

بنام خداوند جان و خرد

تحلیل سازه

ویژه آزمون محاسبات

ویرایش خرداد ۱۳۹۹

مدرس: مهندس محسن هجرانی دلیر



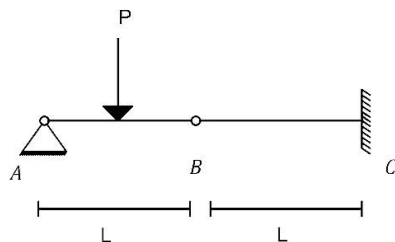
فهرست مطالب

پیشگفتار.....	۵
فصل اول: ترسیم دیاگرام لنگر خمشی ساده.....	۷
مقدمه.....	۸
محاسبه درجه نامعینی سازم.....	۸
عکس العمل‌های تکیه گاهی: (یادآوری استاتیک).....	۹
مفهوم معادلات شرط.....	۹
مدل سازی فنرها و کابل‌ها در تعیین درجه نامعینی.....	۱۰
درجه نامعینی در تیرها.....	۱۱
درجه نامعینی خرپا.....	۱۲
محاسبه عکس العمل تکیهگاهی سازه‌های 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 شکل‌های سازه‌های 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



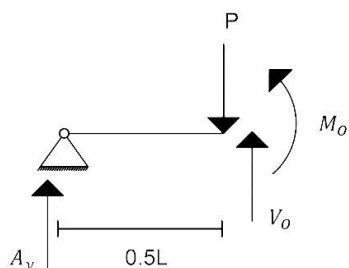
۳۳	نحوه محاسبه انتگرال.....
۳۳	بررسی سایر نیروهای داخلی در رابطه کار مجازی.....
۳۷	سوالات فصل دوم.....
۳۹	فصل سوم: تحلیل سازه‌های نامعین به روش نرمی و سختی.....
۴۰	مقدمه.....
۴۰	روش نرمی.....
۴۱	روش سختی.....
۴۱	مدلسازس سازه با فنر.....
۴۳	قضیه فنرهای موازی.....
۴۴	قضیه فنرهای سری.....
۴۶	سوالات فصل 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.....

تمرین: دیاگرام لنگر سازه زیر را رسم کنید.



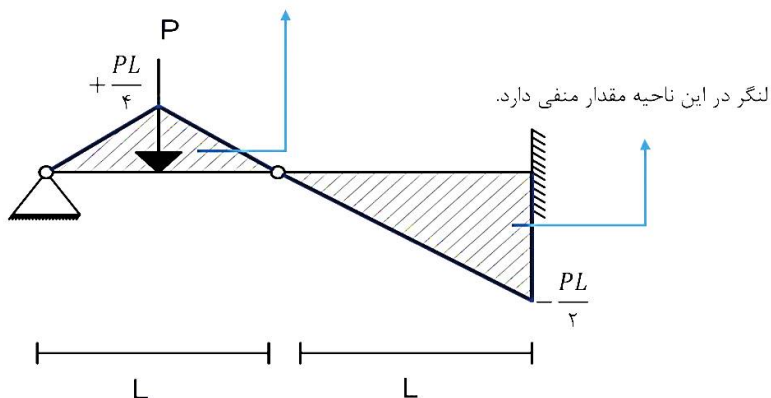
حل:

در سازه مقابل بعد از بدست آوردن عکس‌العمل‌های تکیه‌گاهی در میابیم که سازه دارای ۲ نقطه بحرانی است. یکی مفصل خمشی و دیگری محل اثر بار متمرکز است. که آن را نقطه O نامگذاری می‌کنیم. از طرفی می‌دانیم در مفصل خمشی مقدار لنگر برابر با صفر است. لذا نیاز به جداکردن سازه یا مقطع زدن در مفصل خمشی را نداریم. سازه را از محل اثر بار مقطع می‌زنیم. گذاشتن بار متمرکز یا نگذاشتن آن در محل مقطع، تأثیری بر مقدار لنگر در نقطه مذکور ندارد. زیرا بازوی لنگر آن برابر صفر است.

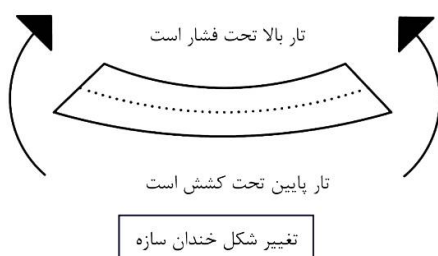


$$\sum M^O = 0 \rightarrow A_y \times 0.5L - M_o = 0 \rightarrow M_o = \frac{PL}{4}$$

لنگر در این ناحیه مقدار مثبت دارد

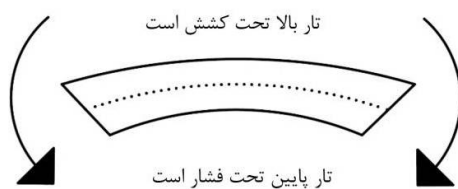


مفهوم لنگر مثبت و منفی



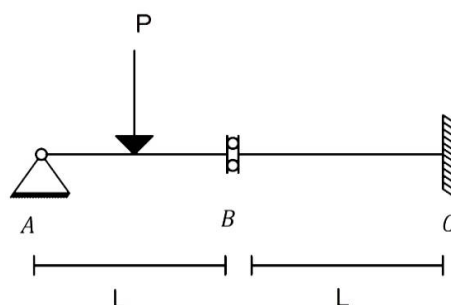
لنگر مثبت به لنگری گویند که تار بالای تیر را به فشار و تار پایین تیر را به کشش بباندد. به عبارت دیگر لنگر مثبت به لنگری گویند که تغییر شکل خندان در سازه ایجاد کند.

لنگر منفی به لنگری گویند که تار بالای تیر را به کشش و تار پایین تیر را به فشار بیاندازد. به عبارت دیگر لنگر منفی به لنگری گویند که تغییر شکل گریان در سازه ایجاد کند.

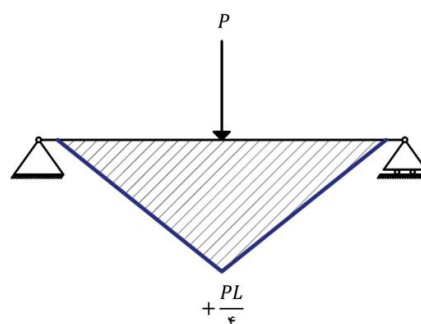
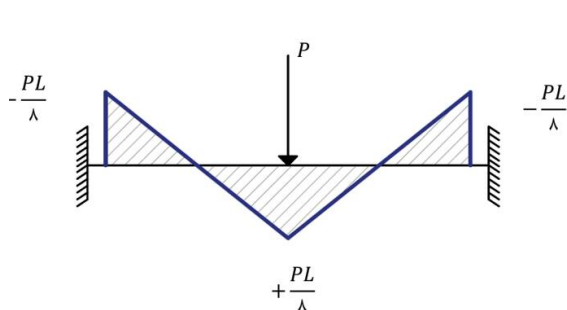
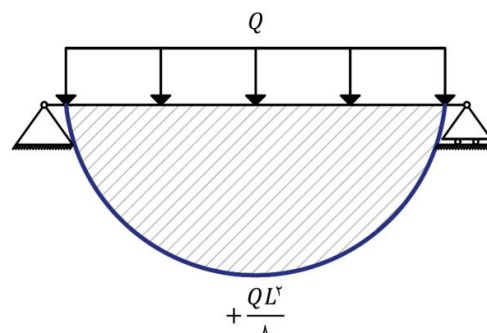
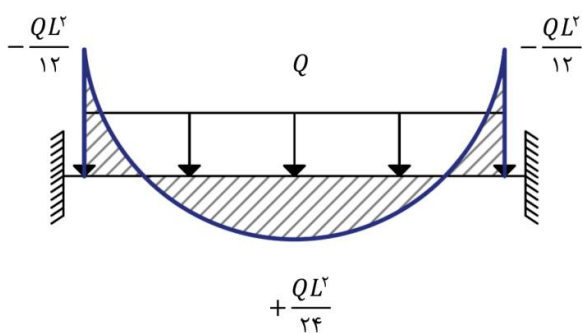


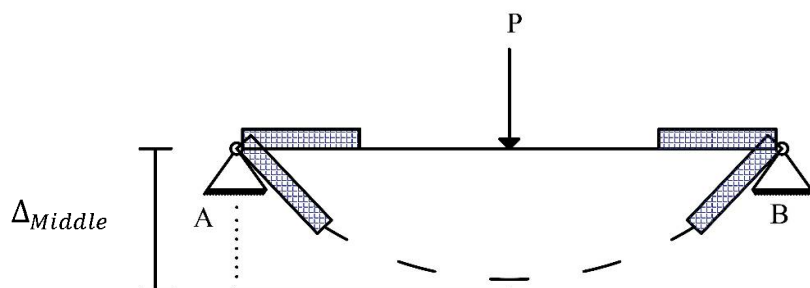
تغییر شکل گریان سازه

مسئله ۲: دیاگرام لنگر سازه مقابل را رسم کنید.

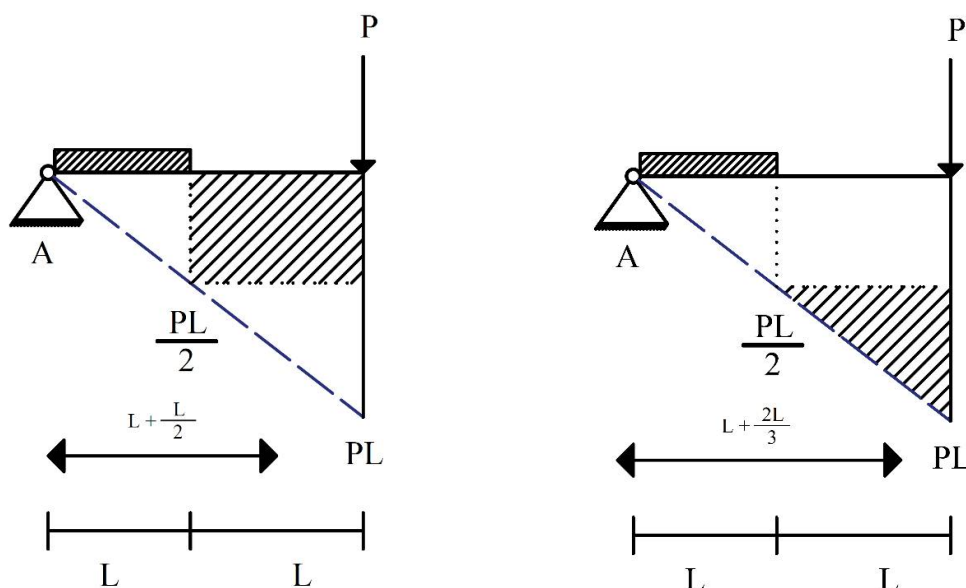


نکته: در ترسیم دیاگرام لنگر با بار گسترده، شیب دیاگرام لنگر در بارهای گسترده درجه ۲ (غیرخطی) و تابع x است. در شکل زیر ۴ تا از مهمترین دیاگرام لنگر ملاحظه می کنید. به مهندسين عزیز توصیه می شود این ۴ مورد را حفظ کنند. (در تمامی سازه ها طول سازه برابر با L است.)





اکنون با توجه به قضیه دو لنگر سطح مقدار خیز در وسط دهانه را بدست می‌آوریم.



$$\Delta_{Middle} = \left(\frac{PL}{2} \times L \left(L + \frac{L}{2} \right) + \frac{PL}{2} \times L \times \frac{1}{2} \times \left(L + \frac{2L}{3} \right) \right) / EI = \frac{7PL^3}{6EI}$$

روش تیر مزدوج

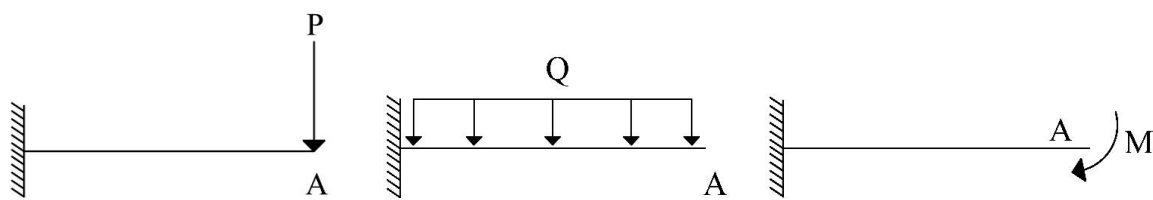
این روش اغلب برای بدست آوردن نقاط اکسترمم (نقاط ماکزیمم و مینیموم) در سازه کاربرد دارد. زیرا میدانیم جایی که مقدار برش صفر است؛ مقدار لنگر در نقطه اکسترمم قرار دارد.

نکته: این روش در سازه‌های دارای ناپیوستگی (مفصل خمشی، مفصل برشی و ...) و قاب‌ها غیرقابل استفاده است.

در این روش برای تحلیل یک تیر معین، مزدوج تیر را بدست می‌آوریم و آن را تحلیل می‌کنیم. برش صفر است؛ مقدار لنگر در نقطه اکسترمم قرار دارد.

تیر مزدوج یک تیر، تیری است که طول آن با طول تیر اصلی برابر بوده ولی بارگذاری، تکیه‌گاه‌ها و اتصالات در آن با تیر اصلی متفاوت است.

تیرهای طره: <



$$\Delta_A = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$\theta_A = \frac{PL^2}{2EI}$$

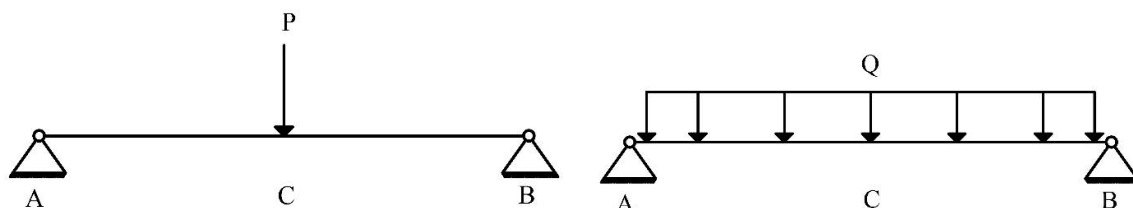
$$\Delta_A = \frac{QL^4}{8EI}$$

$$\theta_A = \frac{QL^3}{6EI}$$

$$\Delta_A = \frac{ML^2}{2EI}$$

$$\theta_A = \frac{ML}{EI}$$

تیرهای دو سر مفصل: <

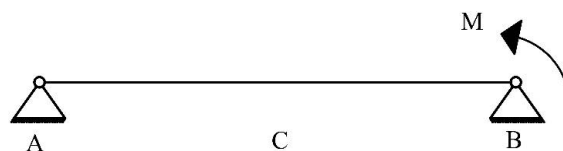


$$\Delta_C = \frac{PL^3}{48EI}$$

$$\theta_{A=B} = \frac{PL^2}{16EI}$$

$$\Delta_C = \frac{5QL^4}{384EI}$$

$$\theta_{A=B} = \frac{QL^3}{24EI}$$

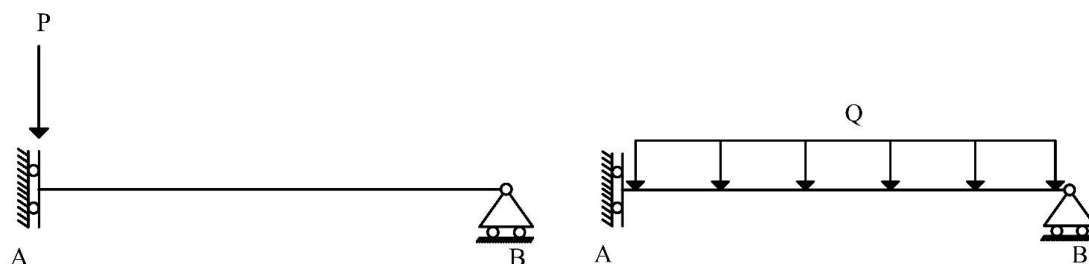


$$\Delta_C = \frac{ML^2}{16EI}$$

$$\theta_A = \frac{ML}{6EI}$$

$$\theta_B = \frac{ML}{3EI}$$

تیرهای لغزنده گیردار:

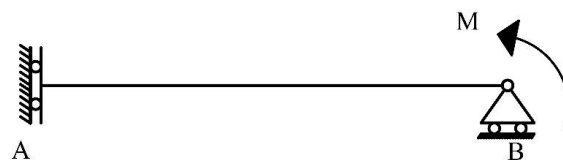


$$\Delta_A = \frac{PL^3}{3EI}$$

$$\theta_B = \frac{PL^2}{2EI}$$

$$\Delta_A = \frac{5QL^4}{24EI}$$

$$\theta_B = \frac{QL^3}{3EI}$$



$$\Delta_A = \frac{ML^2}{2EI}$$

$$\theta_B = \frac{ML}{EI}$$

نکته: در سازه‌های معین، برای محاسبه تغییر مکان اعضاء می‌توان از اصل جمع آثار قوا استفاده کرد. بدین منظور برای بدست آوردن تغییر شکل نقطه‌ای از یک سازه با چندین قسمت انعطاف پذیر، در هر مرحله فقط یکی از قسمت‌ها را انعطاف پذیر در نظر گرفته و با صلب فرض کردن سایر قسمت‌ها تغییر مکان نقطه مورد نظر بدست می‌آید. در نهایت با جمع تغییر مکان نقطه مربوطه در هر حالت، تغییر مکان نهایی آن نقطه بدست می‌آید.



تمرین: در سازه زیر مقدار خیز و شیب در نقطه A چقدر

است؟

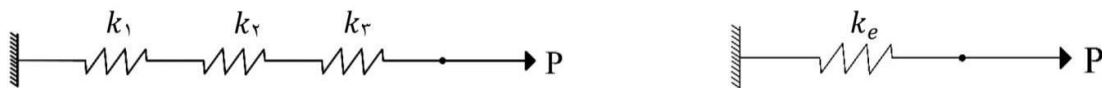
حل: با توجه باینکه در فاصله A تا B هیچ‌گونه بارگذاری رخ نداده؛ بنابراین این ناحیه دارای شیب ثابت بوده و مانند خط مستقیم تغییر شکل می‌دهد.

حل به روش جمع آثار قوا:

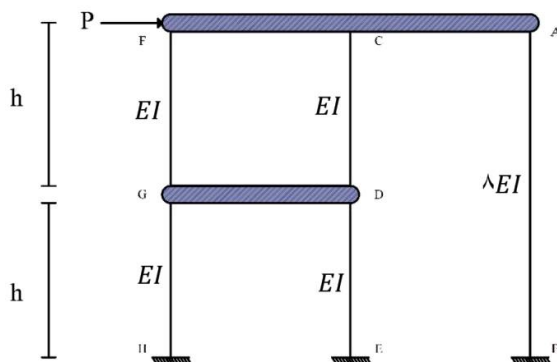
اکنون یکبار قسمت AB را صلب فرض کرده و خیز نقطه A را بدست می‌آوریم و سپس قسمت BC را صلب کرده و خیز نقطه A را مجدداً بدست آورده و با هم جمع می‌کنیم. می‌دانیم در صورت صلب شدن قسمت BC خیز نقطه A برابر صفر است. (چرا؟)

قضیه فنرهای سری

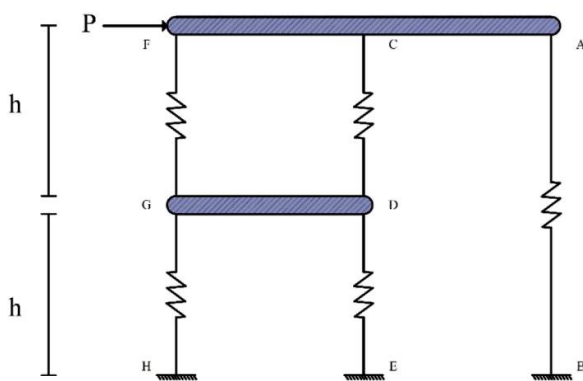
در این حالت نیروی فنرها با یکدیگر برابر است و تغییر طول فنرها با یکدیگر جمع می شود و تغییر طول هر فنر متناسب با سختی آن می باشد. در واقع هرچه سختی فنر بیشتر باشد، تغییر طول آن کمتر است.



$$P_1 = P_2 = P_3 = P \quad \frac{1}{k_e} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} \quad \Delta_{total} = \frac{P}{k_e}$$



تمرین: در سازه مقابل، چنانچه تیرها به لحاظ محوری و خمشی صلب فرض شوند؛ حداکثر لنگر خمشی به وجود آمده در ستون AB چقدر است؟



حل: ابتدا هر یک از ستون ها را معادل فنر در نظر می گیریم.

سپس با توجه به قضیه فنرهای سری و موازی، سهم نیروی برشی ستون AB را بدست می آوریم. در نهایت با توجه به مسئله ۱ در فصل سوم مقدار لنگر در پای ستون رو محاسبه می کنیم.

می دانیم سختی هر یک از اعضاء برابر با $\frac{12EI}{L^3}$ است.

$$K_{GH} \text{ و } K_{DE} \text{ موازی} \rightarrow K_{t1} = \frac{12EI}{h^3} + \frac{AB}{h^3} = \frac{24EI}{h^3}$$

$$K_{GH} \text{ و } K_{DC} \text{ موازی} \rightarrow K_{t2} = \frac{12EI}{h^3} + \frac{AB}{h^3} = \frac{24EI}{h^3}$$

$$K_{t1} \text{ و } K_{t2} \text{ سری} \rightarrow \frac{1}{k_{t3}} = \frac{1}{h_{t1}} + \frac{1}{h_{t2}} \rightarrow K_{t3} = \frac{12EI}{h^3}$$

موازی K_{t3} , K_{AB}