

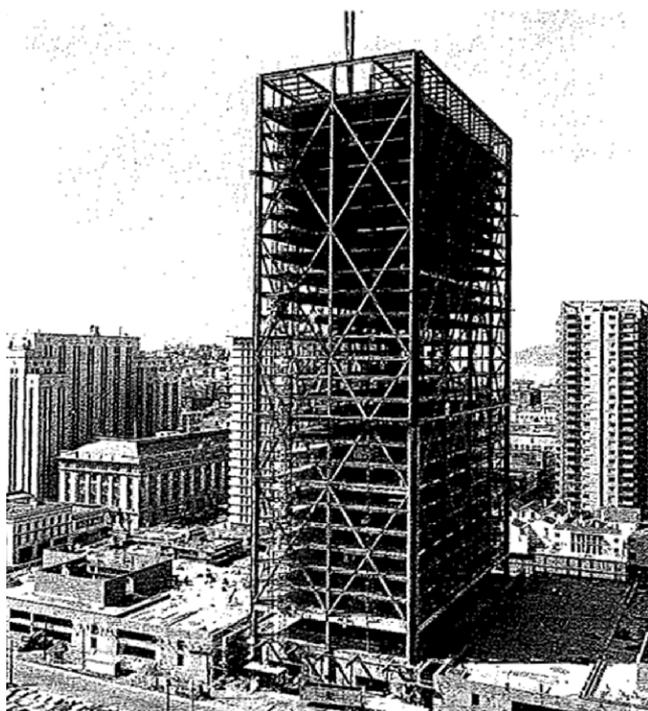
تحلیل سازه ها

II

- استاد : مهندس داود علی جمشیدی
- دانشگاه : دانشگاه آزاد اسلامی واحد نوشهر
- منابع : کتاب تحلیل سازه ها (ش.طاحونی - م.اخوان لیل آبادی)
- Structural Analysis (R.C.Hibbeler)

فصل اول

مقدمه و یادآوری

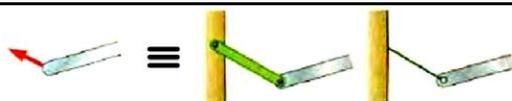


کمیت ها

تبدیل	علامت	واحد	کمیت
$1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ $1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m}$ $1 \text{ ft} = 12 \text{ in} = 30.48 \text{ cm}$ $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$	m Cm ft in	متر سانتی متر فوت اینچ	طول
N $1 \text{ Kg} = 9.81 \text{ N}$ $1 \text{ Ton} = 1000 \text{ Kg}$ $1 \text{ Lb} = 4.44 \text{ N}$	N Kg Ton Lb	نیوتن کیلوگرم (در رشته عمران) تن (در رشته عمران) پوند	نیرو

تحلیل سازه ها

● انواع تکیه گاه



○ میله ای (یک نیرو در امتداد میله)

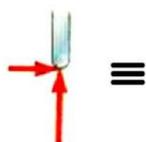


○ غلتکی (یک نیرو عمود بر سطح زیر غلتک)



○ مفصلی (در مسئله دوبعدی: دونیروی عمود بر هم)

■ (در مسئله سه بعدي: سه نیروی عمود بر هم)



○ گیردار (در مسئله دوبعدی: دونیروی عمود بر هم و یک لنگر)

■ (در مسئله سه بعدي: سه نیروی عمود بر هم و سه لنگر)



معینی و نا معینی

● سازه معین (Determinate)

- اگر با نوشتن معادلات تعادل، بتوانیم تمام نیروهای مجهول را به دست آوریم، می‌گوییم سازه معین است
- در سازه معین، تعداد معادلات با تعداد مجهولات برابر است

● سازه نا معین (Indeterminate)

- تعداد مجهولات بیشتر از معادلات بوده و لذا نمی‌توان همه مجهولات را مناسبه نمود

● روش تعیین معینی سازه:

- ابتدا تعداد مجهولات تکیه‌گاهی، تعداد حلقه بسته و تعداد معادلات شرطی داخلی مشخص شوند

○ تعداد مجهولات :

$$\text{تعداد نیروهای تکیه‌گاهی} + (3 \times \text{تعداد حلقه بسته در هر عضو}) = r$$

○ تعداد معادلات:

$$3 + \text{تعداد معادلات شرطی داخلی}$$

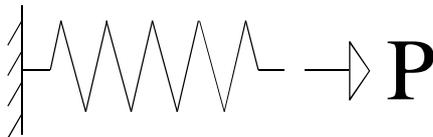
$$\text{درجه نا معینی داخلی} = \text{تعداد مجهولات منهای تعداد معادلات}$$

$$\text{درجه نا معینی خارجی} = \text{تعداد نیروهای تکیه‌گاهی منهای ۳}$$

تعریف سختی

● ضریب سختی

- هر سازه همانند فنری است که در برابر تغییر شکل مقاومت می‌کند



- اگر تغییر شکل‌ها در برابر اندازه سازه کوچک باشند، رابطه زیر برقرار خواهد بود :

$$P = k \times \Delta$$

تغییر مکان \times ضریب سختی = نیرو

$$M = k \times \theta$$

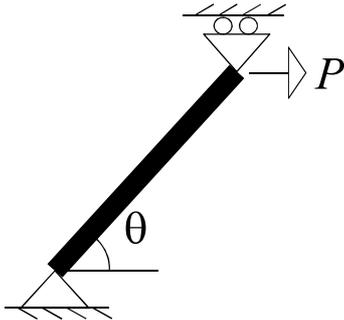
زاویه دوران \times ضریب سختی = لنگر

سختی اعضای میله ای

● سختی اعضای میله ای



$$k = \frac{E.A}{L}$$



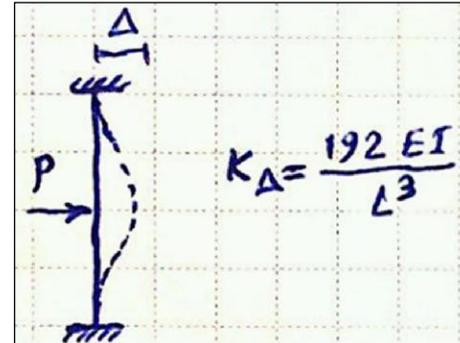
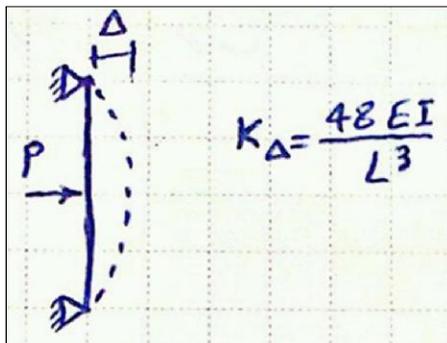
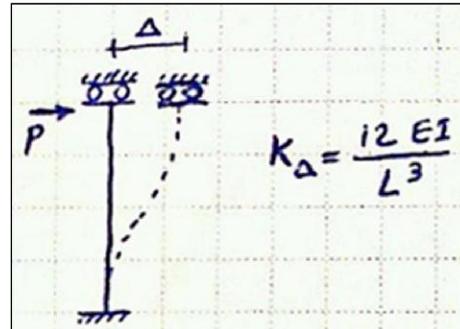
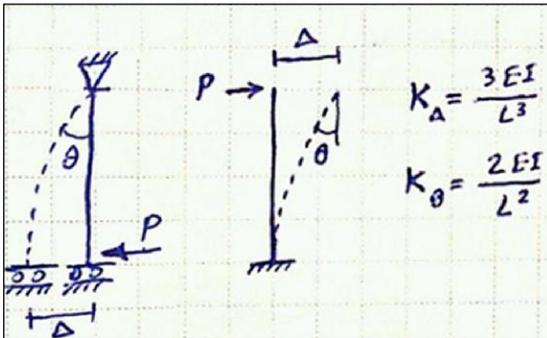
$$k = \frac{E.A}{L} \cdot \cos^2 \theta$$

سختی اعضای خمشی

$$P = k_{\Delta} \times \Delta$$

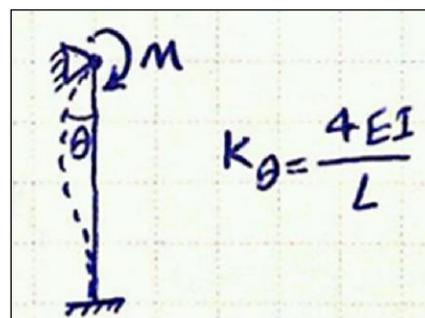
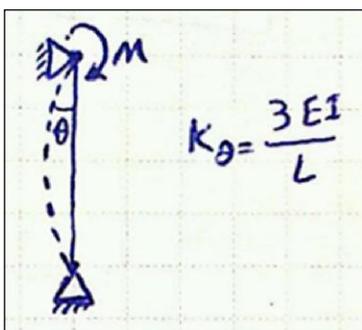
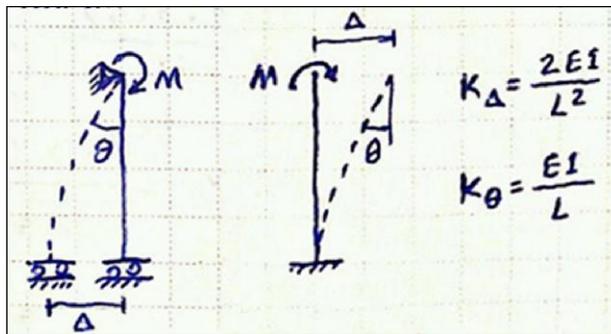
$$P = k_{\theta} \times \theta$$

● سختی عضو خمشی تحت اثر نیروی P



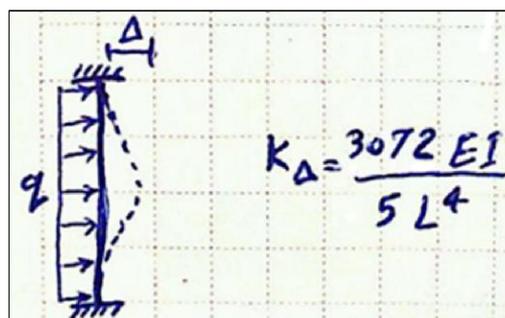
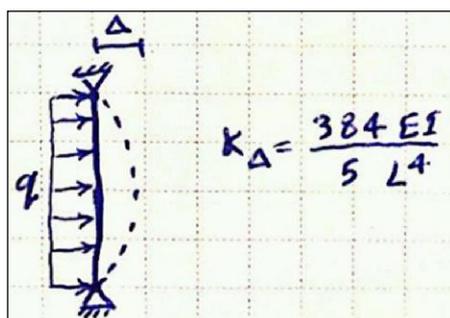
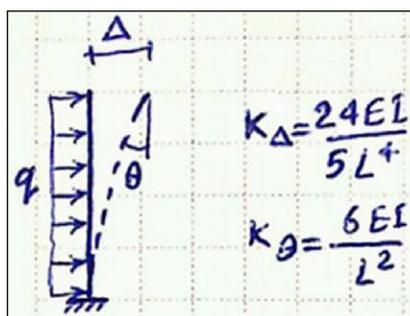
سختی اعضای خمشی

● سختی عضو خمشی تحت اثر لنگر خمشی M $M = k_{\Delta} \times \Delta$ $M = k_{\theta} \times \theta$



سختی اعضای خمشی

● سختی عضو خمشی تحت اثر بار گسترده q $q = k_{\Delta} \times \Delta$ $q = k_{\theta} \times \theta$



سختی اعضای تحت پیچش

● سختی میله تحت پیچش



$$k = \frac{G.J}{L}$$

G : ضریب ارتجاعی برشی

J : ممان اینرسی قطبی

L : طول میله

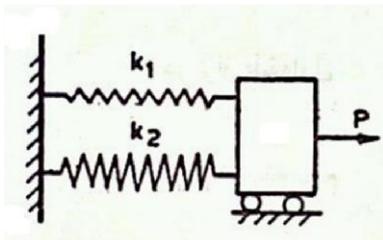
$$J = \frac{\pi.D^4}{32}$$

■ ممان اینرسی قطبی دایره به قطر D :

ترکیب سختی ها

● ترکیب چند سختی به صورت موازی

■ زمانی که نیرو مستقیماً به تمام فنرها اعمال می شود



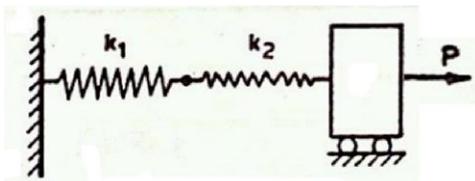
$$K = K_1 + K_2 + \dots = \sum K_i \quad \text{سختی معادل :}$$

$$F_i = \frac{K_i}{K} \cdot P \quad \text{نیروی سهم هر فنر :}$$

$$\Delta = \Delta_i = \frac{P}{K} \quad \text{تغییر شکل :}$$

● ترکیب چند سختی به صورت سری

■ زمانی که نیرو به یک فنر اعمال شده و از طریق آن به فنرهای دیگر منتقل می شود



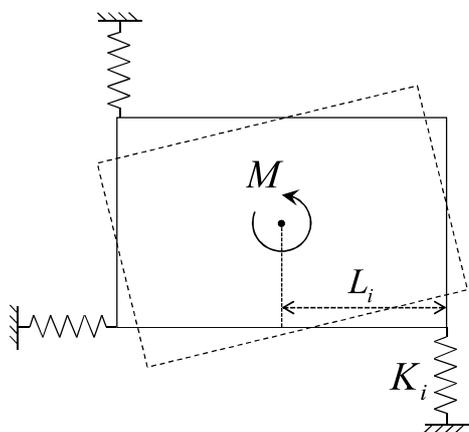
$$\frac{1}{K} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \dots = \sum \frac{1}{K_i} \quad \text{سختی معادل :}$$

$$F_i = P \quad \text{نیروی سهم هر فنر :}$$

$$\Delta_i = \frac{F_i}{K_i} \quad \Delta = \frac{P}{K} \quad \text{تغییر شکل :}$$

ترکیب سختی ها

● ترکیب دورانی چند سختی حول یک نقطه



$$K_{\theta} = \sum K_i \cdot L_i^2$$

$$F_i = \frac{K_i \cdot L_i}{K_{\theta}} \cdot M$$

فصل دوم

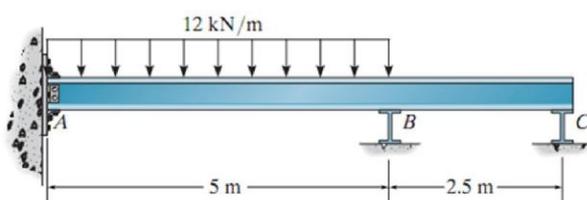


روش توزیع لنگر (کراس)

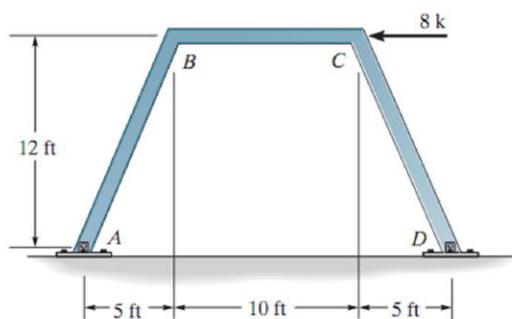
روش توزیع لنگر

○ کاربرد روش توزیع لنگر

■ تحلیل تیرهای نامعین یکسره (سراسری)



■ تحلیل قابهای خمشی صفحه ای



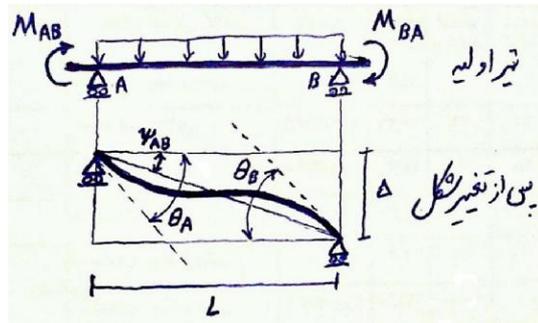
روش توزیع لنگر

○ مزایای روش توزیع لنگر

- مناسب است به صورت دوره ای و تکراری است و در هر دوره به جواب دقیق نزدیکتر می شویم. لذا هر چقدر به دقت کافی رسیدیم، می توانیم عملیات را متوقف نماییم
- اگر سازه بدون درجه آزادی تغییر مکان انتقالی باشد، هیچگونه دستگاه معادلاتی ایجا نمی شود
- اگر سازه دارای درجه آزادی تغییر مکان انتقالی باشد، به ازای هر درجه آزادی یک معادله تشکیل می شود.

○ قرارداد علامت

- دوران و لنگر در جهت عقربه ساعت، مثبت فرض می شود



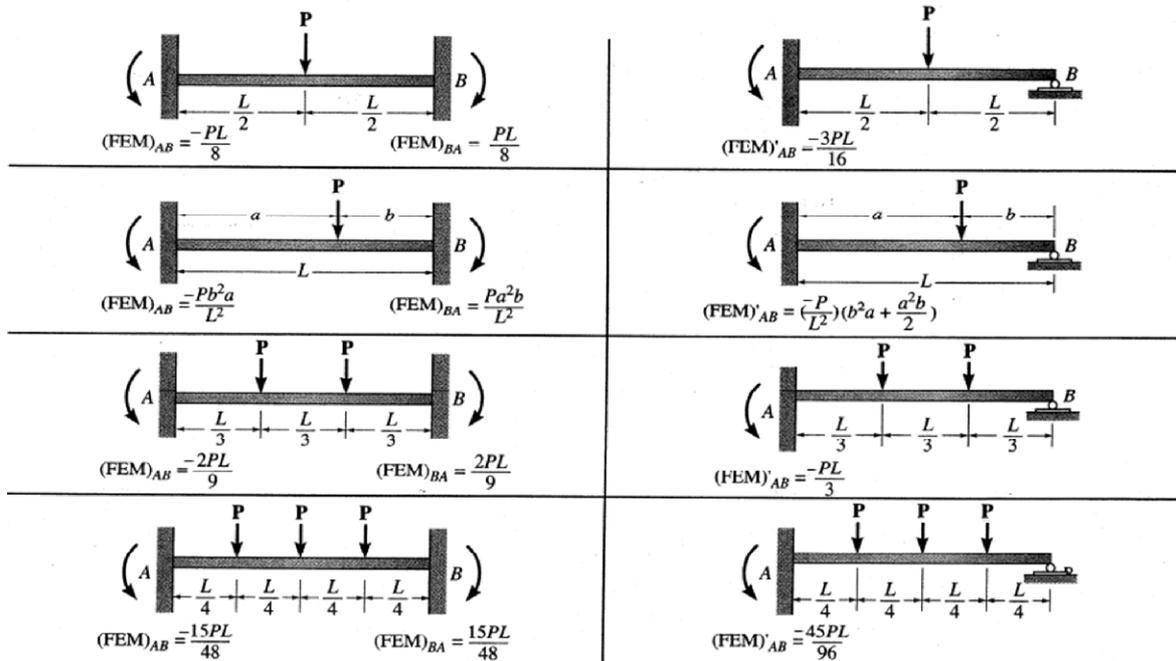
روش توزیع لنگر

○ مراحل روش توزیع لنگر (برای قاب بدون انتقال جانبی)

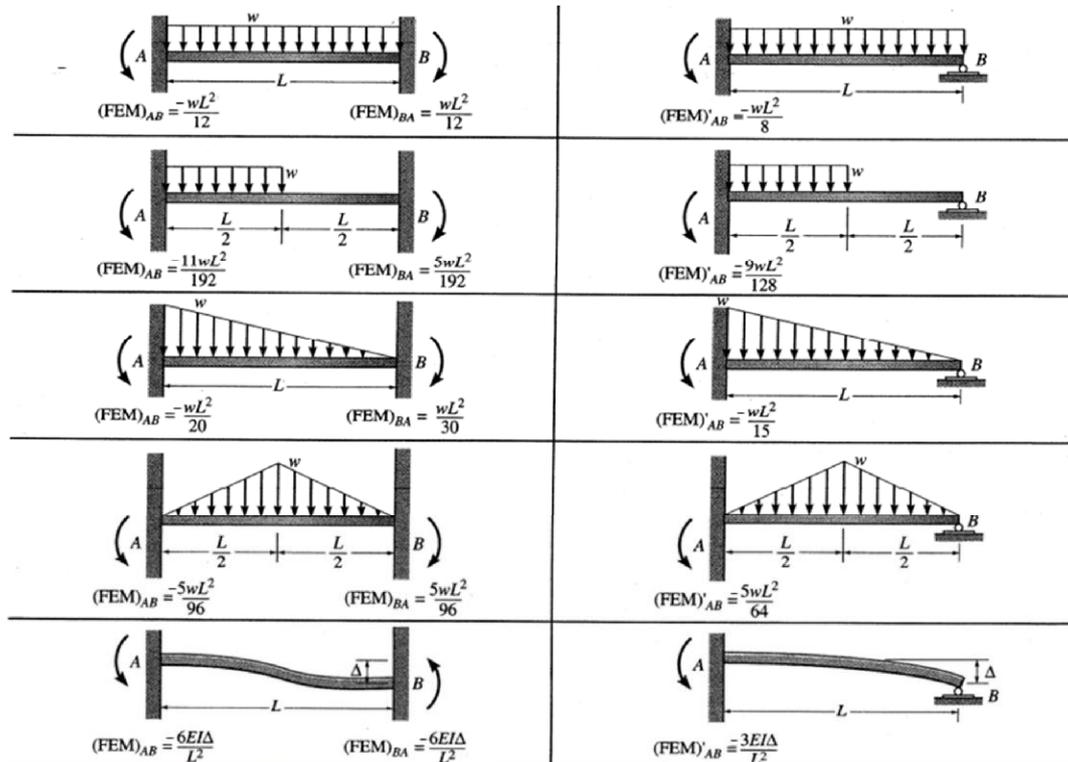
- تیرهای کنسول حذف شده و لنگر متمرکز به جای آنها قرار می گیرد
- اگر سازه دارای تقارن است، سازه معادل آن ترسیم می شود
- مناسبه لنگرهای گیرداری (FEM)
- مناسبه سختی اعضا (K)
- مناسبه ضرایب توزیع (D)
- مناسبه ضرایب انتقال (C)
- ترسیم جدول مقادیر مناسبه شده فوق
- در هر گره، لنگر نامتعادل مناسبه شده و لنگر متعادل کننده به آن اعمال می شود (در تکیه گاه های گیردار انجام نمی شود)
- توضیح : مجموع لنگرها در هر گره باید صفر باشد. اگر نباشد، لنگر نامتعادل نامیده می شود. برای حذف این لنگر، قرینه آن به گره اعمال می شود.
- قرینه لنگر نامتعادل، در ضرایب توزیع گره ضرب شده و نوشته می شود. به عبارت دیگر، سهم لنگر هر عضو مناسبه می شود.
- سهم لنگر مناسبه شده هر عضو، به انتهای دیگر همان عضو منتقل می شود (با ضرب در ضرایب انتقال)
- دو مرحله قبل، آنگاه ادامه می یابند تا لنگرها ناپدید شوند
- حاصل جمع کل لنگرهای مراحل قبل در انتهای هر عضو مناسبه می شود که همان لنگر عضو می باشد

لنگرهای گیرداری (FEM)

هر عضو را دو سر گیردار فرض کرده و لنگرهای دو سمت آن بر اساس بار وارده یا نشست تکیه گاه مناسب می شود

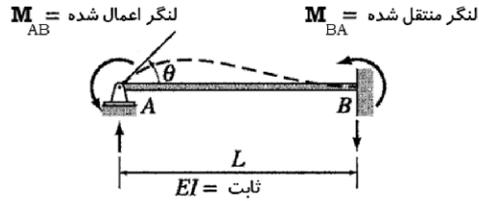


لنگرهای گیرداری (FEM)

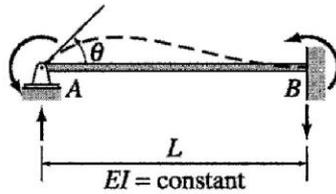


سختی اعضا (K)

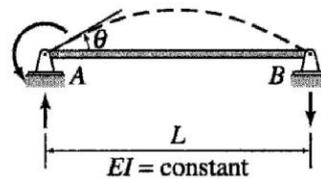
- اعضای متصل به هر گره، در برابر دوران آن گره از خود مقاومت نشان می دهند. مقدار این مقاومت بستگی به سختی آنها دارد. هر عضو که سختی بیشتری داشته باشد، مقاومت بیشتری داشته و لنگر بیشتری را متحمل خواهد شد.



- همیشه گره ای که لنگر به آن وارد شده را مفصلی فرض نموده و بر اساس نوع تکیه گاه در انتهای عضو، سختی آن مناسبه می شود



$$K = \frac{4EI}{L}$$



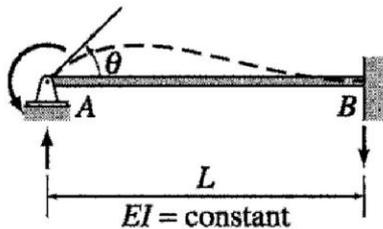
$$K = \frac{3EI}{L}$$

سختی اعضا (K)

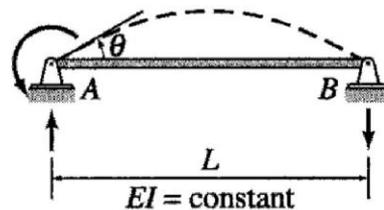
○ سختی نسبی

- با توجه به اینکه معمولا ضریب ارتجاعی E همه اعضای سازه یکی است، می توانیم به جای سختی k از سختی نسبی در محاسبات استفاده نماییم (استفاده از این روش اختیاری است):

$$K' = \frac{K}{4E}$$



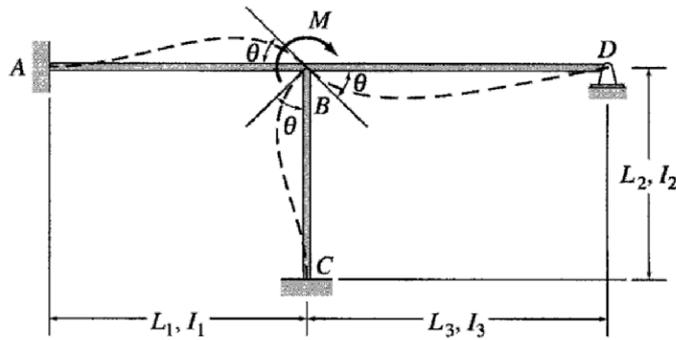
$$K' = \frac{I}{L}$$



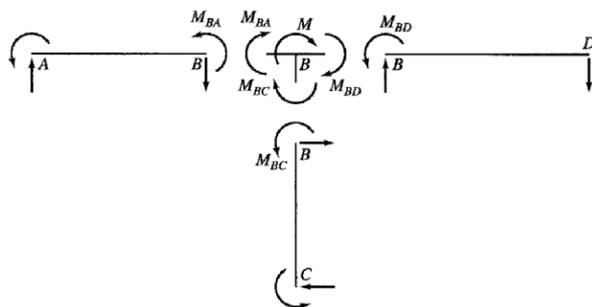
$$K' = \frac{3}{4} \frac{I}{L}$$

ضریب توزیع (D)

لنگری که به هر کره از سازه اعمال می شود، بین اعضای متصل به آن کره توزیع می شود. نسبت سهم لنگر هر عضو به لنگر کل، ضریب توزیع نامیده می شود.



$$D = \frac{K}{\sum K}$$



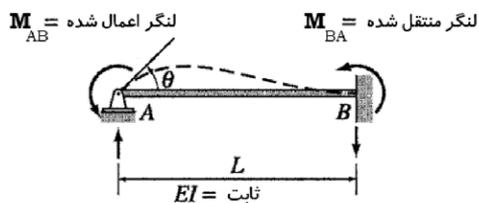
$$M_{BA} = D_{BA} \cdot M$$

$$M_{BC} = D_{BC} \cdot M$$

$$M_{BD} = D_{BD} \cdot M$$

ضریب انتقال (C)

با اعمال لنگر به ابتدای هر عضو، بخشی از این لنگر به انتهای آن عضو منتقل می شود.



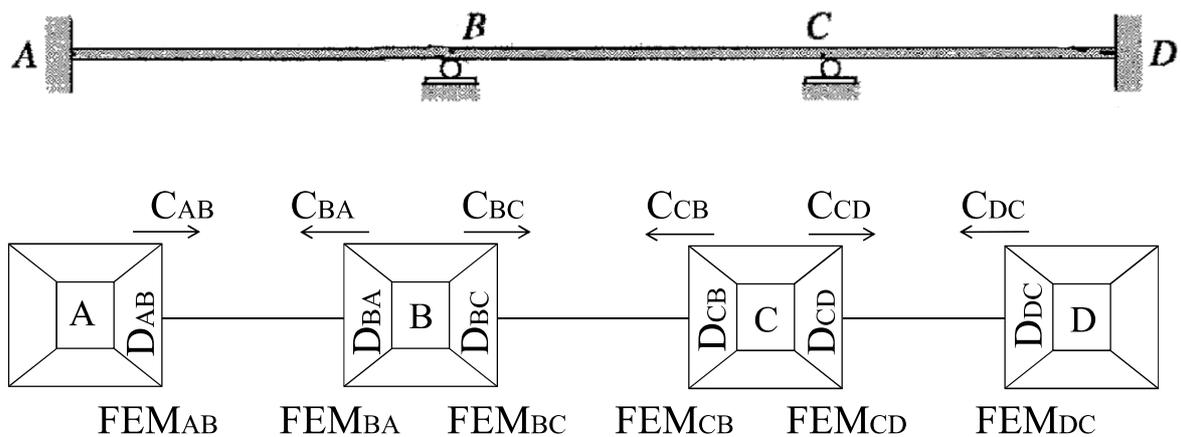
$$M_{BA} = C_{BA} \cdot M_{AB}$$

این ضریب معمولاً 0.5 می باشد. ولی اگر انتهای عضو مفصلی باشد، صفر خواهد بود زیرا در تکیه گاه مفصلی انتهای، لنگر باید صفر باشد.

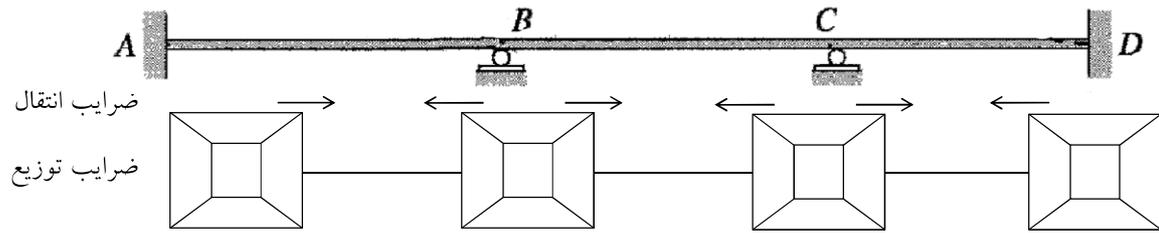
خلاصه

گیردار غلتکی	گیردار	میانی	مفصل انتهایی	نوع تکیه گاه
$k = \frac{EI}{L}$	$k = \frac{4EI}{L}$	$k = \frac{4EI}{L}$	$k = \frac{3EI}{L}$	سختی K (بر اساس نوع تکیه گاه در انتها)
C=-1	C=0.5	C=0.5	C=0	ضریب انتقال C (بر اساس نوع تکیه گاه در انتها)
D=0	D=0	$D = \frac{k}{\sum k_i}$	D=1	ضریب توزیع D (بر اساس نوع تکیه گاه در انتها)

تشکیل جدول برای حل مساله



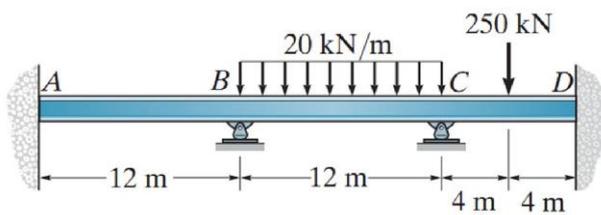
تشکیل جدول برای حل مساله



	AB	BA	BC	CB	CD	DC
لنگر گیرداری FEM						
لنگر متعادل کننده						
لنگر انتقال یافته		×		×		×
لنگر متعادل کننده						
لنگر انتقال یافته		×		×		×
لنگر متعادل کننده						
لنگر انتقال یافته		×		×		×
جمع						

مثال

■ قاب نشان داده شده را با روش توزیع لنگر تحلیل نمایید. فرض کنید مقدار EI در تمام اعضا یکسان باشد.



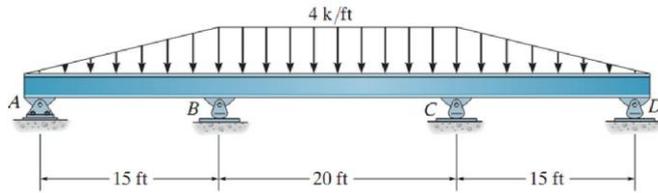


Joint	A	B		C		D	
Member	AB	BA	BC	CB	CD	DC	
DF	0	0.5	0.5	0.4	0.6	0	1
FEM			-240	240	-250	250	2
Dist.		120	120	4	6		3
CO	60		2	60		3	4
Dist.		-1	-1	-24	-36		5
CO	-0.5		-12	-0.5		-18	6
Dist.		6	6	0.2	0.3		7
CO	3		0.1	3		0.2	8
Dist.		-0.05	-0.05	-1.2	-1.8		9
CO	-0.02		-0.6	-0.02		-0.9	10
Dist.		0.3	0.3	0.01	0.01		11
ΣM	62.5	125.2	-125.2	281.5	-281.5	234.3	12
							13
							14



مثال

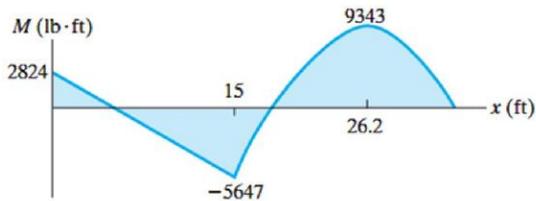
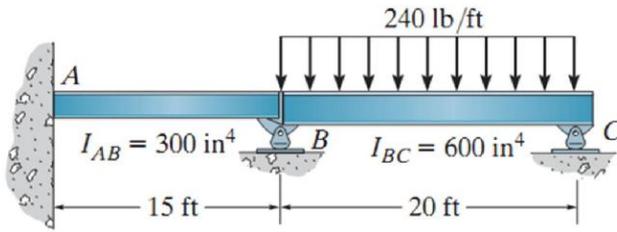
■ قاب نشان داده شده را با روش توزیع لنگر تحلیل نمایید. فرض کنید مقدار EI در تمام اعضا یکسان باشد.



Joint	A	B	
Member	AB	BA	BC
DF	1	0.667	0.333
FEM		60	-133.3
Dist.		48.9	24.4
ΣM	0	108.9	-108.9

مثال

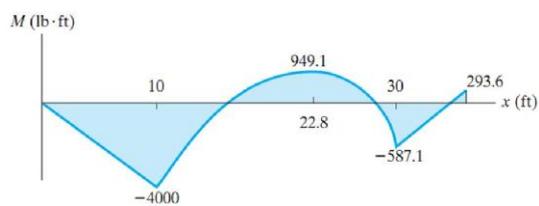
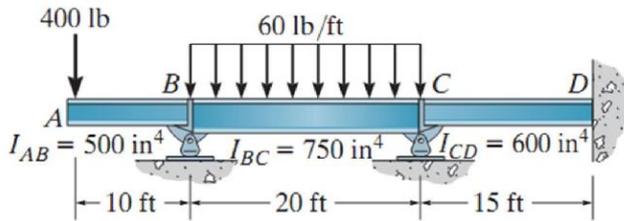
■ قاب نشان داده شده را با روش توزیع لنگر تحلیل نمایید. فرض کنید مقدار E در تمام اعضا یکسان باشد.



Joint	A	B		C
Member	AB	BA	BC	CB
DF	0	0.4706	0.5294	1
FEM Dist.		5647.2	-12 000	6352.8
CO	2823.6			
ΣM	2823.6	5647.2	-5647.2	0

مثال

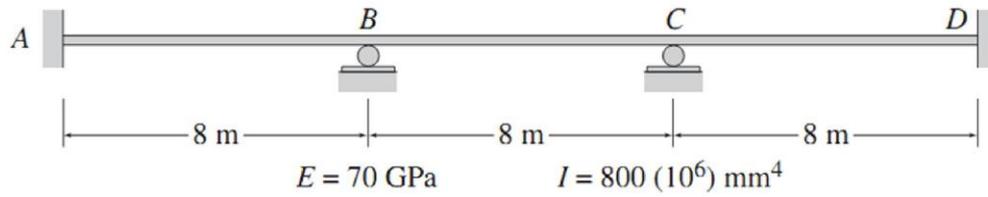
قالب نشان داده شده را با روش توزیع لنگر تحلیل نمایید. فرض کنید مقدار E در تمام اعضا یکسان باشد.



Joint	B		C		D
Member	BC	CB	CD	DC	
DF	0	1	0.484	0.516	0
FEM	4000	-2000	2000		
Dist.		-2000	-968	-1032	
ΣM	4000	-4000	587.1	-587.1	-293.6

مثال

■ اگر تکیه‌گاه B قاب نشان داده شده به اندازه 20 mm نشست نماید، آن را با روش توزیع لنگر تحلیل نمایید. فرض کنید مقدار EI در تمام اعضا یکسان باشد.



قابها

○ روش محاسبه تعداد درجات آزادی انتقال جانبی قاب

- ابتدا تمام اتصالات اعضای سازه ، مفصلی فرض می شود (مشابه فرپا)
- اگر سازه حاصل، ناپایدار است، با اضافه نمودن چند میله، آن را پایدار نمایم
- تعداد میله های اضافه شده در گام قبل، همان تعداد درجات آزادی جانبی قاب است
- رابطه بررسی پایداری فرپا :

$$M+R-2*J$$

M : تعداد میله های فرپا

R : تعداد عکس العمل های تکیه گاهی

J : تعداد گره های فرپا

○ قابهای بدون حرکت جانبی

- تحلیل این نوع قاب مشابه تیرها بوده با این تفاوت که به یک گره ممکن است بیش از دو عضو متصل باشند

○ قابهای با حرکت جانبی

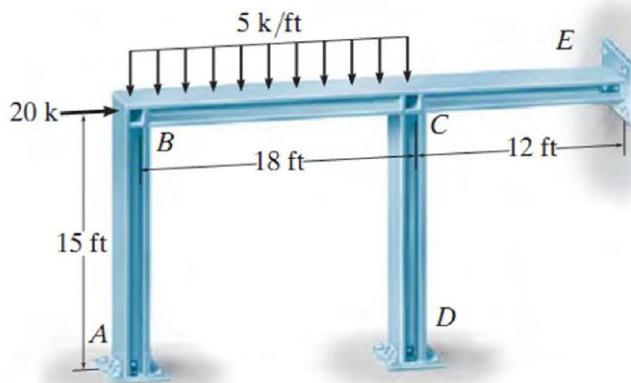
- تحلیل این نوع از قاب ها در چند مرحله انجام می شود که در ادامه توضیح داده خواهد شد

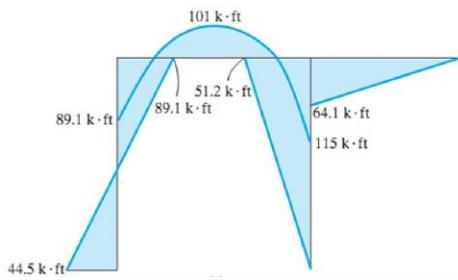
قابهای بدون حرکت جانبی

- تحلیل این نوع قاب مشابه تیرها بوده با این تفاوت که به یک گره ممکن است بیش از دو عضو متصل باشند

مثال

■ قاب نشان داده شده را با روش توزیع لنگر تحلیل نمایید. فرض کنید مقدار EI در تمام اعضا یکسان باشد.





Joint	A		B			C		D	E
Member	AB	BA	BC	CB	CD	CE	DC	EC	
DF	0	0.545	0.455	0.330	0.298	0.372	1	1	
FEM Dist.		73.6	-135	135	-40.2	-50.2			
CO Dist.	36.8		-22.3	30.7					
CO Dist.		12.2	10.1	-10.1	-9.1	-11.5			
CO Dist.	6.1		-5.1	5.1					
CO Dist.		2.8	2.3	-1.7	-1.5	-1.9			
CO Dist.	1.4		-0.8	1.2					
CO Dist.		0.4	0.4	-0.4	-0.4	-0.4			
CO Dist.	0.2		-0.2	0.2					
CO Dist.		0.1	0.1	-0.1	0.0	-0.1			
ΣM	44.5	89.1	-89.1	115	-51.2	-64.1			

