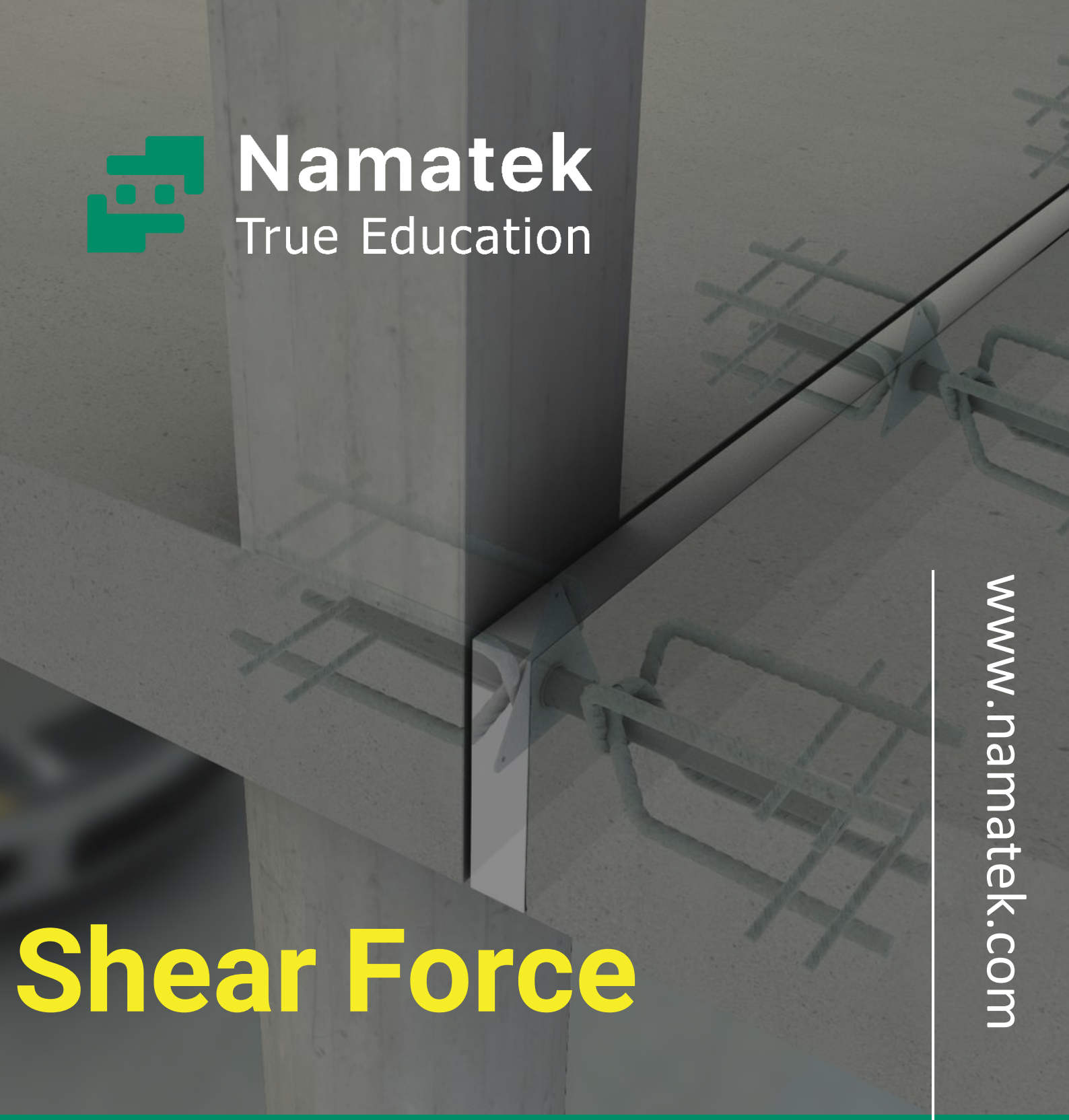


Namatek
True Education

www.namatek.com

Shear Force

نیروی برشی

فهرست مطالب

۱. نیروی برشی چیست؟

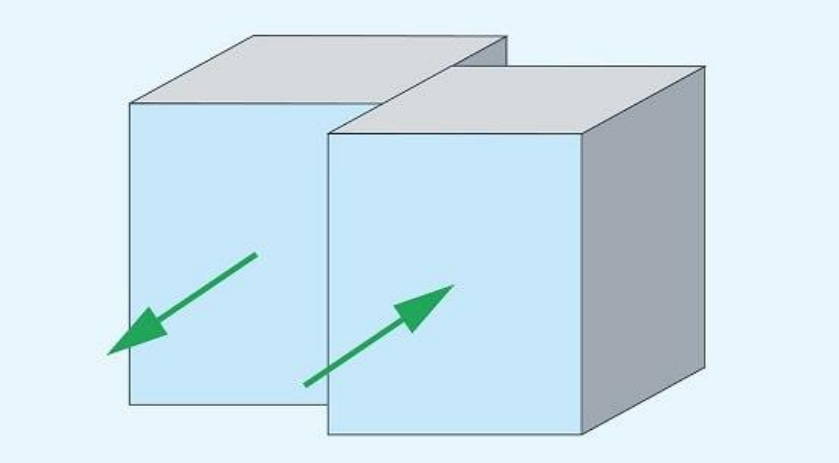
۲. محاسبه نیروی برشی

۳. رابطه بین نیروی برشی و لنگر خمشی

www.namatek.com

نیروی برشی یک مفهوم مهم در مهندسی عمران، به ویژه در طراحی و تحلیل تیرها و سایر عناصر سازه ای است که باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد. مهندسان باید از ابزارهای دقیق و کارا در این زمینه استفاده کنند و موادی که مورد استفاده قرار می دهند و همچنین سطح مقطع را با دقت انتخاب کنند؛ تا مطمئن شوند تیرها یا عناصر سازه ای می توانند در برابر نیروهای برشی پیش بینی شده بدون انحراف بیش از حد یا هرگونه شکستگی مقاومت کنند. در این مقاله به بررسی نیروی برشی، ضرورت توجه به آن، محاسبه آن و ارتباط بین نیروی برشی و لنگر خمشی می پردازیم.

نیروی برشی چیست؟

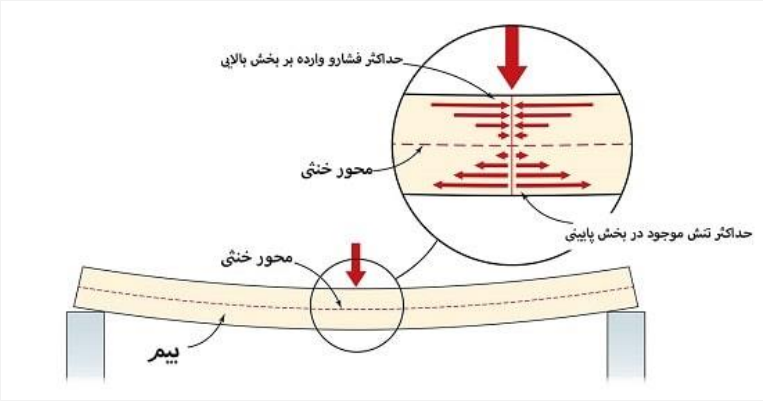


نیروی برشی، نیرویی است که در امتداد سطح اعمال می شود، در تقابل با نیروی انحرافی که در جهت مخالف آن عمل می کند و سبب ایجاد یک برش کششی می شود. به عبارت ساده تر، یک بخش از سطح، در یک جهت تحت فشار قرار می گیرد؛ این در حالی است که به بخش دیگر آن در جهت مخالف فشار وارد می شود. اگر یک بار خارجی به یک تیر یا عناصر سازه ای دیگر وارد شود، باعث تغییر شکل ماده و ایجاد نیروهای داخلی عمود بر جهت بار خواهد شد. در یک تیر، نیروی برشی، حاصل توزیع نیروها در طول آن است.

همان گونه که این نوع بارها به تیر وارد می شوند، نیروی برشی در هر نقطه تعیین شده برابر است با مجموع جبری نیروهای وارد شده به سمت چپ یا راست آن نقطه. نیروی برشی با تراکم متفاوت است. تراکم زمانی اتفاق می افتد که دو نیروی متضاد در یک نقطه به یکدیگر فشار وارد کنند (یعنی منحرف نمی شوند.) و در نتیجه منجر به یک تنش فشاری در آن می شوند. زمانی که یک بخش از سازه به وسیله برش، دچار شکست شود، دو بخش آن در جهت های مختلفی رانده خواهند شد؛ دقیقاً همانند زمانی که یک تکه کاغذ را با قیچی برش می دهیم.

برای ساختمان های بزرگ یا آسمان خراش ها باید دیوارهای برشی طراحی کرد. این موضوع کمک می کند تا این نوع سازه ها در برابر نیروهای برشی مقاومت پیدا کنند. در غیر این صورت، ممکن است عناصر ساختاری موازی یک ساختمان را تحت فشار قرار دهند.

علل ضرورت توجه به نیروی برشی چیست؟



نیروی برشی می تواند با ایجاد تغییر شکل یا خمش تیر باعث از کار افتادن آن شود. این امر به ویژه در شرایطی که تیر، بارهای سنگینی را تحمل می کند یا در یک منطقه پرتنش قرار گرفته، می تواند بسیار خطرناک باشد.

مهندسان باید عناصر سازه ای را برای مقاومت در برابر نیروهای برشی و اطمینان از ایمنی و قابلیت اطمینان سازه، به دقت مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند و سپس آن را طراحی کنند.

1) تجزیه و تحلیل نیروی برشی در تیر

یکی از روش های رایج برای تجزیه و تحلیل نیروی برشی تیرها، استفاده از نمودارهای نیروی برشی است. این نوع نمودار به مهندسان کمک می کند تا توزیع نیروهای برشی را در طول تیر تجسم کنند. با تجزیه و تحلیل نمودارهای نیروی برشی، مهندسان می توانند حداکثر نیرو را تعیین کنند و تیر را بر اساس آن طراحی کنند. مهندسان علاوه بر طراحی هایی که برای نیروهای برشی در نظر می گیرند، باید اثراتی که سایر بارها مانند لنگرهای خمشی، پیچش و بارهای محوری دارند را نیز مورد بررسی قرار دهند.

این نوع بارها می توانند با نیروهای برشی، بر هم کنش داشته باشند و شرایط بارگذاری پیچیده ای را ایجاد کنند که باید به دقت مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار بگیرند و طراحی شوند. توانایی تیر یا سایر عناصر سازه ای برای مقاومت در برابر نیروی برشی، مستقیماً با سطح مقطع آن و خواص مواد، مانند برش مدول (Modulus) مرتبط است. مواد و سطح مقطع باید به دقت بررسی و انتخاب شوند تا تیر بتواند بدون شکست یا انحراف به کار خود ادامه دهد.

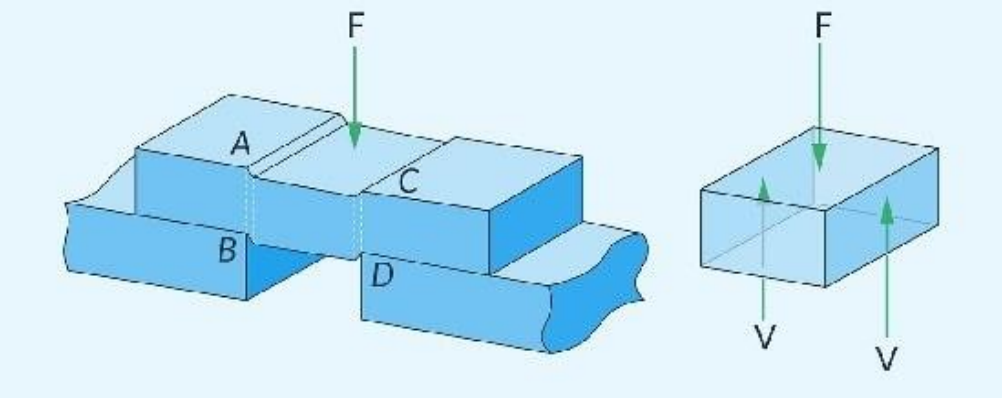
نیروی برشی چگونه افزایش می یابد؟

نیروی برشی می تواند به دلایل زیر افزایش یابد:

- بارگذاری زیاد
- افزایش میزان طول تیر یا سایر عناصر سازه ای

- میزان سختی و محکمی

محاسبه نیروی برشی

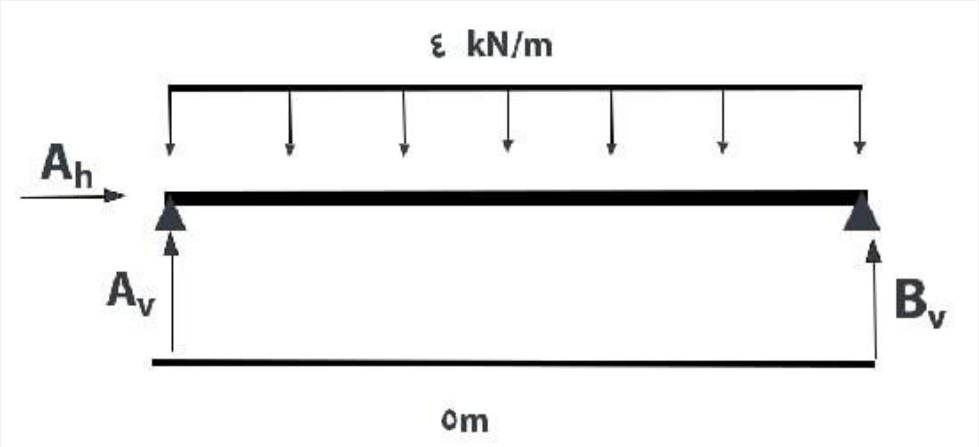


نیروهای برشی برابر است با مجموع تمامی نیروها در جهت نیروی برشی. تیر در اینجا عمود در نظر گرفته شده است. نیروی برشی v در یک نقطه خاص از المان های تیر، به گونه ای محاسبه می شود که مجموع تمامی نیروهای وارده برابر با ۰ شود.

$$\sum v = 0$$

در اینجا فشارهای رو به بالا به عنوان فشارهای مثبت محاسبه شده، ولی شما می توانید فشارهای رو به پایین را مثبت در نظر بگیرید؛ در هر صورت نتیجه نهایی یکسان خواهد بود. نیروی برشی را می توان در هر نقطه ای از تیر محاسبه کرد. برای مثال اگر طول تیر ۵ متر باشد، می توان نیروی برشی را در فاصله ۳/۱ یا ٤/٥ متری از انتهای آن محاسبه کرد. در ادامه با یک مثال محاسبه این نیرو را بهتر متوجه خواهیم شد.

مثال محاسبه نیروی برشی



می خواهیم نیروی برشی یک تیر تکیه گاهی را که تحت یک بار خطی قرار گرفته است، محاسبه کنیم. برای محاسبه نیروی برشی، مراحل زیر را انجام می دهیم:

۱. نیروهای واکنشی A_h، A_v و B_v را محاسبه کنید.

۲. تیر را در نطقه x برش دهید.

۳. نیروی برشی را در نقطه x محاسبه کنید.

٤. مرحله ۲ و ۳ را برای محاسبه نیرو در سایر نقاط تکرار کنید.

1) محاسبه نیروهای واکنش

برای محاسبه A_v از تعادل گشتاور در نقطه b استفاده می کنیم؛ زیرا تکیه در نقطه b یک لولا است و بنابراین میزان خمش صفر است.

$$\sum M = 0 : A_v \cdot 5m - 4\ kN/m \cdot 5m \cdot \frac{5m}{2} + M = 0$$

بنابراین همان گونه که قبلاً گفته شد M= 0 خواهد بود.

$$A_v \cdot 5m = 4\ kN/m \cdot 5m \cdot \frac{5m}{2}$$

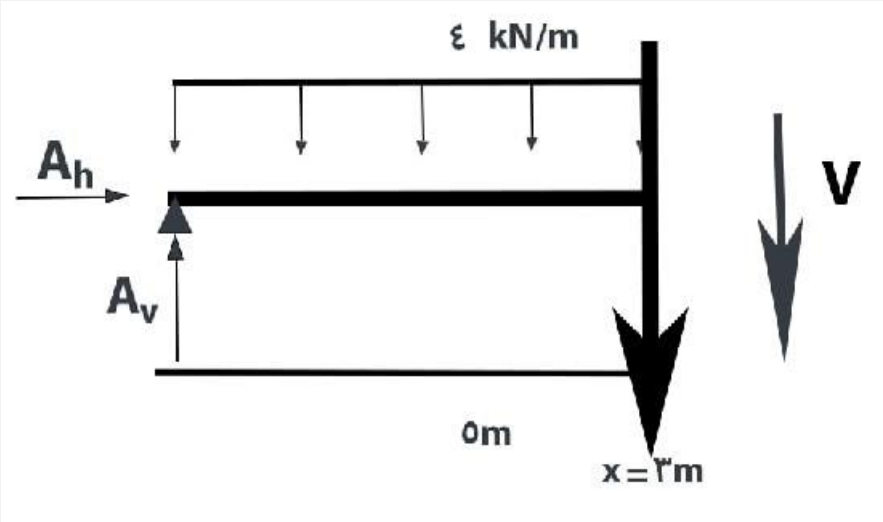
$$A_v = 4\ kN/m \cdot \frac{5m}{2} = 10\ kN$$

برای محاسبه B_v از تعادل عمودی استفاده می کنیم:

$$\sum V = 0 : A_v + B_v - 4\ kN/m \cdot 5m = 0$$

$$B_v = -A_v + 20\ kN = 10\ kN$$

2) محل برش تیر در نقطه X



اولین برش را در نقطه x = 3 m انجام می دهیم.

3) محاسبه نیروی برشی در نقطه x

در اینجا از تعادل نیروی عمودی به منظور محاسبه V در نقطه x= 3m استفاده می شود:

$$\sum V = 0 : A_v - 4\ kN/m\ .\ 3m - V = 0$$

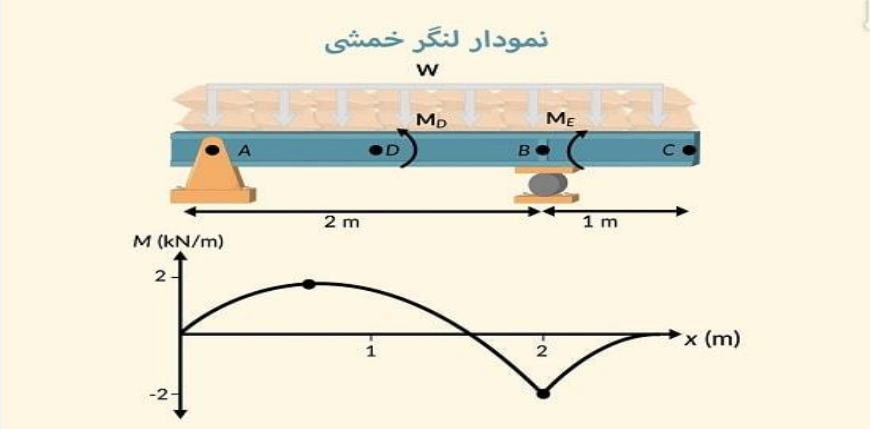
$$M = 10\ kN - 4kN/\ m\ .\ 3m = -2kN$$

به همین ترتیب نیروی برشی سایر نقاط را می توان محاسبه کرد.

رابطه بین نیروی برشی و لنگر خمشی

قبل از بررسی رابطه بین نیروی برشی، لنگر خمشی و بارگذاری بهتر است تعریفی از لنگر خمشی داشته باشیم.

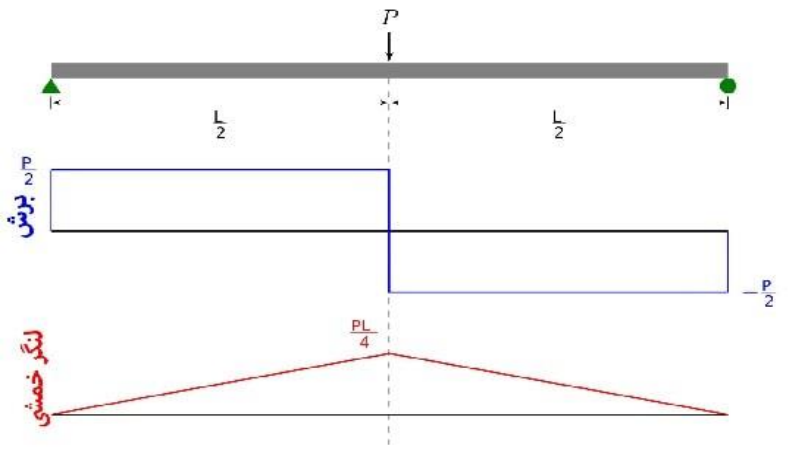
لنگر خمشی چیست؟



لنگر خمشی یکی از مفاهیم اساسی در مهندسی سازه است و نشان دهنده لنگر داخلی است که در اثر نیروهای خارجی وارده شده به آن در یک المان سازه ایجاد می شود. این مفهوم معیاری است برای سنجش تمایل یک المان سازه مانند تیر، به خم شدن یا تغییر شکل تحت بارهای وارده. لنگرهای خمشی باعث ایجاد تنش و تغییر شکل در یک ماده می شوند و منجر به یک خمش یا یک حرکت خمشی در آن ماده خواهند شد.

به عبارت ساده تر، لنگر خمشی مجموع جبری گشتاور یا گشتاورهایی است که در دو طرف یک مقطع انتخاب شده در امتداد یک المان ساختاری عمل می کنند. لنگر خمشی در یک نقطه خاص، تحت تأثیر بارهای اعمال شده، واکنش ها و هندسه سازه قرار دارد. در تعیین توزیع، نیروها و تنش های داخلی در یک المان سازه بسیار مهم هستند.

ارتباط لنگر خمشی و نیروی برشی



هنگامی که یک تیر تحت بارهای مختلفی مانند بارهای توزیع شده، بارهای متمرکز و خمش زوجی قرار می گیرد، هم نیروی برشی و هم لنگر خمشی را تجربه می کند. برای درک رابطه بین این دو نیرو، می توان یک مقطع از تیر را تجزیه و تحلیل کرد. برای این که مقطع المان پرتو در حالت تعادل باشد، باید گشتاور عمل کننده در سمت راست مقطع در مقایسه با سمت چپ آن به میزان کمی بیشتر باشد. بار توزیع شده، نیروی به دست آمده را در فاصله کسری از انتهای سمت راست آن بخش اعمال می کند. برای برقراری رابطه بین نیروی برشی و لنگر خمشی می توان از معادله تعادل در خمش استفاده کرد:

$$\Delta M = V\Delta x - kw\,(x)\,\Delta x^2$$

Mدر اینجا نیروی خمشی و V نیروی برشی است. با تقسیم این معادله بر Δx و نزدیک شدن Δx به صفر، شیب خمش نمودار را محاسبه خواهیم کرد که معادل برش است.

$$\frac{dM}{dx} = V$$

با ادغام بار توزیع شده روی بخشی از المان که بین دو نقطه دلخواه قرار گرفته، می توان تغییر در لنگر خمشی و ناحیه ای که زیر نمودار برشی قرار گرفته را محاسبه و آن ها را به یکدیگر مرتبط کنیم.

$$M_C - M_B = \int_{xb}^{xc} V\,dx$$

این رابطه به منظور درک چگونگی واکنش نیروهای داخلی تیر به بارهای خارجی و چگونگی تأثیر این نیروها بر رفتار کلی سازه تیر بسیار ضروری است.

رابطه بین بارگذاری، نیروی برشی و لنگر خمشی

بررسی رابطه بین این ۳ در مهندسی سازه بسیار ضروری است و نقش مهمی در طراحی و تجزیه و تحلیل سازه دارد. این ۳ مفهوم با یکدیگر مرتبط هستند و از طریق روابط زیر قابل درک هستند:

- **بارگذاری:** به گشتاورها و نیروهای خارجی اعمال شده به یک سیستم سازه اشاره دارد. این بارها می توانند شامل بارهای نقطه ای، بارهای توزیع شده و خمش باشند. نوع، بزرگی و توزیع این بارها به صورت مستقیم بر رفتار سازه تأثیر می گذارد.
- **نیروی برشی:** نیروی داخلی ای است که به موازات سطح مقطع یک المان سازه عمل می کند و در پاسخ به بارها و واکنش های خارجی اعمال شده ایجاد می شود. نیروی برشی نشان دهنده تمایل یک بخش از سازه به لغزش یا تغییر شکل نسبت به بخش مجاور آن است. نیروی برشی در هر مقطعی از سازه برابر است با مجموع جبری نیروهای عمودی خارجی که در یک طرف قطعه وارد می شوند.
- **لنگر خمشی:** گشتاور داخلی است که درون یک المان سازه در اثر نیروهای خارجی ایجاد می شود و سبب ایجاد خمش یا یک اثر خمشی در آن المان می شود. لنگر خمشی نشان دهنده تمایل یک سازه به خم شدن یا تغییر شکل تحت بارهای وارد شده به آن است.

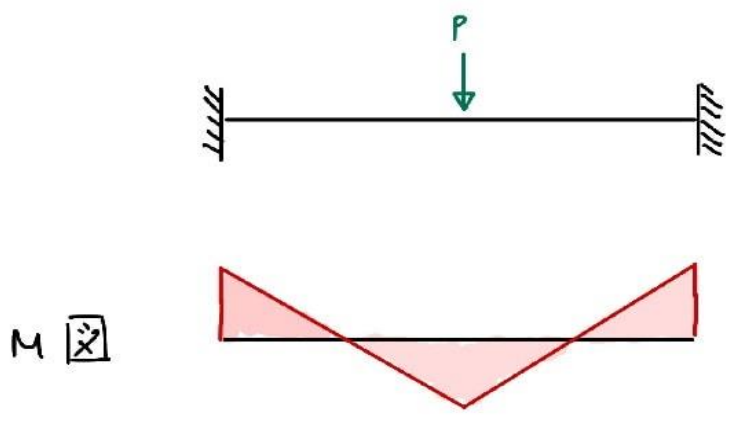
ویژگی های نیروی برشی و لنگر خمشی

برخی از ویژگی ها و خواص اساسی نمودارهای برشی و لنگرهای خمشی به صورت زیر هستند:

- ناحیه نمودار برشی در سمت راست یا چپ بخش مربوط به خمش در آن بخش است.
- در یک نقطه خاص، برش برابر با شیب نمودار لنگر خمشی است.
- در یک نقطه خاص، بار وارده برابر با شیب نمودار برشی است.

- حداکثر گشتاور در نقطه ای اتفاق می افتد که برش صفر باشد. در این مرحله گشتاور به صورت مماس افقی به نمودار خمش رسم می شود.

مفهوم نقطه عطف



لنگرهای خمشی که در جهت مخالف یکدیگر قرار گرفته اند همیشه باعث ایجاد انحنای پرتو در جهت مخالف می شوند. در نقاط عطف (Contraflexure) در تیر در معرض خمشی قرار می گیرند که:

- علامت لنگر خمشی تغییر می کند.
- نقاطی با لنگر خمشی صفر ایجاد می شود.
- نقاطی که در آن پرتوی انحنا تغییر می کند.

در نتیجه، تیر در نقطه مقابل نقطه عطف خم می شود. نقطه عطف در برخی از موارد با عنوان نقطه خمش یا لولای مجازی نیز شناخته می شود.

اهمیت ترسیم نمودار برشی و لنگر خمشی

با ترسیم این نمودارها، مهندسان متوجه می شوند که در کدام یک از بخش های سازه باید آرماتورها برای مقابله با نیروی برشی و لنگر خمشی قرار گیرند.