



مقاومت مصالح ۱

گزارش پروژه



محمد | منتظری | ۸۱۰۶۹۹۲۶۹

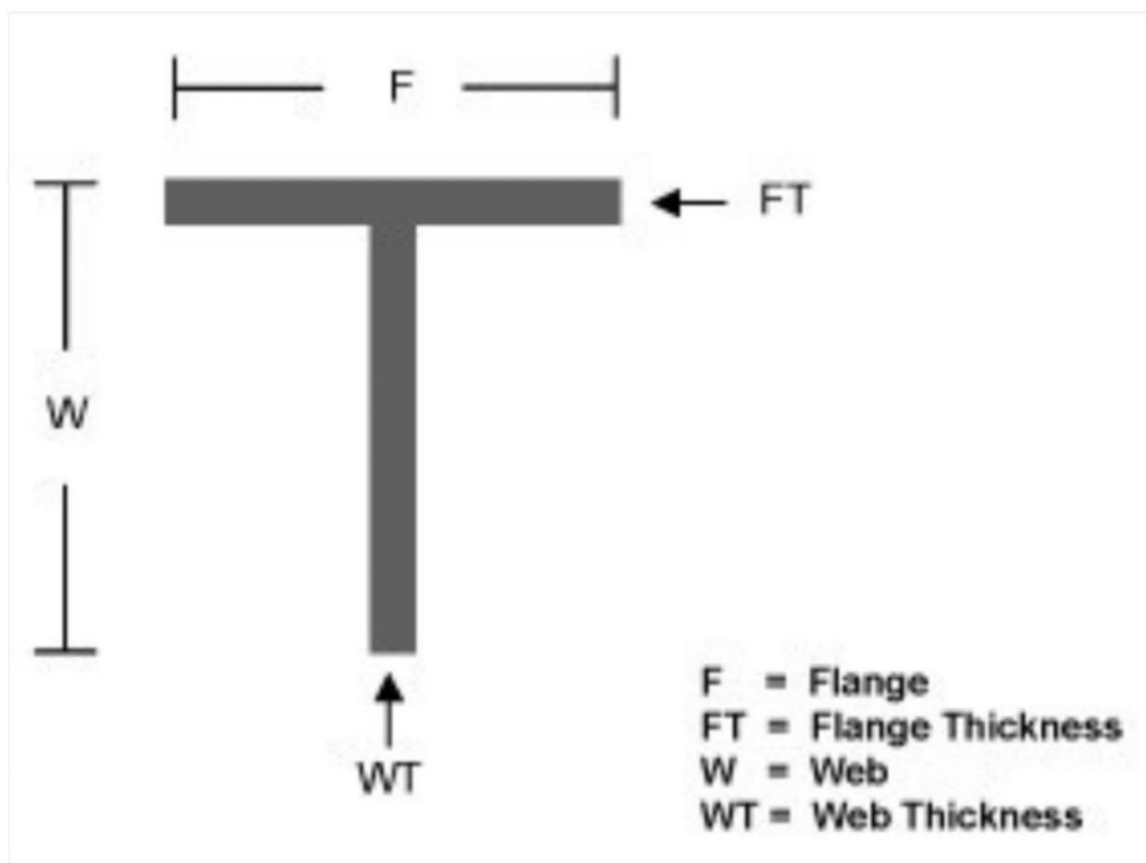
محمدجواد | محمدی | ۸۱۰۶۰۰۱۲۹

استاد : دکتر مریم مهنما
دستیار آموزشی : مهندس امیررضا محرمی
زمستان ۱۴۰۱



موضوع پروژه

در این پروژه، قصد داریم برنامه ای بنویسیم که با اعمال بارگذاری های مختلف بر یک تیر با سطح مقطع مشخص، فاکتورهای مورد بحث در مقاومت مصالح ۱ را درون تیر تحلیل کنیم. سطح مقطع مد نظر در این پروژه، یک سطح T شکل، با ۴ متغیر هندسی به شکل زیر می باشد:



در این پروژه، به عنوان یک فعالیت امتیازی، قصد داریم یک وبسایت اینترنتی به عنوان رابط کاربری، بسازیم. برای طراحی این وبسایت، از نمونه ی خارجی [skyciv](https://skyciv.com/free-beam-calculator/)¹ الگو برداری شده است.

به منظور طراحی این سایت، در سطح front-end از کدنویسی HTML و CSS، و در سطح back-end از زبان Python و فریمورک Django استفاده شده است. همچنین در طراحی های گرافیکی

¹ <https://skyciv.com/free-beam-calculator/>

سایت، از آیکون های Font Awesome^۱ نسخه ۴ استفاده شده است. آیکون های support
های pin و roller نیز به کمک Figma^۳ طراحی شده است.
مهمترین پکیج های به کار رفته در این پروژه عبارتند از:

- Matplotlib
- Sympy
- Numpy
- Django

سایت طراحی شده، هم اکنون با آدرس ذیل در دسترس می باشد.

<http://67.43.234.87/home/>

تمامی فایل های بک-اند و فرانت-اند نیز در سامانه ایلرن بارگذاری شده اند.
تغییرات احتمالی فایل ها و سایت، در آپدیت های بعدی به اطلاع خواهد رسید.

^۱ [Icons from Font Awesome, Bootstrap and Google \(w3schools.com\)](https://www.w3schools.com/icons/icons_reference.asp),

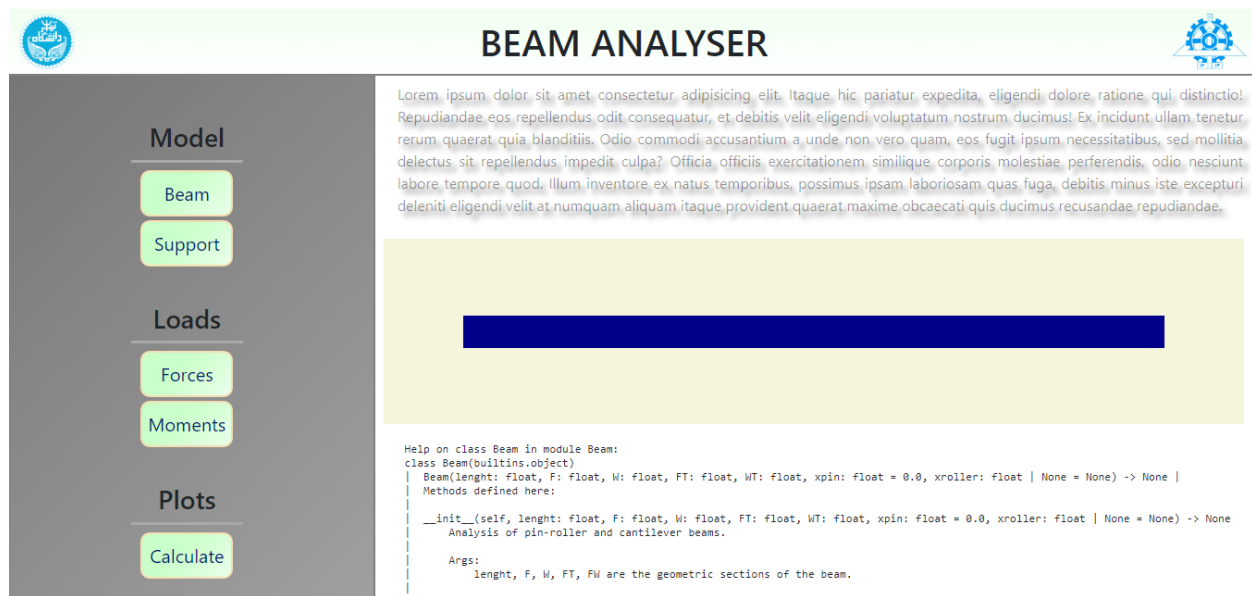
https://www.w3schools.com/icons/icons_reference.asp

^۲ [Font Awesome](https://fontawesome.com/), <https://fontawesome.com/>

^۳ <https://www.figma.com/>

نحوه کار با سایت

در صفحه اصلی سایت، ۵ دکمه‌ی اساسی در sidebar سمت چپ تعریف شده است. که در خصوص آنها به تفصیل شرح خواهیم داد. اما در قسمت اصلی صفحه، یک تیر سورمه‌ای رنگ، در زیر یک متن دکوری نشان داده شده است. در زیر آن نیز، راهنمای کلیِ کلاس Beam که در محاسبات از آن استفاده شده است، آورده شده است. هرچند تمام این متون بیشتر به منظور زیباسازی و پر کردن فضای صفحه آورده شده اند.



BEAM ANALYSER

Model

- Beam
- Support

Loads

- Forces
- Moments

Plots

- Calculate

Placeholder image of a beam.

Help on class Beam in module Beam:

```
class Beam(builtins.object)
  Beam(lenght: float, F: float, W: float, FT: float, WT: float, xpin: float = 0.0, xroller: float | None = None) -> None
  Methods defined here:
    __init__(self, lenght: float, F: float, W: float, FT: float, WT: float, xpin: float = 0.0, xroller: float | None = None) -> None
      Analysis of pin-roller and cantilever beams.

  Args:
    lenght, F, W, FT, WT are the geometric sections of the beam.
```

فاز اول؛ وارد کردن اطلاعات:

کاربر در ابتدا باید مشخصات هندسی تیر را تعریف کند. برای این مهم، از بخش model استفاده می شود. با انتخاب گزینه ی Beam ، کاربر وارد صفحه ای می شود که در آن باید مشخصات کامل تیر را وارد کند.

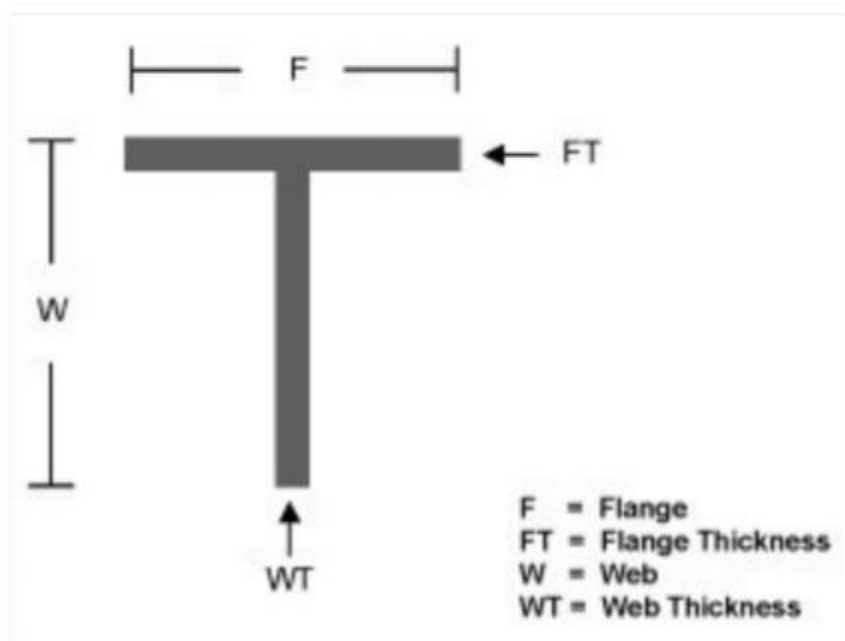
ورودی‌های طراحی شده کاملاً واضح هستند و کاربر، با وارد کردن اعداد مد نظر (اعداد اعشاری) در فیلدهای مربوطه، و انتخاب یکای مد نظر از **option box** مشخصات تیر را در اختیار برنامه می‌گذارد و با دکمه **save**، آنها را در دیتابیس برنامه^۱ ذخیره می‌کند.

Beam Length:

Length	m ▾
--------	-----

Cross Section Info:

F: Flange	FT: Flange Thickness
W: Web	WT: Web Thickness
m ▾	save ✓



سپس با زدن دکمه‌ی بازگشتِ مرورگر، به صفحه‌ی اصلی باز می‌گردد. در این مرحله، با انتخاب دکمه‌ی **supports**، کاربر می‌تواند مشخصات تکیه گاه‌ها را ثبت کند. برای این منظور، ابتدا نوع

^۱ db.sqlite3

تکیه گاه را مشخص و ذخیره می کند. سپس مختصات تکیه گاه (ها) در آن قرار می گیرند را با یکای مدنظر وارد و save می کند. با این کار، اطلاعات ثبت شده وارد دیتابیس می شوند.

Choose Support Type:

Cantilevered ▾

save ✓

position

m ▾


save ✓


یا

Choose Support Type:

Cantilevered ▾

save ✓

Pin: position m ▾ 

Roller: position m ▾ 

save ✓

سپس نوبت به بارگذاری ها می رسد. کاربر به کمک دکمه ی بازگشت مرورگر، به صفحه ی Home باز می گردد و از بخش loads ، دکمه ی forces را کلیک می کند. در صفحه ی جدید، کاربر قابلیت بارگذاری نیرو به کلی ترین حالت ممکن بارگذاری صفحه ای را داراست. در اصل کاربر میتواند هر کدام از حالت های

- نیروی نقطه‌ای
- نیروی گسترده‌ی ثابت
- نیروی گسترده خطی
- نیروی گسترده غیر خطی، به صورت تابعی از مختصات تیر (X)

را برای بارگذاری در هرکدام از جهت های X یا Y اعمال نماید.

Add Forces:

Vertical component of Force, as a Function of x:

math string

kN ▾

Horizontal component of Force, as a Function of x:

math string

kN ▾

Start and Stop coordinate (x):

x start

x stop

m ▾

add +

 Delete all recent Forces!

در اصل کاربر، در فیلدهای مربوطه، رشته ای وارد می کند که می تواند صفر، عدد ثابت و یا هر تابع ریاضی دلخواهی از x را با رعایت علائم نگارشی پایتون وارد کند. این توابع ریاضی، در back-end ، از ماژول sympy استخراج شده و در محاسبات استفاده می شوند. توجه کنید که مقادیر مثبت، نشانگر نیرو در جهات اصلی محور مختصات می باشند. یکای نیروی وارد شده نیز بر حسب کیلونیوتن (بر واحد متر) و کیلوپوند (بر متر) قابل انتخاب است.

سپس نوبت به وارد کردن مختصات ابتدا و انتهای بارگذاری گسترده می رسد. این مختصات بر هردو مولفه ی x و y نیرو (که در دو فیلد بالا وارد شدند) اعمال می گردد و نقاط ابتدا و انتهای بازه ای که این نیرو ها طی آن، به تیر وارد می شوند را مشخص می کنند.

اما اگر کاربر بخواهد بار نقطه ای ایجاد کند، کافی است در فیلد دوم مختصات، یعنی $x\ stop$ ، عددی منفی وارد کند. در این حالت برنامه از این عدد چشم پوشی کرده، و مقداری که در $x\ start$ وارد شده بود را به عنوان محل اعمال نیروی نقطه ای در نظر می گیرد. یکای مختصات نیز همچون پیش، قابل تغییر است.

بعد از وارد کردن اطلاعات، کاربر به کمک دکمه ی add ، بارگذاری را در دیتابیس ذخیره می کند؛ اما همچنان در صفحه باقی می ماند تا بتواند به تعداد دلخواه، و با ضوابط متفاوت، انواع بارگذاری ها را اضافه کند.

همچنین کاربر می تواند در صورت تمایل، تمام بارگذاری های پیشین را به کمک دکمه ی $Delete$ ، حذف کند. در نهایت با کمک فشردن (چندباره ی) دکمه ی بازگشت مرورگر، به صفحه اصلی باز می گردد.

بعد از نیروها، نوبت به گشتاور می رسد. کاربر با انتخاب $Moments$ ، وارد صفحه ای همچون صفحه ی نیرو ها می شود. در اینجا نیز، تمام توضیحات قبلی، اما اینبار برای گشتاورهای وارده به تیر، صادق است. توجه شود که راستای گشتاورهای قابل اعمال، دو راستای Z (گشتاور خمشی) و X (گشتاور پیچشی) می باشد.

Add Momentums:

[Torsional Torque or Bending Moment]

Torque alongside x-axis, as a Function of x:

math string

kN ▾

Bending Moment alongside z-axis, as a Function of x:

math string

kN ▾

Start and Stop coordinate (x):

x start

x stop

m ▾

add ➕

🗑 Delete all recent Momentums!

در اینجا فاز یک پروژه، یعنی وارد کردن مشخصات و دیتای مدنظر برای حل، به پایان می رسد. با کلیک کردن روی دکمه‌ی Calculate، فاز دوم آغاز می شود.

فاز دوم؛ انجام محاسبات:

این فاز عموماً در بک-اند رخ می دهد؛ جایی که در کلاس Beam، تمام محاسبات لازم برای تحلیل تیر، همچنین نمودارهای مربوطه تهیه و تنظیم می شود. این کلاس، در فایل Beam.py در پوشه (app) ای به نام home ذخیره شده است. در ادامه به معرفی متدها و توابع به کار رفته در این فایل می پردازیم:

در این پروژه از کتابخانه های matplotlib جهت کشیدن نمودارها، numpy و sympy جهت استفاده در محاسباتی مانند انتگرال گیری و تعریف توابع تکین استفاده شده است.

تابع init :

تابع تعریف تیر میباشد و به عنوان ورودی مقادیر مربوط به هندسه تیر گرفته میشود. همچنین مقادیر مربوط به مختصات پین یا رولر در این قسمت گرفته میشود. در صورتی که مقدار xroller داده نشود، تیر یک سر گیر دار فرض میشود و تنها پین آن در مختصات xpin قرار میگیرد. در این تابع مساحت، ضرایب C1 مربوط به محاسبه تنش بیشینه برشی در اثر پیچش (τ_y) مختص بال و جان تیر، ممان اینرسی های I_{yy} و I_{zz} و همچنین y_{max} (بشترین فاصله از محور اصلی روی سطح مقطع تیر، برای محاسبه تنش محوری حاصل از خمش) و y_{bar} مرکز سطح مقطع محاسبه میشود.

تابع floading :

این متد مختص تعریف بارگذاری نیرو است. همانطور که در docstring آن نوشته شده است، این تابع میتواند در دو جهت X (بارگذاری محوری) و Y (بارگذاری عمودی) و همچنین دو نوع بارگذاری نقطه ای یا گسترده دریافت کند. اگر $x2$ به آن داده نشود، بارگذاری نقطه ای خواهد بود در غیر این صورت بارگذاری در بازه $[x1, x2]$ انجام میشود.

تابع mloading :

این متد تا حدودی شبیه متد floading است با این تفاوت که برای دریافت بارگذاری گشتاوری است. این تابع بارگذاری را در دو جهت X (گشتاور پیچشی، torque) و Z (گشتاور خمشی، bending moment) همچنین در دو حالت گسترده و نقطه ای (مانند floading) دریافت کند و آن ها را ذخیره کند.

تابع `__statical_analysis` :

این تابع از توابع داخلی کلاس است و در بیرون از آن فراخوانده نمیشود. وظیفه این تابع محاسبات مربوط به قسمت استاتیکی تیر است. در این تابع نیروها و گشتاورهای تکیه گاهی محاسبه میشوند. در صورتی که تیر در حالت یک سرگیر دار باشد، متغیرهای Ny , Nx , MzN , MxN به ترتیب بیانگر گشتاور پیچشی ای که تکیه گاه به تیر وارد میکند، گشتاور خمشی تکیه گاهی، نیروی افقی و عمودی تکیه گاه هستند. در صورتی که تیر `pin-roller` باشد، متغیرهای $Ny1$, $Ny2$, Nx , MxN به ترتیب بیانگر گشتاور پیچشی ای که پین به تیر وارد میکند، نیروی افقی ای که پین وارد میکند، نیروی عمودی رولر و نیروی عمودی پین هستند. دقت شود که رولر هیچگونه گشتاور پیچشی ای به تیر وارد نمیکند و تمام گشتاور پیچشی با پین خنثی میشود.

تابع `__Mechanical_analysis` :

بزرگترین متد این کلاس است. در این تابع روی محاسبات مربوط به مقاومت مصالح تمرکز شده است.

`fxw:`

در ابتدا متغیر `fxw` (نیروی محوری گسترده) با استفاده از توابع تکین (`SingularityFunction`) تعریف میشود. این متغیر با جایگذاری x میتواند مقدار نیروی محوری را محاسبه کند.

`fyw:`

این متغیر همان $w(x)$ معروف است که با انتگرال گیری از آن میتوان به نیروی برشی رسید. برای تعریف آن از توابع تکین بهره برده شده است.

`shear force:`

طبق فرمول $v(x) = -\int w(x) dx$ نیروی برشی را به دست می آوریم.

bending moment:

با توجه که در این پروژه امکان وارد کردن گشتاور خمشی گسترده وجود دارد نیاز به تعمیم فرمول گشتاور خمشی داریم. به کمک استادیار، آقای محرمی، روابط زیر استخراج و مورد استفاده قرار گرفت:

$$M_x(x) = \int v(x) dx - \int M_{wx}(x) dx \quad \text{edited 13:57}$$

torque:

متغیر M_x یا همان گشتاور پیچشی، مثل متغیر fxw به گونه ای تعریف شده است که با جایگذاری x مقدار گشتاور پیچشی را برگرداند.

$\tau_{y,max}$ stresses:

در متغیر τ_{yu} مقدار بیشینه تنش برشی ناشی از پیچش در هر سطح مقطع در فاصله x از مبدا مختصات محاسبه شده است. این مقدار بیشینه حاصل تنش موجود در بال و جان تیر است که مقادیر آن ها باهم جمع شده است:

$$\tau_{y,max} = \frac{T}{c_1 ab^2}$$

normal stress:

در تنش نرمال دو عامل خمش و نیروی محوی موثر است. مقدار این تنش در سطح مقطع ثابت نیست و متغیر σ بیشینه این تنش را برمیگرداند.

$$\sigma = \frac{F_x}{A} - \frac{M_z \cdot y_{max}}{I_{zz}}$$

tau_xy_max stress:

متغیر tau_{xy} مربوط به تنش برشی حاصل از نیروی برشی است. مقدار ماکسیمم این تنش روی محور اصلی اتفاق میفتد و با توجه به آن Q و t (که همان عرض جان تیر است) برای محاسبه به کار میروند.

$$\tau_s = \frac{V \cdot Q}{I \cdot t}$$

بقیه توابع برای خروجی دادن جهت نمایش در front-end می باشند:

loadings: برگرداندن بارگذاری ها در دو نمودار نیرو و گشتاور

beam_geom: مشخصات مربوط به خود تیر نظیر ممان ها و مرکز سطح و ... را برمیگرداند

calculate: محاسبات مربوط به تیر (استاتیکی و مکانیکی)

reactions: برگرداندن مقادیر تکیه گاهی

و بقیه توابع برای برگرداندن نمودار ها و مقادیر نیروها، گشتاور ها و تنش ها هستند.

فاز سوم؛ نمایش نتایج:

بعد از اینکه کاربر گزینه Calculate را انتخاب کرد، حدود چند ثانیه (حداکثر ۳۰ ثانیه، بسته به توان پردازشی سرور و سرعت اینترنت) طول می کشد تا نتایج در بخش اصلی صفحه‌ی Home نشان داده شوند. توضیحات مربوط به هر نتیجه، به عنوان عنوان آن ذکر شده است. بنابر این نتایج کاملاً مشخص خواهد بود.

نکته مهم در خصوص نتایج مشهود در این پروژه، موضوع maintenance سایت است. در این لحظه که گزارش در دست نگارش است، نتایج مذکور، محدود خواهند بود به:

- مقادیر نیروهای تکیه گاهی
- نمودار نیروی برشی
- نمودار ممان خمشی
- نمودار ممان (گشتاور) پیچشی
- نمودار تنش نرمال بیشینه
- نمودار تنش برشی بیشینه
- و طوابق آنها یعنی تابع بار گسترده، نیروی برشی، ممان خمشی، گشتاور پیچشی، تنش نرمال و برشی بیشینه بر حسب X و توابع تکین.

چشم انداز ما برای development سایت، اضافه کردن نتایج بیشتری به تحلیلات انجام گرفته است، که در آپدیت‌های بعدی منتشر خواهد شد.