



تحلیل سازه ها

ویژه آزمون های نظام مهندسی

مؤلف: مهندس محسن هجرانی دلیر

چاپ اول ۱۴۰۲

بنام خداوند جان و خرد

تحلیل سازه

ویژه آزمون محاسبات

ویرایش خرداد ۱۳۹۹

مدرس: مهندس محسن هجرانی دلیر



شناسنامه اثر
(صفحه حقوقی)

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۵
فصل اول: ترسیم دیاگرام لنگر خمشی ساده.....	۷
مقدمه.....	۸
محاسبه درجه نامعینی سازه.....	۸
عکس العمل های تکیه گاهی: (یادآوری استاتیک).....	۹
مفهوم معادلات شرط.....	۹
مدل سازی فنرها و کابل ها در تعیین درجه نامعینی.....	۱۰
درجه نامعینی در تیرها.....	۱۱
درجه نامعینی خرپا.....	۱۲
محاسبه عکس العمل تکیه گاهی سازه های معین با استفاده از روش استاتیکی.....	۱۲
ترسیم دیاگرام لنگر خمشی بارهای متمرکز.....	۱۳
نقاط بحرانی.....	۱۳
مفهوم لنگر مثبت و منفی.....	۱۴
تحلیل خرپاهای معین.....	۱۶
روش مفصل.....	۱۶
مفهوم نیروی فشاری و کششی در خرپا.....	۱۷
روش مقطع.....	۱۸
سوالات فصل اول.....	۲۰
فصل دوم: تغییر شکل های سازه های معین.....	۲۳
مقدمه.....	۲۴
روش لنگر سطح.....	۲۴
روش تیر مزدوج.....	۲۴
روش تیرهای پایه.....	۲۴
روش کار مجازی.....	۲۴
روش لنگر سطح.....	۲۴
قضیه اول لنگر سطح.....	۲۴
قضیه دوم لنگر سطح.....	۲۵
روش تیر مزدوج.....	۲۶
روش تیرهای پایه.....	۲۹
روش کار مجازی.....	۳۲



۳۳	نحوه محاسبه انتگرال.....
۳۳	بررسی سایر نیروهای داخلی در رابطه کار مجازی.....
۳۷	سوالات فصل دوم.....
۳۹	فصل سوم: تحلیل سازه‌های نامعین به روش نرمی و سختی.....
۴۰	مقدمه.....
۴۰	روش نرمی.....
۴۱	روش سختی.....
۴۱	مدلسازس سازه با فنر.....
۴۳	قضیه فنرهای موازی.....
۴۴	قضیه فنرهای سری.....
۴۶	سوالات فصل سوم.....
۴۹	فصل چهارم: تحلیل سازه‌های نامعین با روش‌های شیب افت و پخش لنگر و تقارن.....
۵۰	مفهوم درجه آزادی.....
۵۰	درجه آزادی دورانی.....
۵۰	درجه آزادی انتقالی.....
۵۰	روش شیبافت.....
۵۱	روابط روش شیبافت.....
۵۲	نشست‌ها و دوران‌های تکیه‌گاهی در روش شیب افت.....
۵۲	شیبافت اصلاح شده.....
۵۴	روش پخش لنگر.....
۵۶	تقارن در سازه.....
۵۹	سوالات فصل چهارم.....

پیشگفتار

بارالها سپاس بیکران تورا، که توفیق خدمت‌گذاری به مهندسين عزيز کشورمان را عطا فرمودی. امید است این اثر بتواند نقشی هر چند کوچک در خدمت به جامعه مهندسی کشور بردارد و زمینه قبولی مهندسين عزيز را در آزمون نظام مهندسی فراهم نماید. اثری که در اختیار شماست حاصل تجربیات و مطالعات چند ساله بنده و همکارانم می‌باشد.

جای دارد از تمامی دوستانی که در این مسیر به بنده دلگرمی داده و تجربیات و دانش بی‌نظیر خود را کتاب خانه بنده قرار دادند تشکر نمایم.

در همین راستا از آقایان مهندس فهیمی، مهندس پاکدامن، مهندس ذکری و خانوم کمالی قدردانی می‌نمایم و برای ایشان موفقیت روز افزون مسئلت دارم.

کمال خداست و بندگان خدا جایز الخطا

از تمامی شما مهندسين عزيز تقاضا داریم در راستای بهتر شدن این اثر اگر انتقاد و پیشنهادی دارند دریغ نفرمایند. انتقاد و پیشنهادات خود را می‌توانید از طریق پست الکترونیکی Muhammad.hejrani@gmail.com در اختیار بنده قرار دهید.



اعتبار ما موفقیت شماست

www.acefirm.ir

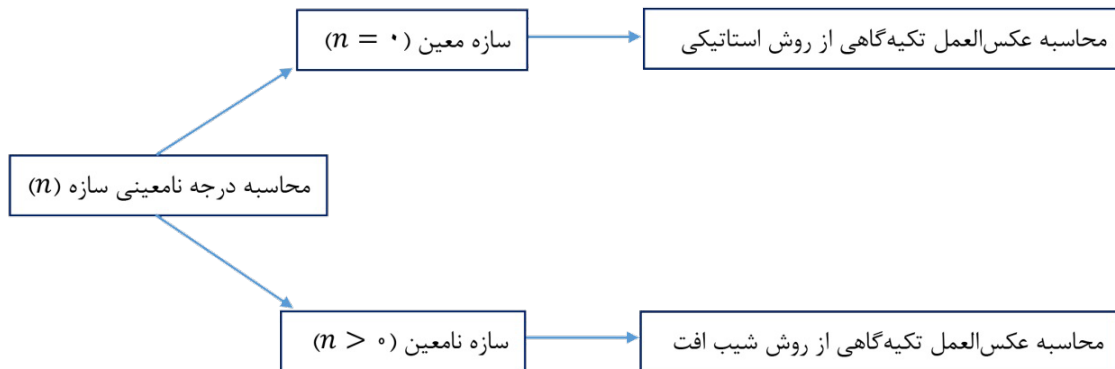
فصل اول

ترسیم دیاگرام لنگر خمشی ساده



مقدمه

برای ترسیم دیاگرام لنگر خمشی سازه، ابتدا باید عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی سازه محاسبه شود. برای محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی سازه، ابتدا باید درجه نامعینی سازه مشخص شود تا روش محاسبه عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی مشخص شود. سپس با توجه به نقاط بحرانی، با استفاده از مقطع زدن مقدار لنگر را در نقاط بحرانی به دست می‌آوریم.



محاسبه درجه نامعینی سازه

$$n = 3k + r - (3 + c)$$

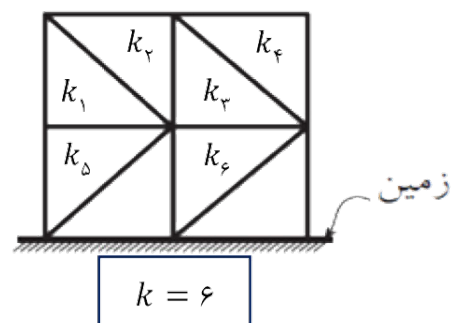
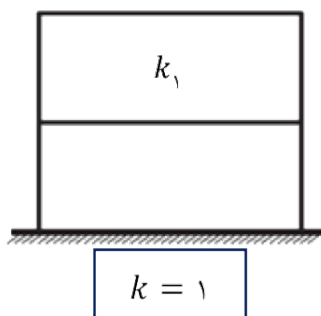
n : درجه نامعینی سازه

k : تعداد کادر بسته بین اعضا

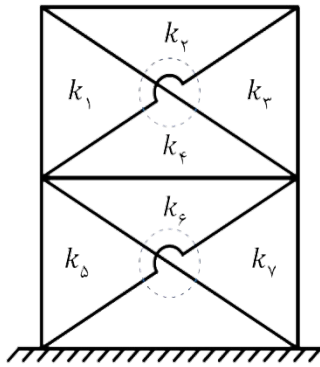
r : تعداد عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی

c : تعداد معادلات شرط

نکته: کادر بسته در واقع عبارت است از سطحی که توسط اعضا سازه‌ای در اطراف آن محصور شده باشد. بنابراین در محاسبه درجه نامعینی کادر بسته تشکیل شده با زمین محاسبه نخواهد شد.



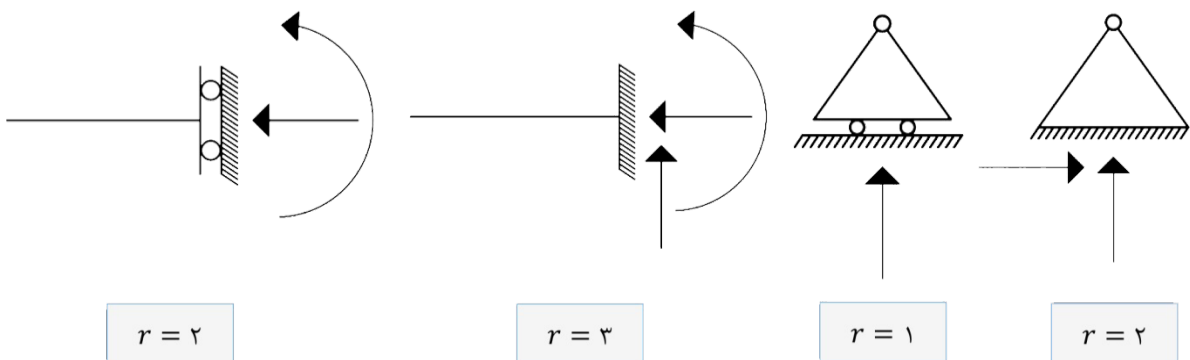
نکته: در حالتی که اعضا از روی هم عبور کنند، به ازای هر عبور یک عدد از تعداد کادرهای بسته کاسته می‌شود.



$$k = 7 - 2 = 5$$

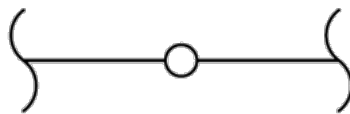
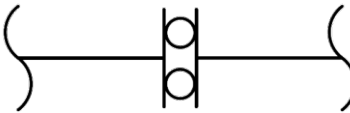
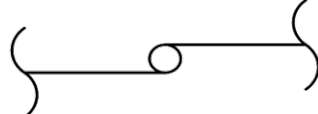
تعداد اعضایی که از روی هم عبور کرده‌اند

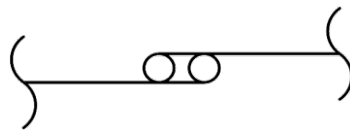
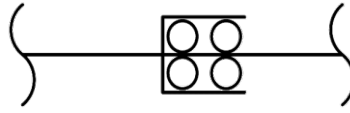
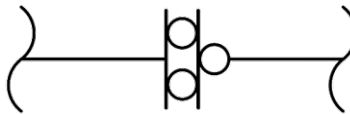
عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی: (یادآوری استاتیک)



مفهوم معادلات شرط

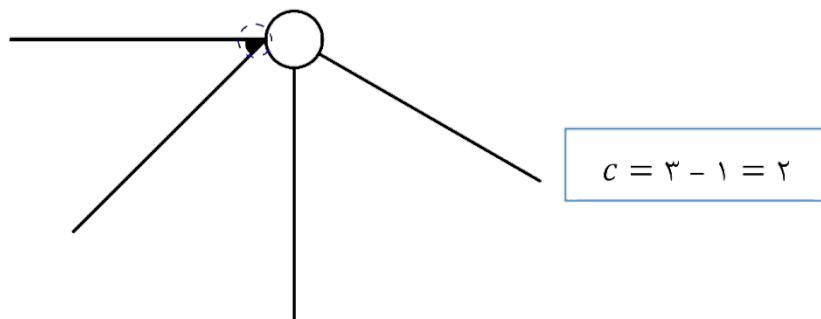
در هر یک از اتصالات به تعداد مولفه‌های داخلی سازه که صفر هستند، معادلات شرط خواهیم داشت.

ردیف	شکل	توضیحات	تعداد معادلات شرط
۱		در این اتصال لنگر خمشی تحمل نمی‌شود. ($M = 0$)	۱
۲		در این اتصال نیروی برشی تحمل نمی‌شود. ($V = 0$)	۱
۳		در این اتصال نیروی محوری و لنگر خمشی تحمل نمی‌شود. ($N = 0, M = 0$)	۲

ردیف	شکل	توضیحات	تعداد معادلات شرط
۴		در این اتصال نیروی محوری تحمل نمی‌شود. ولی به دلیل حضور دو غلتک لنگر خمشی تحمل می‌شود. ($N = 0$)	۱
۵		در این اتصال نیروی محوری تحمل نمی‌شود. ($N = 0$)	۱
۶		در این اتصال نیروی برشی و لنگر خمشی تحمل نمی‌شود. ($V = 0, M = 0$)	۲

نکته: هرگاه n میله توسط یک مفصل خمشی به صورت مجزاء به یکدیگر متصل شده باشند، تعداد معادلات شرطی (C) در این اتصال برابر $(n - 1)$ است.

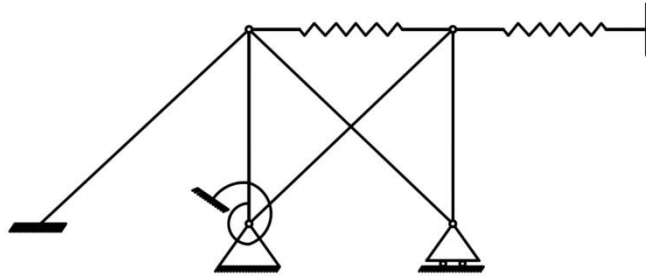
۳ عضو بصورت مجزاء به مفصل خمشی شکل مقابل متصل شده است.
لذا داریم:



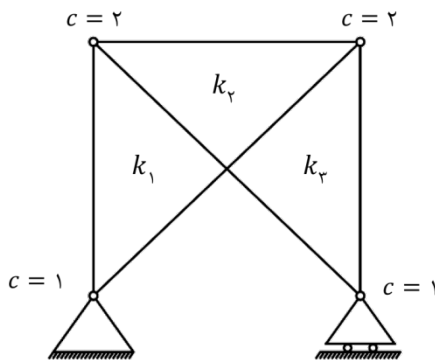
مدل سازی فنرها و کابل‌ها در تعیین درجه نامعینی

- در صورت وجود فنر پیچشی و کابل در سازه، آن‌را حذف کرده و درجه نامعینی سازه را محاسبه می‌کنیم و در انتها به تعداد اعضا حذف شده به درجه نامعینی می‌افزاییم.
- در صورت وجود فنر انتقالی، اگر فنر انتقالی به تکیه‌گاه متصل باشد؛ آن‌را حذف کرده و درجه نامعینی سازه را محاسبه می‌کنیم و در انتها به تعداد اعضا حذف شده به درجه نامعینی می‌افزاییم. اما در صورتی که فنر انتقالی داخل سازه و به اعضا سازه متصل بوده باشد؛ آن‌را با یک عضو دو سر مفصل مدلسازی می‌کنیم و درجه نامعینی سازه را محاسبه می‌کنیم.

تمرین: درجه نامعینی سازه مقابل را محاسبه کنید.



حل:



$$k = 3$$

$$r = 3$$

$$c = 6$$

$$n = 3(3) + 3 - (6 + 3) = 3 + 3 = 6$$

تعداد اعضاء حذف

درجه نامعینی در تیرها

با توجه به اینکه در تیرها عمدتاً نیروی محوری وجود ندارد، می‌توان از نیروی محوری (عکس العمل افقی) در تیرها در تعیین درجه نامعینی صرف نظر کرد.

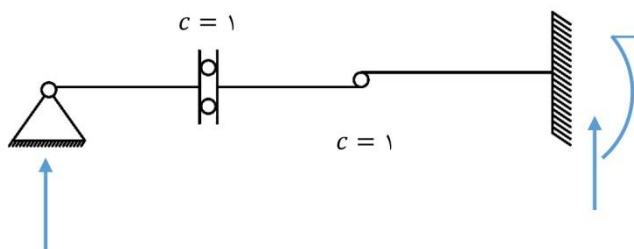
$$n' = 3k + r - (c + 2)$$

از نیروی محوری صرف نظر شده است و فقط لنگر خمشی و عکس‌العمل قائم داریم

در تیرها کادر بسته نداریم

$$n = r - (c + 2)$$

تمرین: درجه نامعینی سازه مقابل را چقدر است؟



$$n = 3 - (2 + 2) = -1$$

سازه ناپایدار است.

درجه نامعینی خرپا

برای محاسبه درجه نامعینی در خرپاها می توان از همان فرمول $n = 3k + r - (3 + c)$ استفاده کرد. اما به دلیل زیاد بودن تعداد اعضا خرپا و امکان اشتباه در محاسبات روش زیر پیشنهاد می شود.

$$n = b + r - 2j$$

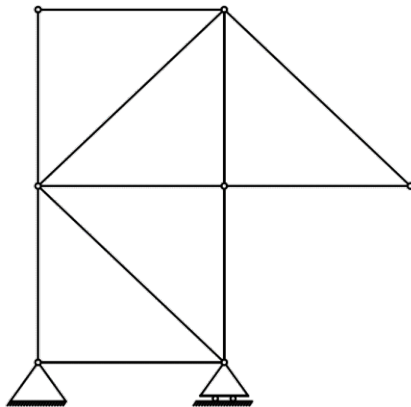
تعداد اعضاء خرپا

تعداد عکس العمل های تکیه گاهی

j = تعداد گره های خرپا

نکته: j شامل مفاصل تکیه گاهی نیز می شود.

تمرین: درجه نامعینی خرپای زیر را محاسبه نمایید.



$$n = b + r - 2j = 0$$

$$\begin{cases} b = 11 \\ r = 3 \\ j = 7 \end{cases}$$

$$\begin{cases} k = 5 \\ r = 3 \\ c = 15 \end{cases}$$

$$n = 3k + r - (3 + c) = 0$$

محاسبه عکس العمل تکیه گاهی سازه های معین با استفاده از روش استاتیکی

در سازه های معین می توانیم با استفاده از روابط تعادل استاتیکی ($\sum F_x = 0, \sum F_y = 0, \sum M = 0$) عکس العمل های تکیه گاهی یا نیروی های داخلی را در هر نقطه از سازه بدست آوریم. اما در سازه های نامعین نمی توانیم با استفاده از روابط تعادل استاتیکی سازه را تحلیل کنیم.

برای بدست آوردن نیروهای داخلی در هر نقطه از تیر، برشی در آن نقطه ایجاد می کنیم و با استفاده از روابط تعادل استاتیکی فوق، نیروهای داخلی را محاسبه می کنیم.

در سازه های معین در صورت وجود ناپیوستگی (مفصل خمشی - مفصل برشی و ...) سازه را از قسمت ناپیوستگی جدا کرده و روابط تعادل را برای هر قسمت از سازه که کمتر از ۳ مجهول در آن وجود دارد منویسیم و سپس عکس العمل های تکیه گاهی سازه را محاسبه می کنیم.

تمرین: عکس العمل های تکیه گاهی سازه زیر را بدست آورید.

