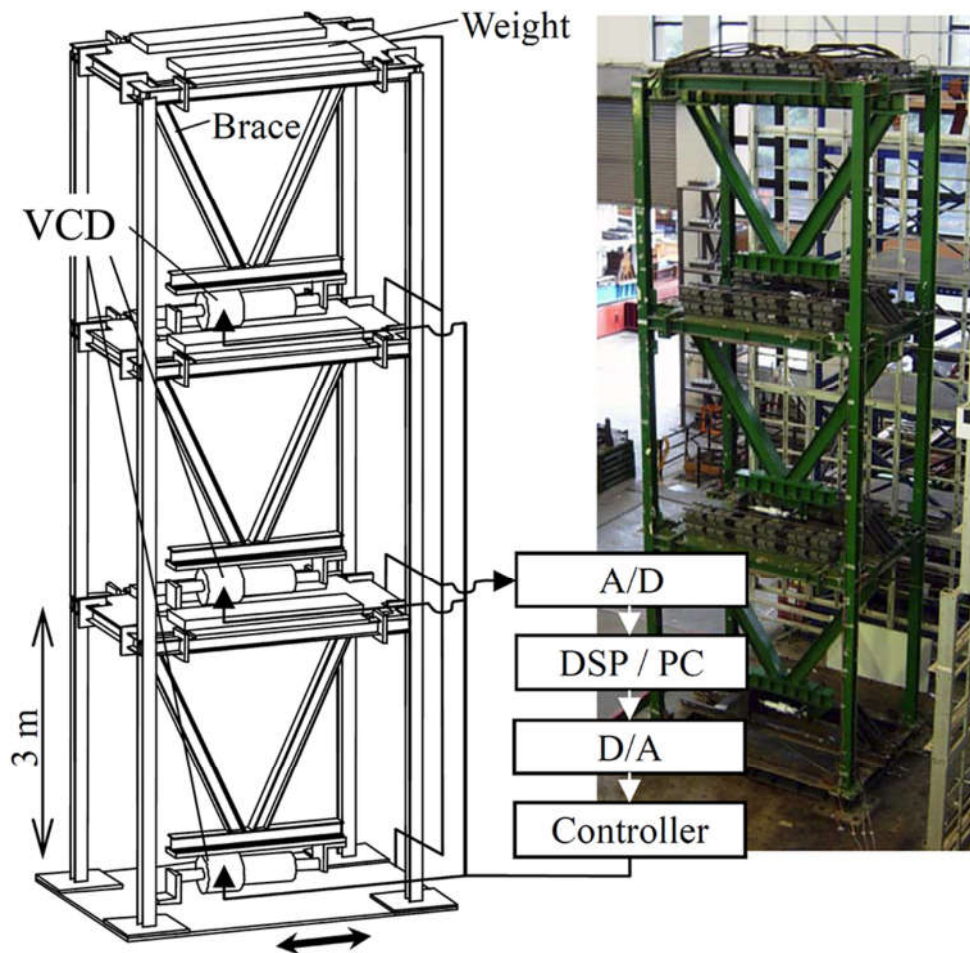
محرك داخل سازه: در اين حالت راه انداز در سازه نصب مي شود و بايد اندرکنش آن با سازه را در محاسبات لحاظ نمود.



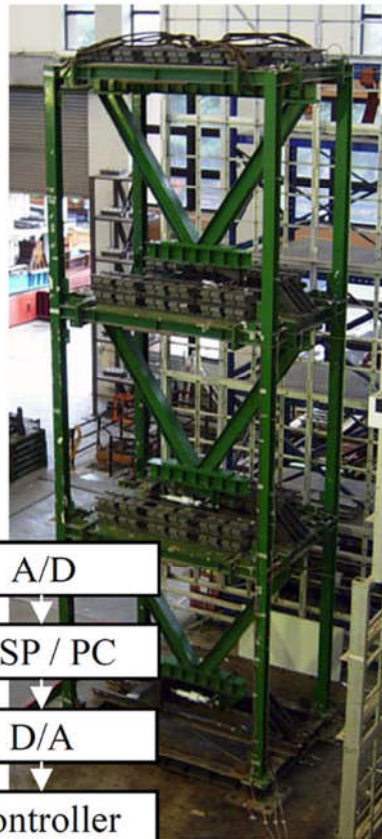
(b) Active tendon

محرك داخل سازه:





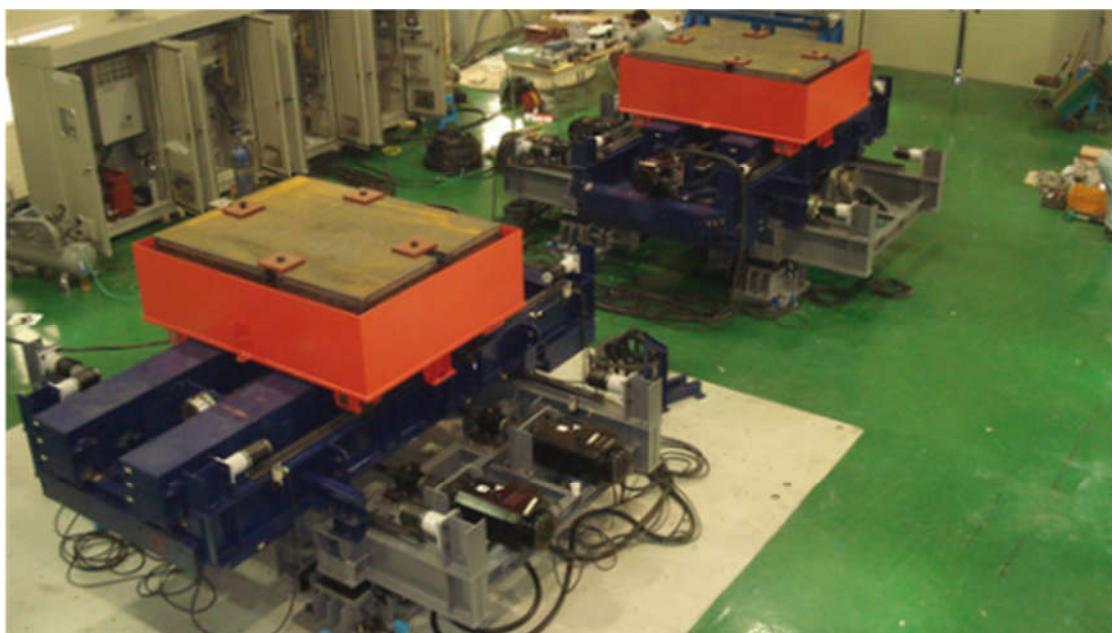
محرک داخل سازه:



47

محرک بر روی سازه: می‌توان راه‌انداز را بر روی سازه قرار داد. در این روش نیرو به یک جرم متحرک وارد می‌شود و از طریق حرکت این جرم، نیروی کنترلی لازم به سازه اعمال می‌گردد.

میراگر جرمی فعال
(AMD: Active Mass Damper)



48

محرك بر روی سازه:

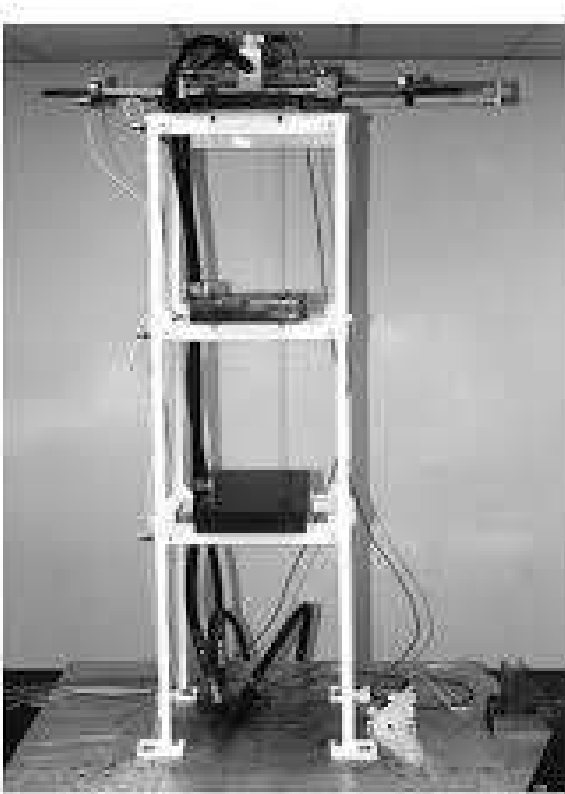


Figure 1. Three Degree-of-Freedom Test Structure with AMD System.

49

با توجه به مشکلات راه اندازها نظیر انرژی مصرفی زیاد و نحوه انتقال نیرو (انتقال نیروی زیاد در یک نقطه متمرکز از سازه) تجهیزات کنترلی نیمه فعال مطرح شدند. تجهیزات کنترلی نیمه فعال نظیر بعضی از انواع میراگرها، دستگاه‌های با سختی متغیر و مصالح هوشمند این مزیت را دارند که با تغییر مشخصات خود نیروهای کنترلی لازم را هنگام وقوع زلزله، با مصرف کم انرژی، به سازه اعمال نمایند؛ بنابراین به این تجهیزات یا مصالح، ابزار یا مصالح تطبیقی (Adaptive Device or Material) نیز گفته می‌شود. در ساختمان‌های مدرن بخشی از مقاومت جانبی (در حدود ۳۰٪) بر عهده تجهیزات نیمه فعال و مابقی آن (۷۰٪) بر عهده خود سازه می‌باشد.

نمونه‌هایی از تجهیزات نیمه فعال به شرح زیر است:

۱. میراگرهای هیدرولیکی نیمه فعال با روزنه متغیر

۲. محرك پیزوالکتریک

۳. محرك با آلیاژهای حافظه‌دار

۴. محرك حاوی سیال کنترل‌پذیر

50

Semi-active hydraulic Dampers (SHD) with a variable orifice

۱- میراگرهای هیدرولیکی نیمه فعال با روزنه متغیر

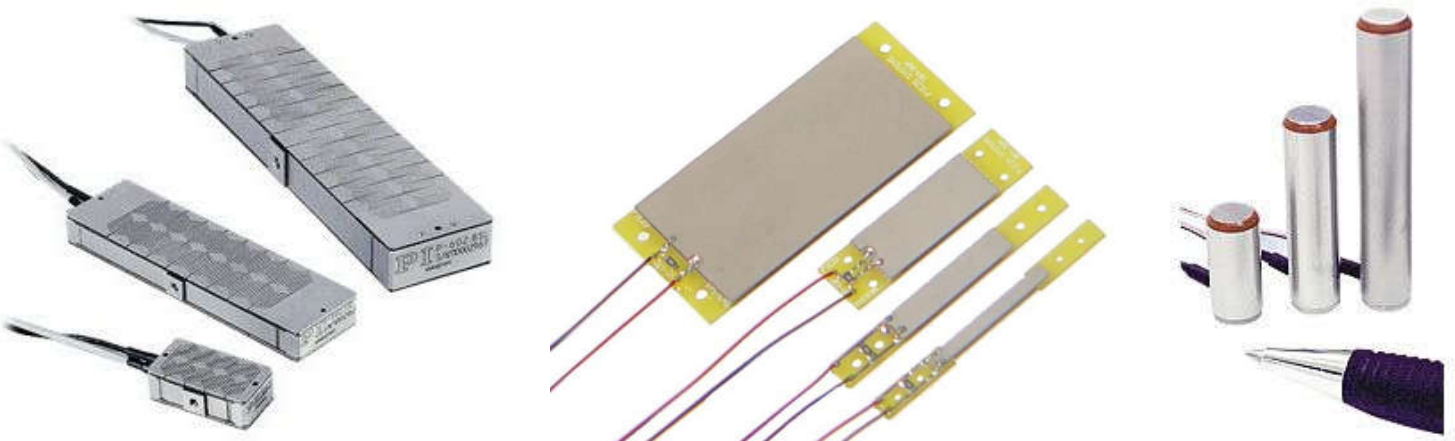
این نوع میراگر با تنظیم خودکار روزنه ورود و خروج سیال می تواند نیروی کنترل تولید شده را تغییر دهد. به طور نمونه میراگر SHD را شرکت Kajima ژاپن تولید می کند. ضریب میرایی این دستگاه به صورت لحظه ای از طریق باز و بسته شدن یک روزنه کوچک که دو بخش محفظه هیدرولیکی را به هم مرتبط می کند تنظیم می شود. این دستگاه قادر است با مصرف 70 watt برق نیروی 100 kN تولید نماید.



51

۲- محرک پیزوالکتریک (Piezoelectric Actuator)

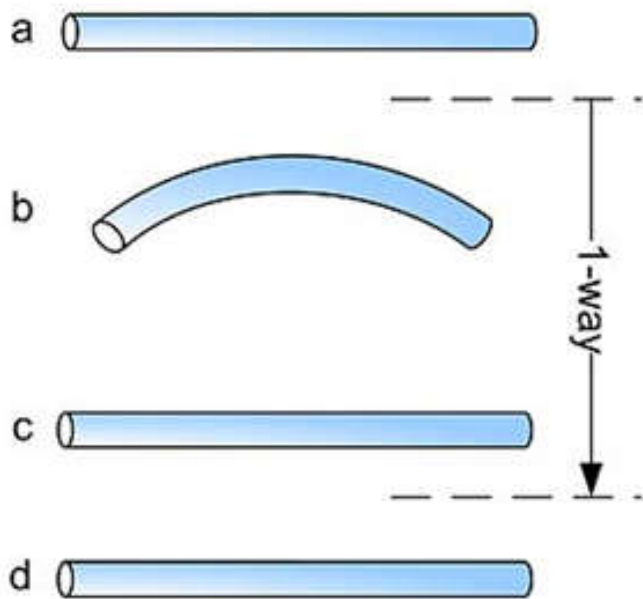
نوعی مصالح orthotropic می باشند که دارای یک صفحه تقارن و یک محور تقارن است. خصوصیات مصالح در صفحه تقارن در هر جهت یکسان می باشد؛ اما عمود بر صفحه در راستای محور تقارن متفاوت است. به طور همزمان می تواند به عنوان حسگر و محرک کار کند. محرک پیزوالکتریک مصالح آن تحت اثر ولتاژ الکتریکی ساختار مولوکولی آن ها تغییر یافته و در دسته های مختلف تغییر شکل می دهند.



52

۳- محرک با آلیاژهای حافظه دار (Shape Memory Alloys Actuator)

آلیاژ حافظه دار گروهی از آلیاژهای فلزی هستند که این توانایی را دارند که اگر آن‌ها را تا بالای دمای ویژه‌ای گرم کنیم، قادر به بازبازی شکل اولیه خود خواهند بود.



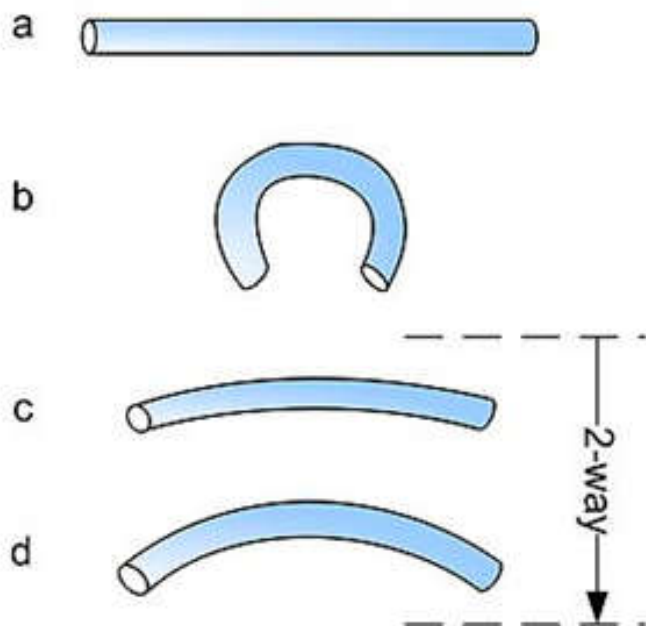
بر این اساس، خاصیت حافظه داری، به دو دسته‌ی عمده تقسیم می‌شود:

۱. در دسته‌ی اول، تغییر شکل ایجاد شده، فقط با گرم کردن به حالت اولیه‌ی قبل از تغییر شکل باز می‌گردد و اگر جسم را دوباره سرد کنیم، تغییر جدیدی در شکل آن مشاهده نمی‌شود که این پدیده را «حافظه داری یک طرفه» نامیده‌اند. در آلیاژهایی که دارای این ویژگی می‌باشند، هدف، بازبازی شکل اولیه‌ی نمونه‌ای است که تحت بارگذاری مکانیکی قرار گرفته و تغییر شکل داده‌است.

53

۳- محرک با آلیاژهای حافظه دار (Shape Memory Alloys Actuator)

۲. دسته‌ی دوم از این آلیاژها، پدیده‌ی «حافظه داری دوطرفه» را از خود بروز می‌دهند. این آلیاژها قادرند با سرد و گرم شدن در محدوده‌ی معینی از دما، دوباره به حالت قبلی خود بازگردند؛ یعنی، در دو طرف محدوده‌ی تغییر دما، شکل مشخصی از خود به نمایش می‌گذارند. آلیاژهایی که در این گروه هستند، کاربردی متفاوت دارند؛ بدین گونه در این نوع کاربرد، نیازی به اعمال نیرو نمی‌باشد و فقط با فراهم کردن شرایط دمایی معین، در دو سر بازه‌ی دمایی تعریف شده برای آلیاژ حافظه دار دوطرفه، می‌توان به شکل معین و از پیش تعیین شده‌ای برای این دسته از آلیاژها رسید. با اصلاح میکروساختار آلیاژهای حافظه دار دوطرفه، می‌توان به خواص پایدارتری رسید. به‌طور مثال، تربیت آلیاژهای حافظه داری که دارای استحکام بالاتری می‌باشند (دانه‌های ریزتر) به‌منظور رسیدن به خاصیت حافظه داری دوطرفه، کار دشوارتری می‌باشد.



54

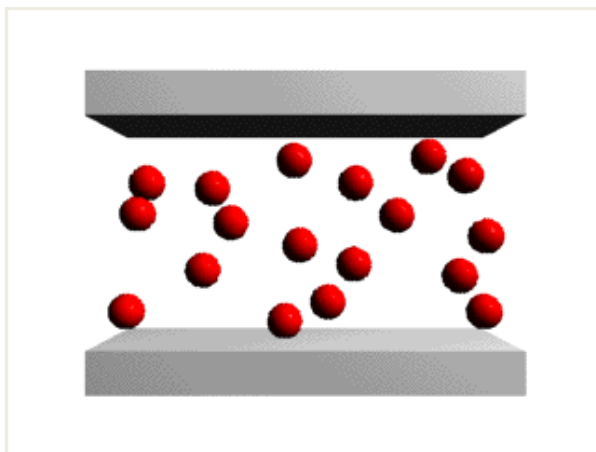
۳- محرک با آلیاژهای حافظه دار (Shape Memory Alloys Actuator)



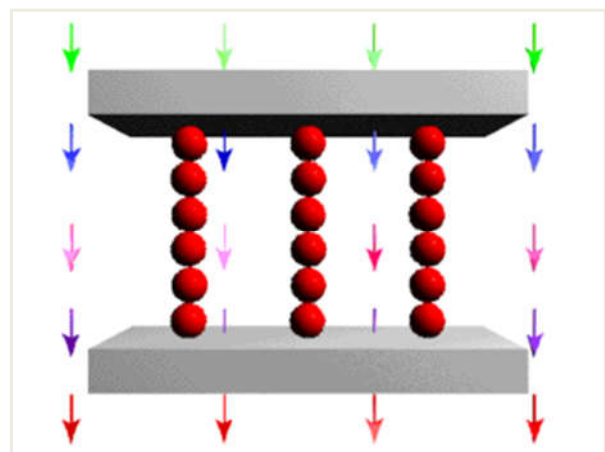
55

۴- محرک حاوی سیال کنترل پذیر (Controllable Fluids)

سیالات کنترل پذیر سیالاتی هستند که تحت اثر میدان الکتریکی یا مغناطیسی از حالت مایع به حالت نیمه جامد تغییر حالت می دهند. در صورتی که سیال تحت اثر میدان الکتریکی تغییر حالت دهد به آن ER (Elect-Rheological) و در صورتی که تحت اثر میدان مغناطیسی تغییر حالت دهد به آن MR (Magneto-Rheological) می گویند. با استفاده از این نوع سیالات، میراگرهای مختلفی ساخته شده است.



Without Magnetic (Electric) Field



With Magnetic (Electric) Field

56

۴- محرک حاوی سیال کنترل پذیر (Controllable Fluids)

به طور نمونه 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 قطب پذیر معلق در یک سیال است. در صورتی که سیال در معرض میدان مغناطیسی قرار گیرد سیال از حالت مایع به حالت نیمه جامد تبدیل می گردد. این میراگر قادر است با صرف 20-50 Watt برق نیرویی معادل 200 kN تولید نماید.

