مزرع سبز فلک دیدم و داس مه نو
یادم از کشته خویش آمد و هنگام درو

مقدمه

تحلیل سازه‌ها (Structural analysis) یا تئوری سازه‌ها (Theory of structures) یکی از شاخه های تخصصی در علم مکانیک است که به طور گسترده در مهندسی عمران و مهندسی هوافضا مورد استفاده قرار می گیرد. تحلیل سازه ها با استفاده از قوانین ریاضی و فیزیک به تحلیل و پیش بینی رفتار سازه‌ها و محاسبه میزان تغییر شکل، نیروهای داخلی و عکس العمل‌های تکیه‌گاهی در آنها می پردازد. اطلاعات مورد نیاز برای انجام این محاسبات مشخصات مقاطع سازه و بارهای وارد بر سازه هستند. پس از تحلیل سازه ها و تعیین نیروهای داخلی(برشی، محوری، لنگر خمشی و پیچشی) امکان طراحی سازه فراهم می شود.

با توجه به اهمیت بالای تحلیل سازه ها در دوره کارشناسی دروس تحلیل سازه ها 1 و تحلیل سازه ها 2 به عنوان یکی از اساسی ترین دروس پایه به دانشجویان رشته مهندسی عمران تدریس می شود. با توجه به پیچیدگی های خاص این دروس معمولا آموزش تحلیل سازه ها در سطح دانشگاه های کشور با تمرکز بر روی چند مرجع خاص صورت می گیرد. نویسندگان با توجه به استقبال زیاد دانشجویان مقطع کارشناسی ارشد و دکترا از کتاب های "حل مسائل اساسی دینامیک سازه ها" و "حل مسائل اساسی تئوری الاستیسته" و با توجه به نبود کتاب مشابهی در مقطع کارشناسی در خصوص تحلیل سازه ها بر آن شدند که در قدم اول حل مسائل یکی از پرطرفدارترین و کاملترین مراجع تحلیل سازه داخل کشور را ارائه نمایند. لذا در چاپ اول این کتاب فصول مربوط به تحلیل سازه ها 1 از کتاب تک جلدی مهندس مجید بدیعی حل شده و با توضیحات جامع ارائه شده است. در این کتاب سعی شده تا از حل مسائل با استفاده از روش های خاص و تکنیک های ابتکاری صرفنظر شده و مسائل به کمک روش های پایه ای و بسیار ساده حل شوند. با توجه به سطح بالای مسائل طرح شده, یقینا بررسی و

دقت در روش های حل ارائه شده و یادگیری مسائل این کتاب سطح مهارت و توانایی های دانشجو را در این رشته بالا می برد.

در اینجا لازم است از سرکار خانم مریم دلبخواه که زحمت ویراستاری کتاب را بر عهده داشتند و همچنین از مهندس الیاس گلی کمال تشکر را داشته باشیم.

در انتها از تمامی صاحب نظران, دانشجویان و خوانندگان محترم تقاضا می شود که نه تنها موارد خطا, بلکه اصولا هر نوع نقص یا کمبودی که در کتاب مشاهده می کنند به اطلاع نویسندگان برسانند تا حتی المقدور در چاپ های بعدی کتاب اصلاح شود .

با تشکر

پاییز 1392

مولفین

Amir_saedi_d@yahoo.com

فهرست مطالب

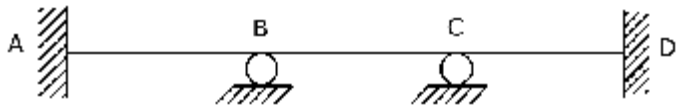
فصل اول: تعاریف	1
فصل دوم: پایداری ناپایداری، معینی نامعینی	5
فصل سوم: تحلیل تیرهای معین	29
فصل چهارم: خرپا	59
فصل پنجم: تحلیل قاب‌های معین	93
فصل ششم: خط تاثیر تیرهای معین	127
فصل هفتم: خط تاثیر سازه‌های معین	139
فصل هشتم: محاسبه تغییر شکل سازه‌ها	151
فصل نهم: تحلیل سازه‌های نامعین با استفاده از تغییر شکل‌های سازگار	185
فصل دهم: تحلیل سازه های نامعین با استفاده از روش حداقل کار	219
فصل یازده: روش شیب-افت	239

فصل دوم

پایداری ناپایداری، معینی نامعینی

2-1) پایداری و معینی تیرهای نشان داده شده در شکل‌های زیر را بررسی کنید.

الف)



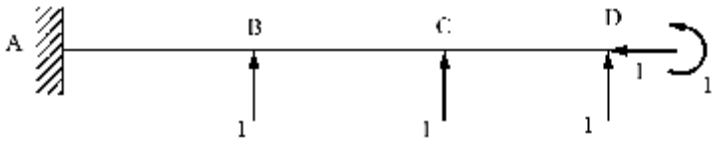
حل:

روش هندسی:

نکته مهم برای بررسی پایداری سازه‌ها، بررسی وجود حداقل 3 قید غیر موازی و غیر متقارب می‌باشد. از آنجائیکه سازه فوق این شرایط را دارا است، پایدار می‌باشد.

با در نظر داشتن شرط پایداری سازه، مشاهده می‌شود که سازه فوق با حذف قیدهای B، C و D باز هم صلب و پایدار بوده و حداقل قید لازم برای پایداری را دارد. قیدهای غلتکی B و C

هر کدام یک درجه نامعینی و قید گیردار D نیز 3 درجه نامعینی ایجاد می‌کنند. پس در کل این سازه 5 درجه نامعین خواهد بود.



روش شمارش:

r : تعداد عکس العمل‌های تکیه‌گاهی

c : تعداد معادلات وضعیت

$r = 8$

$\rightarrow \quad 8 > 0 + 3 \;\rightarrow\; r > c + 3 \qquad \Rightarrow$ سازه نامعین است

$c = 0$

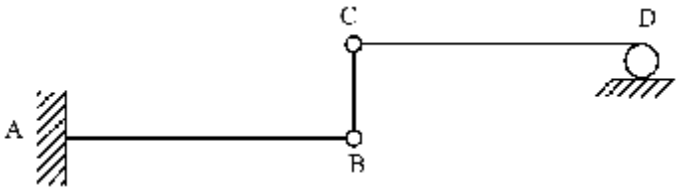
از رابطه فوق نمی‌توان در مورد پایداری سازه نظر داد و باید از راه حل هندسی استفاده نمود.

این رابطه نشان می‌دهد که تعداد عکس العمل‌های تکیه‌گاهی (مجهولات) از تعداد معادلات بیشتر بوده و لذا سازه نامعین می‌باشد. در این روش درجه نامعینی از تفاضل تعداد عکس العمل‌های تکیه‌گاهی (مجهولات) و تعداد معادلات به دست خواهد آمد.

$$DOI = r - (c + 3) = 8 - (0 + 3) = 5$$

بنابراین سازه فوق 5 درجه نامعین است.

ب)

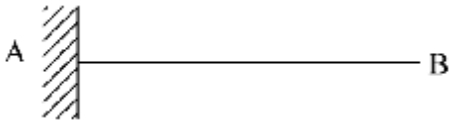


حل:

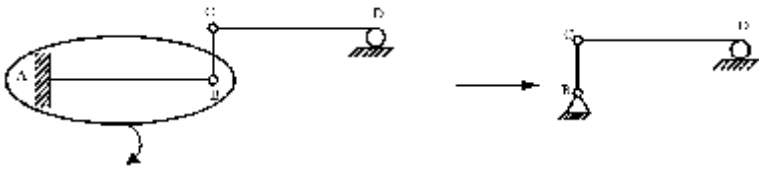
روش هندسی:

نکته مهم در بررسی پایداری سازه‌های ناپیوسته این است که بدانیم بررسی را از چه سمتی آغاز کنیم. **همیشه** قسمت پایدار و صلب سازه را انتخاب نمایید. همچنین می‌توان قسمتی از سازه که ***صلب، پایدار*** و معین است را به علت عدم حرکت این قسمت نسبت به زمین، معادل زمین در نظر گرفت.

در این مسئله قسمت AB به تنهایی صلب و پایدار می‌باشد و لذا می‌توان آن را معادل زمین در نظر گرفت.



حال شکل زیر را بررسی می‌کنیم. اگر قسمت CD را صلب فرض کنیم، مشاهده می‌گردد که سازه فقط با دو لینک BC و قید غلتکی D به زمین متصل است که کمتر از حداقل قید (3 تا) می‌باشد؛ بنابراین سازه ناپایدار است.



پایدار و معین

روش شمارش:

r: تعداد عکس العمل‌های تکیه‌گاهی

c: تعداد معادلات وضعیت

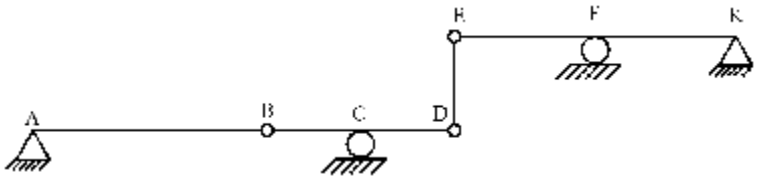
$r = 4$

$\rightarrow \quad 4 < 2+3 \;\rightarrow\; r < c+3 \qquad \Rightarrow$ سازه ناپایدار است

$c = 1+1 = 2$

در این حالت $r-(c+3)$ درجه ناپایداری استاتیکی تیر را نشان می‌دهد.

ج)

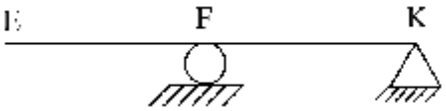


حل:

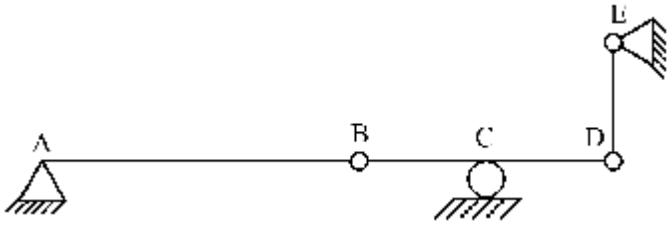
روش هندسی:

مانند قبل از قسمت پایدار سازه شروع می‌کنیم.

همانگونه که در شکل پایین مشخص شده است قسمت EFK معین و پایدار می‌باشد.



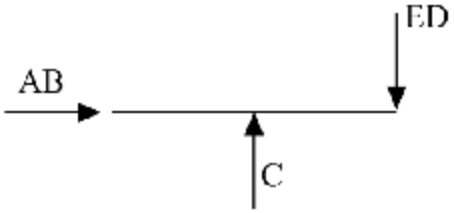
پس این تیر چون هیچ حرکتی نسبت به زمین ندارد، معادل با زمین در نظر گرفته می‌شود. لذا سازه تبدیل به شکل زیر خواهد شد.



در این قسمت BCD را یک تیر در نظر می گیریم.

تذکر: هر قید دو سر مفصل که باری روی آن اعمال نشده باشد، معادل یک لینک(میله) خواهد بود. پس تیرهای AB و ED هرکدام یک لینک می‌باشند که از حرکت سازه در همان نقطه و در راستای خود میله جلوگیری می‌نمایند.

قیدهای تیر BCD به صورت زیر است:



همانطور که پیداست، این قیدها نه موازی هستند و نه متقارب، پس سازه صلب و پایدار است.

همچنین از آنجائیکه سازه نهایی به دست آمده (تیر BCD) فقط دارای 3 قید است، می‌توان نتیجه گرفت که سازه معین می‌باشد.

روش شمارش:

r: تعداد عکس العمل های تکیه گاهی

c: تعداد معادلات وضعیت

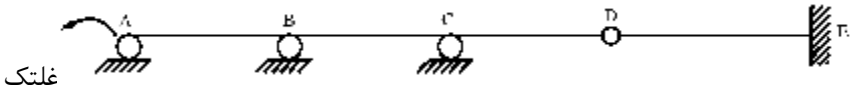
$$r = 6$$

$$\rightarrow \quad 6 = 3+3 \quad \rightarrow \quad r = c+3 \quad \Rightarrow \qquad \text{سازه معین است}$$

$$c = 1+1+1 = 3$$

مطابق با رابطه فوق در مورد پایداری سازه نمی توان اظهار نظر کرد و باید از روش هندسی استفاده شود.

د)



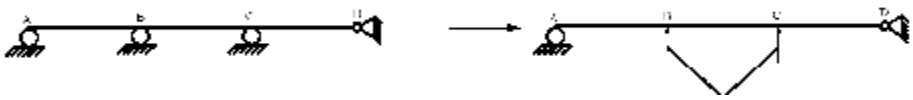
حل:

روش هندسی:

باز هم مانند قسمت‌های قبل از قسمت پایدار سازه شروع می‌کنیم.

عضو گیردار DE معین و پایدار است، چون با 3 قید غیر موازی و غیر متقارب به زمین متصل است، پس نسبت به زمین حرکتی نداشته و معادل زمین می‌باشد.

برای پایداری تیر ABCD، همانگونه که در شکل پایین نشان داده شده است، قیدهای D و A کافی بوده و 2 قید غلتکی C و B فقط درجه نامعینی سازه را افزایش می‌دهند، پس سازه پایدار و 2 درجه نامعین است.



2 درجه نامعین

تذکر: قید غلتکی یک درجه نامعینی می‌باشد.

روش شمارش:

r: تعداد عکس العمل‌های تکیه‌گاهی

c: تعداد معادلات وضعیت

$$r = 6$$

$$\rightarrow \quad 6 > 1+3 \quad \rightarrow \quad r > c+3 \quad \Rightarrow \qquad \text{سازه نامعین است}$$

$$c = 1$$

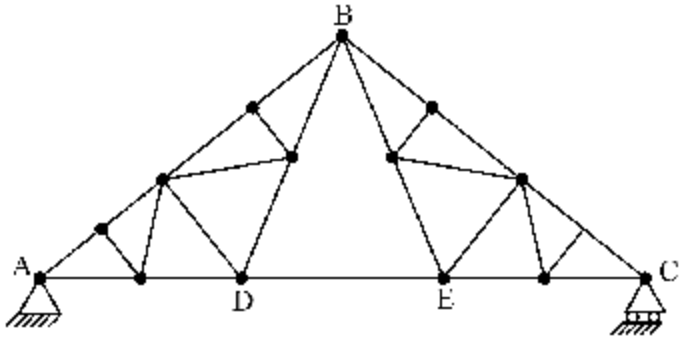
مطابق با رابطه فوق در مورد پایداری سازه نمی توان نظر داد و باید از روش هندسی استفاده گردد.

تعداد درجات نامعینی برابر با مقدار زیر است:

$$DOI = r - (c+3) = 6 - (1+3) = 2$$

2-2) پایداری و معینی سازه‌های نشان داده شده در شکل‌های زیر را بررسی کنید.

الف)



حل:

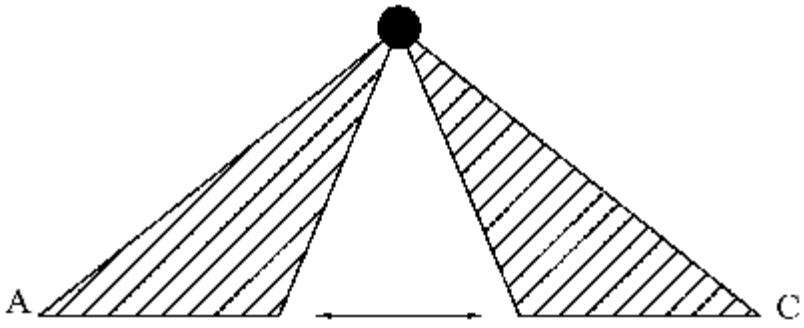
روش هندسی:

با توجه به تکیه گاه‌های موجود، اگر سازه‌ای که بر روی تکیه گاه‌ها قرار دارد صلب باشد، کل سازه پایدار است.

همانگونه که می‌بینیم خرپاهای ABD و BEC از رشد واحدهای مثلثی تشکیل شده‌اند، پس صلب می‌باشند.

این دو خرپا مانند دو جسم صلب، به هم متصل شده‌اند که از طریق مفصل B و لینک DE صورت گرفته است؛ پس کل سازه صلب و معین می‌باشد.

مفصل B



لینک DE

همچنین این سازه توسط سه قید که نه موازی‌اند و نه متقارب به زمین متصل شده است؛ پس سازه علاوه بر صلب و معین بودن پایدار نیز می‌باشد.

روش شمارش:

r: تعداد عکس العمل‌های تکیه‌گاهی

b: تعداد اعضاء

j: تعداد مفاصل

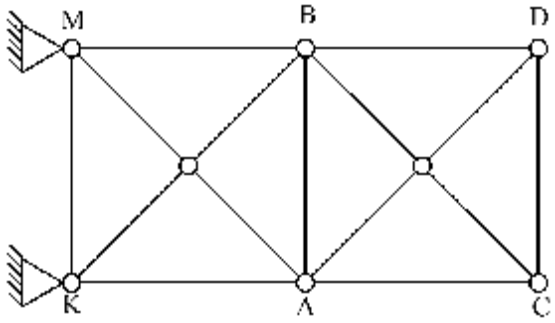
$r = 3$

$j = 15 \quad \rightarrow \quad 15 \times 2 = 27 + 3 \rightarrow 2j = b + r \Rightarrow$ سازه معین است

$b = 27$

با استفاده از رابطه فوق نمی‌توان در مورد پایداری سازه نظر داد و باید از روش هندسی استفاده نمود.

ب)



حل:

روش هندسی:

ابتدا سازه را طبق شکل‌های زیر با واحدهای مثلثی رشد می‌دهیم.