



راهنمای دستگاه کمانش (SBA-140)

شرکت طراحی مهندسی سنتام

تهیه و تنظیم: واحد پشتیبانی

تابستان ۱۳۹۸

www.santamco.com

فهرست

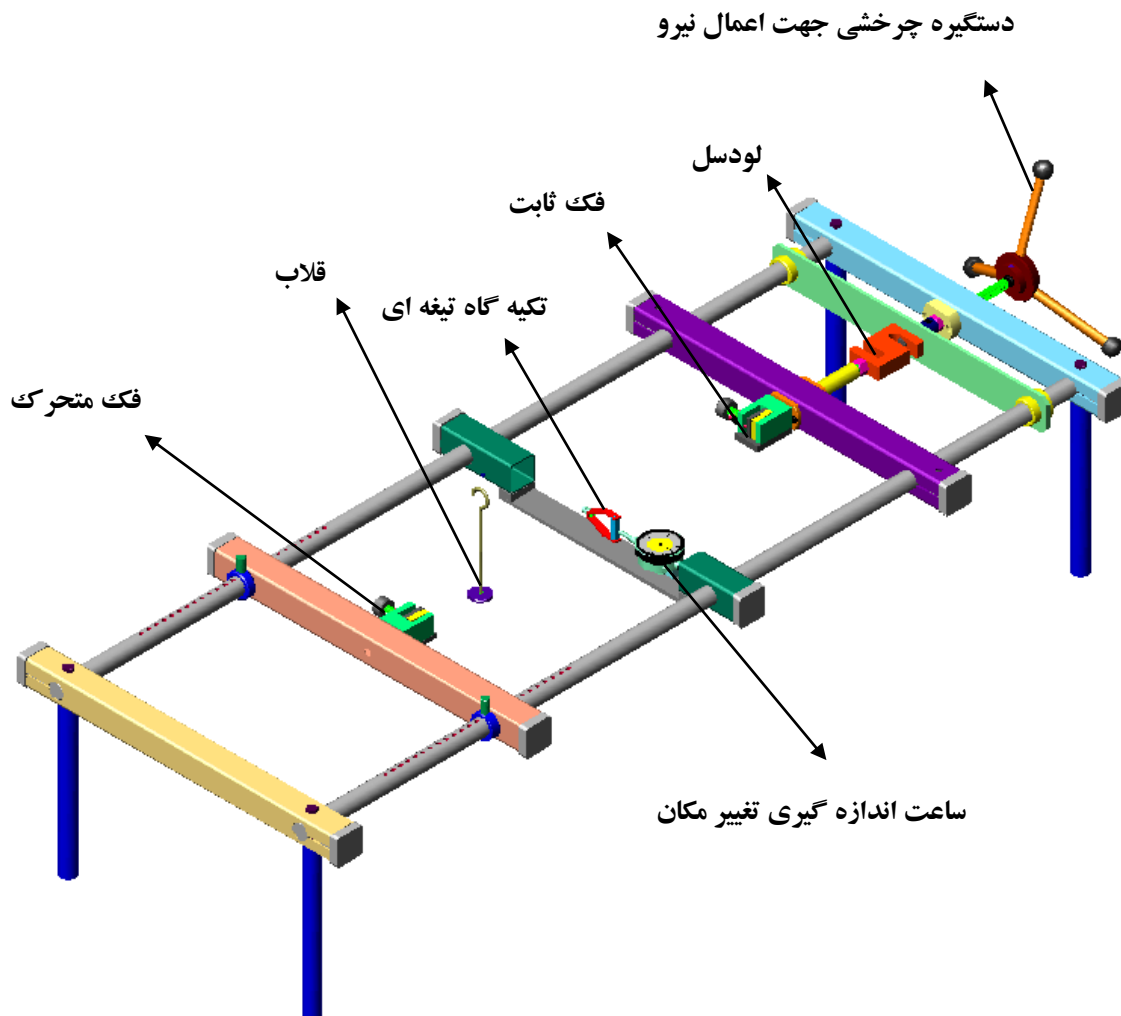
۱	هدف آزمایش.....	۳
۲	اجزا تشکیل دهنده دستگاه.....	۳
۳	شرح دستگاه.....	۳
۴	تئوری آزمایش.....	۳
۵	آزمایش ۱.....	۶
۵-۱	هدف آزمایش.....	۶
۶	روش کار با نمایشگر.....	۷
۶-۱	قسمت های مختلف نمایشگر.....	۷
۷	آزمایش ۲.....	۸
۷-۱	هدف آزمایش.....	۸
۸	آزمایش ۳.....	۹
۸-۱	هدف آزمایش.....	۹
۹	آزمایش ۴.....	۹
۹-۱	هدف آزمایش.....	۹

مقدمه

کمانش یعنی ناپایداری و از بین رفتن عضو، تحت تغییر شکل های جانبی زیاد که به علت نیروها یا تنش های فشاری رخ می دهد. در اعضای تحت فشار، علاوه بر انهدام یا تسلیم مصالح تحت تنش های فشاری، کمانش یا از بین رفتن پایداری ارتجاعی عضو می تواند تحت تنش های به مراتب کوچک تر از مقاومت نهایی مصالح باعث خرابی شود. نیروی کمانشی یک ستون نسبت مستقیم با مقطع ستون و نسبت عکس با ارتفاع دارد. یعنی هرچه ابعاد مقطع ستون بزرگ تر باشد، نیروی کمانش آن بزرگ تر و هرچه ارتفاع آن بلندتر باشد، نیروی کمانش آن کوچک تر است. دستگاه تست کمانش سنتام برای انجام تست های کمانش بر روی تیرهایی با ابعاد مختلف جهت بررسی رفتار آن ها تحت بارهای فشاری در نظر گرفته شده است. در این دستور کار سعی بر آن شده تا توضیحاتی در خصوص دستگاه، نحوه انجام تست ها و مطالب تئوری در خصوص آزمایشات مربوط به آن تشریح شود.

۱) هدف آزمایش: بررسی پدیده کمانش در تیرهای طویل با مقطع باریک تحت تأثیر نیروی فشاری

(۲) اجزاء تشکیل دهنده دستگاه :



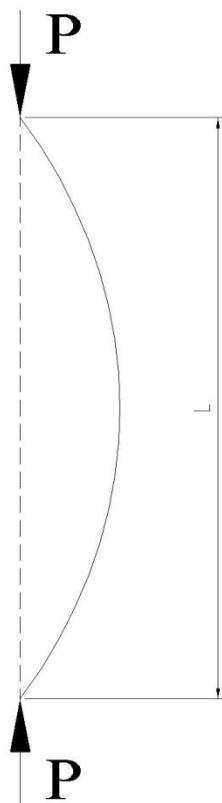
شکل ۱: نمای کلی دستگاه آزمایش

۳) **شرح دستگاه :** دستگاه فوق از دو فک ثابت و متحرک، دستگیره چرخشی (جهت اعمال نیروی فشاری) و یک ساعت اندازه گیری جهت بدست آوردن تغییر مکان قائم تیر تشکیل شده است. فک متحرک به کمک دو پین دستی قابل تغییر می باشد. به کمک یک نیروسنج دیجیتال که مستقیماً به لودسل متصل است، می توان نیروی اعمالی را نمایش داد. فک های دستگاه دارای پیچ و صفحات مخصوص جهت ایجاد شرایط انتهایی مختلف (پین دار و یک سرگیردار) برای تیرهای نمونه می باشد.

۴) تئوری آزمایش: اگر طول تیر نسبت به سطح مقطع آن (ممان اینرسی تیر) خیلی زیاد باشد، برای نیروهای فشاری قبل از آنکه معیار شکست برای آنها مطرح باشد، تغییر فرم قائم آن تیرها در طراحی

حائز اهمیت است. مطابق شکل اگر به تیر طولی نیروی فشاری وارد شود به اندازه y تغییر مکان افقی خواهد داشت. با توجه به روابط تیرها و همچنین تعادل نیرو و ممان برای تیر فوق خواهیم داشت :

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{M}{EI} = \frac{Py}{EI}$$



شکل ۲: اعمال نیرو در راستای محور

در اینجا چون نیرو فشاری است، P عددی منفی می باشد.

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \frac{Py}{EI} = 0 \quad \text{لذا داریم:}$$

این معادله دیفرانسیل خطی دارای جواب $y = A \sin px + B \cos px$ خواهد بود که در آن:
با توجه به شرایط مرزی $x=0$, $x=L$, $y=0$ خواهیم داشت :

$$\left. \begin{aligned} A \sin pL = 0 \rightarrow pL = n\pi \rightarrow p^2 &= \frac{n^2\pi^2}{L^2} \\ p^2 &= \frac{p}{EI} \end{aligned} \right\} \longrightarrow P = \frac{n^2\pi^2 EI}{L^2}$$

اولین مد تغییر شکل برای معیار طراحی کافیسست (چرا ؟) پس $n=1$

$$P_{cr} = \frac{n^2\pi^2 EI}{L^2}$$

برای شرایط انتهایی مختلف داریم :

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{Le^2}$$

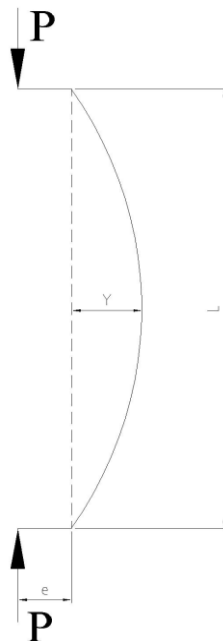
که در آن :	$(L_e = \text{طول موثر})$	$L_e = L$	برای دو سر پین دار
		$L_e = 0.7 L$	برای یک سر پین دار و یک سر گیردار
		$L_e = L/2$	برای دو سر گیر دار

سوال ۱ - چرا برای معادله دیفرانسیل فوق جواب یکتایی برای y نداریم؟

برای تیر در حالتیکه نیروی خارج از محور بر آن اثر می کند خواهیم داشت:

$$y = e \left(\tan \frac{pl}{2} \sin px + \cos px - 1 \right)$$

$$x = \frac{L}{2} \rightarrow y_{max} = e \left[\sec \left(\sqrt{\frac{P}{EI}} \frac{L}{2} \right) - 1 \right]$$



شکل ۳: اعمال نیرو در راستای خارج از محور

سوال ۲ - روابط فوق را اثبات کنید ؟

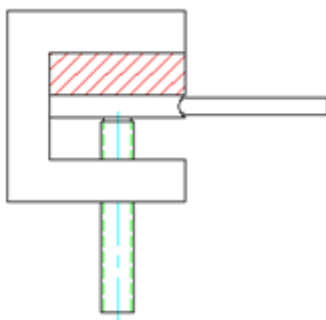
(۵) آزمایش ۱:

(۱-۵) هدف آزمایش: بدست آوردن EI به روش تجربی

برای این کار از یک قلاب و تکیه گاه تیغه ای مربوطه جهت اعمال نیرو و ساعت اندازه گیری جهت تغییر مکان قائم تیر استفاده می کنیم. تکیه گاه تیغه ای مخصوص را از یک طرف وارد تیر کرده و پیچ های فکها را باز کنید. دو انتهای تیر را به صورت دو سر پین دار (دو سر مفصل) قرار دهید و ساعت اندازه گیری را روی تکیه گاه تیغه ای قرار داده و از طرف دیگر آن به کمک قرقره و نخ و قلاب نیرو اعمال کنید. حالت تیر در دو طرف فک بصورت زیر خواهد بود.



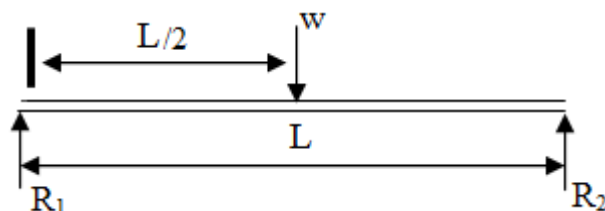
شکل ۴: حالت تیر بعد از اعمال نیرو



شکل ۵: تکیه گاه تیغه ای (تکیه گاه مفصلی)

برای تنظیم فاصله تیر از دستگیره چرخشی و همچنین تغییر مکان فک متحرک به کمک پین استفاده کنید.

طول تیر را از جایی که به فک تکیه دارد اندازه گیری کنید و تکیه گاه تیغه ای (که ساعت اندازه گیری بر روی آن تعبیه شده است) را در وسط تیر قرار دهید. وزنه های مختلف بر پاندول آویزان کرده و تغییر مکان را یادداشت کنید. بارگذاری به صورت زیر است:



شکل ۶: شرایط بارگذاری بر روی تیر

فرمول خیز تیر به صورت زیر است:

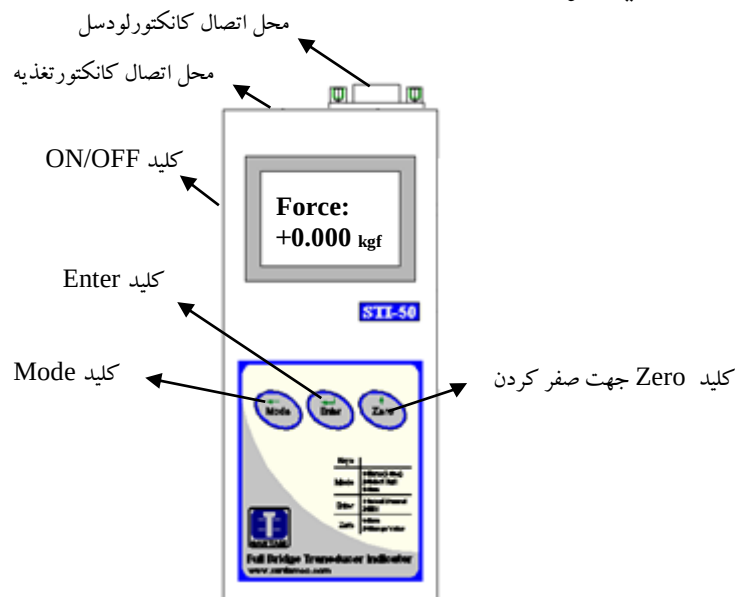
$$y = \frac{1}{48} \frac{w L^3}{EI} \rightarrow EI = \frac{1}{48} \frac{w L^3}{y} \rightarrow EI = \frac{1}{48} \frac{dw L^3}{dy}$$

با جای گذاری مقدار خیز بدست آمده از ساعت دایل گیج (y) ، طول تیر (L) و مقدار نیروی وزنه های بارگذاری (w) در فرمول بالا مقدار EI بدست می آید.

۶) روش کار با نمایشگر (Full Bridge Transducer Indicator) :

دستگاه Indicator برای اندازه گیری پارامترهای مختلفی از قبیل نیرو ، فشار و به کار برده می شود در اینجا نحوه استفاده از این دستگاه را برای اندازه گیری نیرو توضیح می دهیم :

۱-۶) قسمت های مختلف نمایشگر :



شکل ۷ : Indicator

برای استفاده به ترتیب زیر عمل کنید :

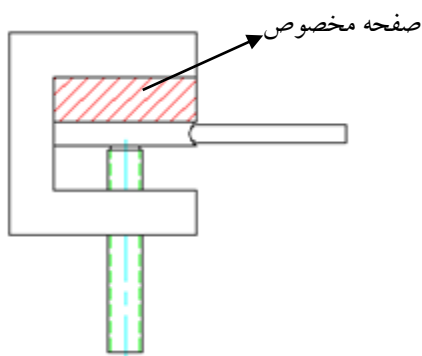
۱. کانکتور لودسل دستگاه کمانش را به محل مناسب که در شکل نشان داده شده وصل کرده و پیچهای مربوطه را ببندید.
۲. کانکتور تغذیه را نیز به محل نشان داده شده متصل کرده و آداپتور را به برق بزنید.
۳. با استفاده از کلید ON/OFF دستگاه Indicator را روشن کنید.

۴. پس از روشن کردن دستگاه آرم شرکت سنتام روی صفحه نمایش دیده می شود و پس از آن عبارت $Cap : 200 \text{ kgf}$ رویت می گردد که مفهوم آن این است که ظرفیت لودسل دستگاه کمانش 200 kgf می باشد و در نهایت $Force : xx:xxx \text{ kgf}$ به نمایش در می آید که مقدار نیروی وارد بر لودسل را نشان می دهد ممکن است نمایشگر عدد خاصی را نشان دهد، دقت کنید قبل از انجام آزمایش با استفاده از کلید Zero که در شکل نشان داده شد مقدار نیرو را صفر نمایید.

(۷) آزمایش ۲ :

(۷-۱) هدف آزمایش : بدست آوردن نیروی بحرانی P_{cr} برای تیر دو سر پین دار (دوسرمفصل)

این بار دو سر تیر را مانند شکل قرار داده و موقعیت تیر در فک باید طوری باشد که تیر در وسط شکاف قرار بگیرد (که به این منظور از صفحه مخصوص (قطعه مکعبی) شکل استفاده گردد). ساعت اندازه گیری را در وسط تیر قرار داده و صفر کنید . به کمک دستگیره چرخشی نیرو اعمال کنید و مقادیر y و p را یادداشت کنید .



شکل ۸: تکیه گاه تیغه ای

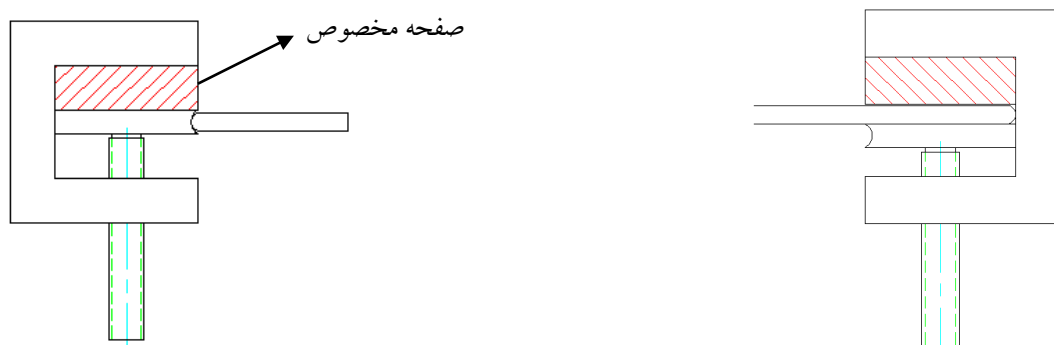
توجه : اگر تیر در جهت ساعت اندازه گیری تغییر مکان داد، تیر را برگردانده و آزمایش را تکرار کنید.

در صورت نیاز از قلاب و وزنه برای پیش بار (جهت کمانش بطرف مقابل ساعت) استفاده نمائید. که در اینصورت تیر حالت خارج از مرکز پیدا خواهد کرد . چرا ؟
برای ابتدای آزمایش تغییر نیرو سریع بوده و بعد ثابت می شود طوری که در همان نیروی ثابت جابجایی ادامه می یابد که این نیرو را به عنوان نیروی بحرانی کمانش ثبت نمائید.

(۸) آزمایش ۳ :

(۱-۸) هدف آزمایش : بدست آوردن نیروی بحرانی P_{cr} برای تیر یک سر پین دار و یک سر گیردار

پیچ فک متحرک را باز کرده و صفحات مخصوص را به عنوان فاصل در دو طرف فک مربوطه قرار دهید و با پیچ آنرا محکم کنید (مطابق شکل) آزمایش ۲ را برای این حالت تکرار کنید . دقت کنید که سمت تیر در حالت پین دار به سمت لودسل باشد تا نیرو را دقیق تر اندازه گیری کنید.



سمت لودسل

سمت گیر دار تیر

شکل ۹ : تکیه گاه یک سر گیر دار یک سر مفصل

برای این حالت مانند آزمایش قبل بارگذاری انجام و نیروی بحرانی کمانش ثبت شود.

(۹) آزمایش ۴ :

(۱-۹) هدف آزمایش : بدست آوردن نیروی بحرانی P_{cr} برای تیر دو سر گیردار

تیر را به صورت دوسر گیردار به دستگاه ببندید و آزمایش ۲ را تکرار کنید .

سوال ۴ - منحنی $p-y$ را برای سه حالت فوق رسم کرده و مقدار P_{max} (در $\frac{dP}{dy} = 0$) را بدست آورید .

سوال ۵ - چرا تغییرات نیروی فشاری P وقتی Δy زیاد است تقریباً نا چیز بوده و در واقع نیرو ثابت می ماند ؟

سوال ۶- توضیح دهید چرا $P_{cr} = P_{max}$ است ؟ مقادیر تجربی و تئوری را برای هر یک از آزمایشهای فوق بدست آورده و مقایسه کنید ؟ درصد خطا را بدست آورده و علل آن را بیان کنید.

سوال ۷- در هر مرحله منحنی نیرو بر حسب تغییر مکان را بدست آورید. (برای همه تیر های موجود با شرایط تکیه گاهی دو سر مفصل، یک سر مفصل یک سر گیر دار و دو سر مفصل)

سوال ۸- برای هر مرحله منحنی ساتول (Southwell) (منحنی تغییر مکان بر حسب نسبت تغییر مکان به نیرو) را رسم کنید.

سوال ۹- شیب منحنی ساتول که همان بار بحرانی است بدست آورید.

سوال ۱۰- بار بحرانی را در هر مرحله از طریق فرمول $P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{Le^2}$ بدست آورده سپس با مقدار تجربی بدست آمده از نمایشگر نیرو و همچنین با مقدار شیب بدست آمده از منحنی ساتول مقایسه نمایید.

محاسبات تئوری برای نمونه های مختلف به صورت جداولی تهیه شده است:
تست کمانش بر روی نمونه هایی انجام شده است که ابعاد نمونه ها و نتایج بدست آمده به شرح زیر است.

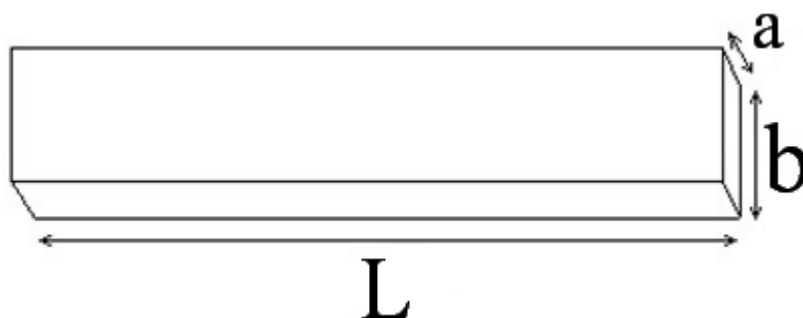
توجه : عمق فک های دستگاه جهت تکیه گاه گیر دارد در حدود ۳۰ میلیمتر است.

برای نمونه فولادی با ابعاد ۶۰۰*۲۵*۳ نیروی کمانش به صورت زیر است.

در این تست می توان برای بدست آوردن $E.I$ از مقادیر تئوری که در جداول فولاد است استفاده نمود همچنین برای بالا بردن دقت $E.I$ می توان با آزمایش شماره یک $E.I$ را بدست آورد.

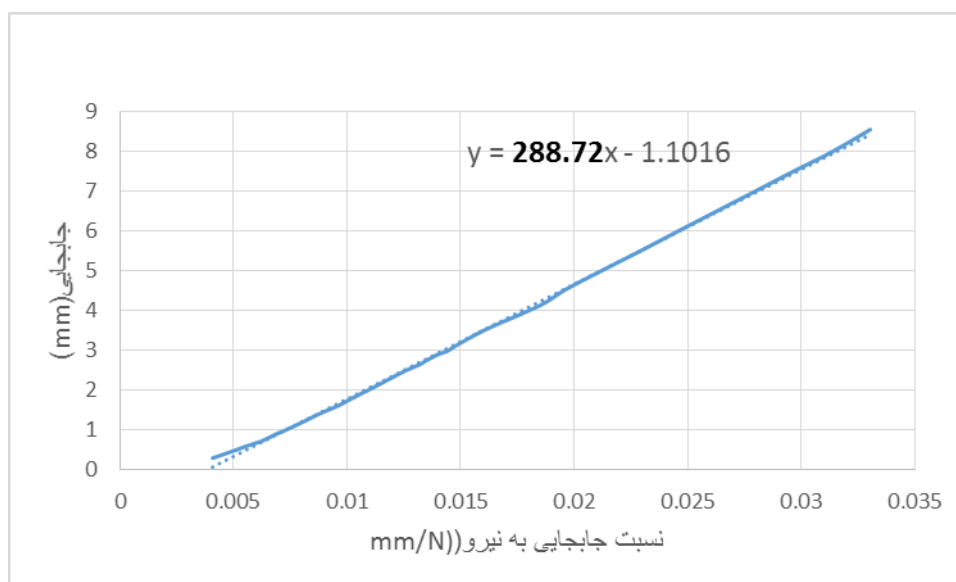
St 37	a(mm)	b(mm)	E.I(N.m ²)	L(mm)	L _e (mm)	P _{cr} (kg.f)
both fixed	3	25	1.9E+11 * 5.625E-11	540	270	147.487
one pinned one fixed	3	25	1.9E+11 * 5.625E-11	570	399	67.53602
both pinned	3	25	1.9E+11 * 5.625E-11	600	600	29.86612

جدول ۱



شکل ۱۰ : نمونه تست

نتایج نیرو و جابجایی میانه تیر با شرایط تکیه گاهی دو سر مفصلی به صورت زیر است.



شکل ۱۱ : منحنی خیز تیر بر حسب نسبت خیز تیر به نیروی کمانش

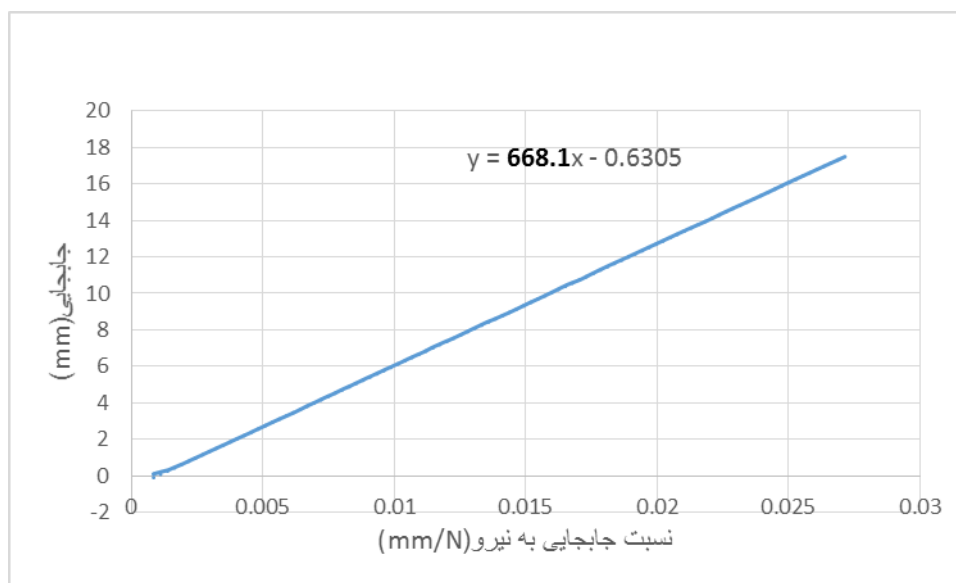
شیب منحنی بدست آمده معادل با نیروی بحرانی کمانش است. $P_{cr} = 288.72N = \frac{288.72}{9.81} kgf$

برای نمونه فولادی با ابعاد ۶۰*۲۵*۴ نیروی کمانش به صورت زیر است.

St 37	a(mm)	b(mm)	E.I(N.m^2)	L(mm)	L_e (mm)	P_{cr} (kg.f)
both fixed	4	25	$1.9E+11 * 1.33333E-10$	540	270	349.5988 *
one pinned one fixed	4	25	$1.9E+11 * 1.33333E-10$	570	399	160.0854
both pinned	4	25	$1.9E+11 * 1.33333E-10$	600	600	70.79376

جدول ۲

نتایج نیرو و جابجایی میانه تیر با شرایط تکیه گاهی دو سر مفصلی به صورت زیر است.



شکل ۱۲: منحنی خیز تیر بر حسب نسبت خیز تیر به نیروی کمانش

شیب منحنی بدست آمده معادل با نیروی بحرانی کمانش است. $P_{cr} = 668.1N = \frac{668.1}{9.81} kgf$

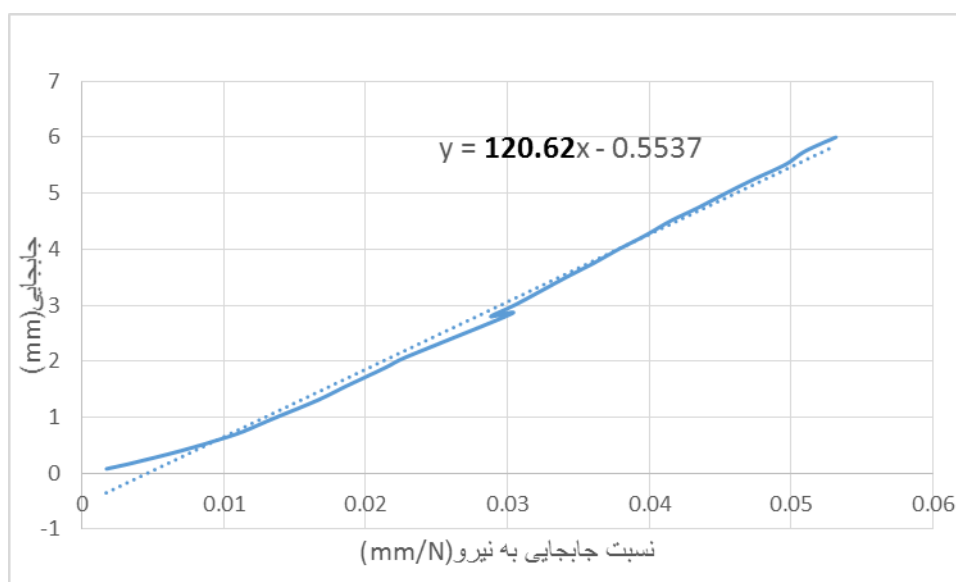
- توجه: ظرفیت دستگاه ۲۰۰ کیلوگرم است و نباید بیش از این مقدار برای کمانش نیرو وارد شود.

برای نمونه برنجی با ابعاد ۶۰۰*۲۰*۳ نیروی کمانش به صورت زیر است.

Br	a(mm)	b(mm)	E.I(N.m ²)	L(mm)	L _e (mm)	P _{cr} (kg.f)
both fixed	3	20	1E+11 * 4.5E-11	540	270	62.09979
one pinned one fixed	3	20	1E+11 * 4.5E-11	570	399	28.43622
both pinned	3	20	1E+11 * 4.5E-11	600	600	12.57521

جدول ۳

نتایج نیرو و جابجایی میانه تیر با شرایط تکیه گاهی دو سر مفصلی به صورت زیر است.



شکل ۱۳: منحنی خیز تیر بر حسب نسبت خیز تیر به نیروی کمانش

شیب منحنی بدست آمده معادل با نیروی بحرانی کمانش است. $P_{cr} = 120.62N = \frac{120.62}{9.81} kgf$

شرایط نگهداری دستگاه :

درجه حرارت مناسب (15°C تا 40°C)

رطوبت 90° تا 10° بدون تقطیر

حتماً در جای مسقف قرار گیرد و از بارش باران و برف محافظت شده باشد .

عدم وجود گرد و غبار

عدم تابش مستقیم نور خورشید

عدم رطوبت زیاد و محیط خورنده

عدم وجود باد