



دانشگاه خلیج فارس

دانشکده مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

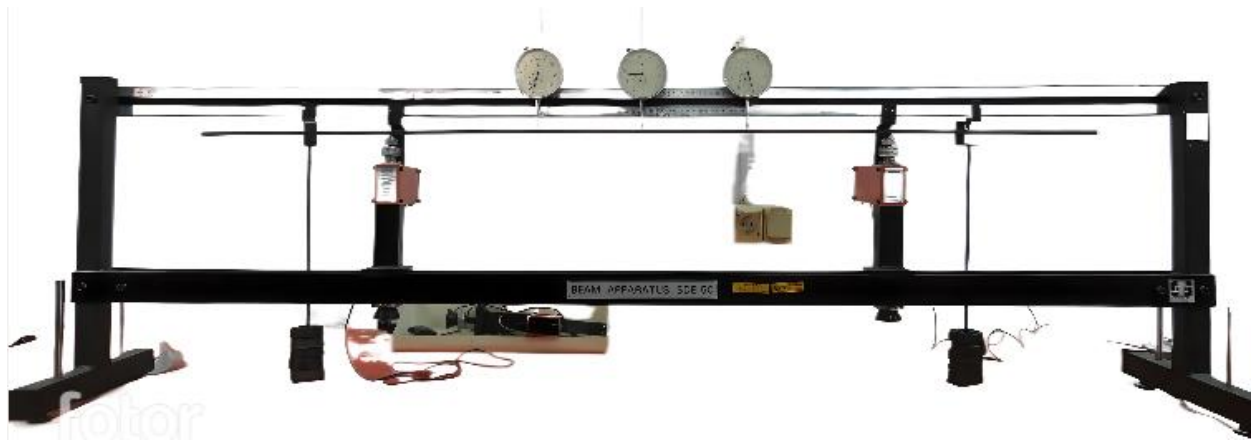
دستور کار آزمایشگاه مقاومت مصالح

پاییز 1403

فهرست مطالب

3.....	آزمایش تیر ساده (Simple beam test)
9.....	آزمایش تیرهای خمیده (Testing of bent beams)
13.....	آزمایش پیچش پلاستیک (Plastic Torsion Test)
18.....	آزمایش کمانش (Buckling test)
21.....	آزمایش تیرهای طره‌ای (Test beams)
28.....	آزمایش کشش (Tensile test)
31.....	آزمایش پیچش الاستیک (Elastic Torsion Test)
34.....	آزمایش تست ضربه (Impact test)
44.....	آزمایش خستگی (Fatigue test)
50.....	آزمایش سیلندر جدار نازک (Thin-Walled Cylinder)
56.....	آزمایش خزش (creep test)

آزمایش تیر ساده (Simple beam test)



توضیحات :

دقت کنید که قبل از شروع به نکات زیر توجه شود.

قسمت الکترونیک دستگاه باید حداقل به مدت ۱۵ دقیقه قبل از شروع آزمایش روشن باشد تا از دقت آزمایش کم نگردد.

جعبه الکترونیک این دستگاه دارای سه کلید بوده و با فشار دادن هر کدام از کلیدها نیروی اعمالی بر روی نیروسنج دیجیتال مربوط به آن نمایش داده خواهد شد. هر کدام از کلیدها دارای یک پیچ تنظیم صفر می باشد که قبل از بارگذاری روی تیر باید دقت کرد که قسمت نمایش دهنده دستگاه برای هر کدام از نیرو سنج ها در حالت تراز بودن تیر صفر باشد و در صورت صفر نبودن آن به وسیله پیچ تنظیم مربوط به همان نیرو سنج صفر گردد.

زمان قرار دادن تیر بر روی تیغه های نیروسنج ها و همچنین قرار دادن آویزها روی تیر و حرکت دادن آن ها روی تیر و همچنین قرار دادن وزنه ها بر روی آویزها حتما دقت نمایید که تیر و همچنین آویزها در جای خود قرار داشته باشند زیرا در غیر این صورت از روی دستگاه به زمین افتاده و علاوه بر آسیب رساندن تلق های متصل به آن ها نیز صدمه خواهند دید.

در زمان حرکت دادن ساعت ها روی ریل و خط کش بالای دستگاه و همچنین حرکت دادن نیرو سنج ها بر روی ریل های زیر دستگاه علاوه بر شل کردن پیچ های محکم کننده آن ها دقت کنید که آن ها را به آرامی حرکت دهید تا از صدمه زدن به تلق های متصل به آن ها و همچنین صدمه زدن به رنگ دستگاه اجتناب شود.

شرح دستگاه :

این دستگاه شامل یک اسکلت فلزی است که در آن یک تیر افقی جهت نصب بر روی تکیه گاه ها و یک خط افقی در بالای آن جهت نصب ساعت های اندازه گیری و تعیین فاصله تکیه گاه ها تعبیه شده است. تکیه گاه ها دو نوع هستند. یک نوع به صورت نیروسنجی است که نیروهای وارد بر تکیه گاه ها را به صورت دیجیتال نشان می دهد و در صورت لزوم می توان پیچ های روی آن تکیه گاه ها را از حالت فنری خارج نموده و به صورت تکیه گاه ساده در آورد. البته سطح تکیه گاه ها را نیز می توان توسط پیچ تنظیم آن در ارتفاع مورد نظر تنظیم نمود. نوع دیگر تکیه گاه ها، تکیه گاه ثابتی است که در آزمایش تیر طره از آن استفاده می شود. این تکیه گاه انتهای تیر را از چهار طرف تنظیم نموده و با محکم کردن چهار عدد پیچ آلن، تیر در حالت مورد نظر ثابت می شود. در این آزمایش ها برای اعمال نیرو از آویزهایی استفاده می شود و در آزمایش ها از اثر وزن آن ها صرف نظر می شود.

آزمایش ۱_ تعیین سختی خمشی تیر (EI)

هدف آزمایش:

تعیین سختی خمشی تیر نمونه

تئوری آزمایش:

هر گاه یک تیر به طول L ، با تکیه‌گاه‌های ساده تحت اثر نیروی متمرکز P در وسط آن قرار گیرد تغییر فرم وسط آن برابر است با:

$$\Delta = \frac{PL^3}{48 EI} \quad (1)$$

با وارد کردن نیروی P و اندازه‌گیری Δ ، می‌توان EI تیر را بدست آورد.

روش آزمایش:

1. ابعاد مقطع تیر را در چند جای آن با کولیس اندازه بگیرید.
2. یک طول معین برای تیر انتخاب کرده و تکیه‌گاه‌ها را در آن قسمت قرار دهید.
3. تکیه‌گاه‌ها را قفل کرده تا مطمئن شوید که تغییر فرم ندارند.
4. آویز نیرو را در وسط تیر قرار دهید.
5. ساعت اندازه‌گیری تغییر فرم را روی نقطه اثر نیرو قرار داده و آن را صفر کنید.
6. به آویز وزنه اضافه نموده و خیز نیر را یادداشت کنید. (با وزنه‌های ۲۰۰ گرمی از ۲۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم)
7. بارها را به ترتیبی که اضافه نموده‌اید، بردارید و تغییرات را یادداشت کنید.

گزارش:

1. نمودار P بر حسب Δ را رسم کنید و خطی بودن رابطه $P - \Delta$ را تحقیق کنید. با استفاده از نمودار، شیب خط را بدست آورید.
2. ممان اینرسی تیر را حساب کنید.
3. سختی تیر را با استفاده از فرمول (1) بدست آورید.
4. ضریب الاستیته تیر را محاسبه کنید و جنس تیر را مشخص کنید.

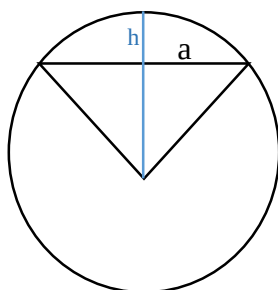
آزمایش ۲- تحقیق رابطه انحنا و لنگر خمشی

هدف آزمایش:

طبق فرضیات تئوری خمشی، اگر نیروی تحت لنگر خمشی قرار گفته باشد انحنای آن به صورت کمائی از دایره می باشد که رابطه بین شعاع انحنا و لنگر خمشی به صورت $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$ است. هدف این آزمایش تحقیق درباره صحت این فرضیه است.

تئوری آزمایش:

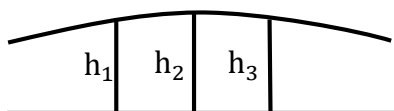
می دانیم روابط زیر بین پارامترهای یک دایره برقرار است.



$$a^2 = (2\rho h) - h^2$$

- a : فاصله بین ساعت ها
- h : تفاوت اندازه ساعت وسط و ساعت وتر

معمولا در تیرها h خیلی کوچک است. بنابراین h^2 قابل صرف نظر کردن می باشد. از طرف دیگر با نصب تغییر فرم سنج در سه نقطه تیر می توان مقدار h را بدست آورد و از رابطه زیر شعاع انحنا تیر را محاسبه نمود.



$$h = h_2 - \frac{h_1 + h_3}{2}$$

روش آزمایش:

1. طول معین را انتخاب نموده و تکیه گاه ها را نصب کرده و قفل کنید.
2. دو آویز نیرو و سه ساعت تغییر فرم سنج مطابق شکل 3 نصب نمایید و هر سه ساعت را فر کنید.
3. نیروهای مساوی به هر دو آویز اعمال نموده و پس از استقرار دستگاه، ساعت های تغییر فرم سنج را بخوانید.

1- جدول زیر را کامل کنید.

[illegible]

7

آزمایش ۳- آزمایش تیر سراسری (نامعین)

هدف آزمایش:

هدف از آزمایش به دست آوردن عکس العمل تکیه گاه های تیرهای نامعین و مقایسه آن با تئوری می باشند.

روش آزمایش:

1. ابتدا سه نیروسنج را به فاصله های نامساوی نسبت به یکدیگر (مثلا به فاصله ۵۰ سانتی متر و ۲۰ سانتی متر از یکدیگر) قرار داده و این را روی آن ها قرار دهید.
2. سپس دو آویز مابین سه نیروسنج بصورت دلخواه قرار داده و فاصله ها را یادداشت نمایید.
3. در این حالت به وسیله پیچ تنظیم صفر دستگاه نیروسنج ها را صفر نمایید.
4. بر روی آویزها وزنه قرار داده و در هر حالت مقادیر وزنه ها و مقدار نیروی تکیه گاه ها را توسط نیروسنج ها به دست آورده و یادداشت نمایید.
5. حداقل برای ۵ بار مختلف این عمل را انجام دهید.

گزارش:

با استفاده از تئوری نیز مقادیر کلیه گام ها را به دست آورده و با نتایج عملی آن مقایسه نمایید.

سوالات:

1. صرف نظر کردن از تغییر فرم های برشی تا چه حد خطا در آزمایش به وجود می آورد؟
2. آبا وزن تیر در جواب های آزمایش ها تاثیر می گذارد؟ توضیح دهید.
3. فرضیات تئوری معمولی خمش تا چه حد قابل قبول می باشد؟
4. رابطه (۲) را اثبات کنید.
5. رابطه عکس العمل علیه گله ها در آزمایش ۲ را به دست آورید.

آزمایش تیرهای خمیده (Testing of bent beams)



هدف آزمایش:

بدست آوردن خیزتیرهای خمیده و مقایسه‌ی آن با مقدار تئوری

تئوری آزمایش:

تغییر مکان تیرهایی که به صورت دایره خم شده‌اند عبارتند از:

الف) تیر ربع دایره



$$v = \frac{\pi w R^3}{4EI}$$

$$h = \frac{w R^3}{2EI}$$

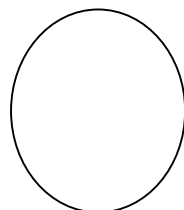
ب) تیر نیم دایره



$$v = \frac{\pi w R^3}{2EI}$$

$$h = 2 \frac{w R^3}{EI}$$

ج) تیر حلقه‌ای



$$v = 0.149 \frac{w R^3}{2EI}$$

$$h = 0.1366 \frac{w R^3}{EI}$$

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه از سه نوع تیر که به صورت ربع دایره، نیم دایره و حلقه خم شده‌اند تشکیل شده‌است. همچنین دستگاه دارای ساعت‌های اندازه‌گیر تغییر فرم و قلاب‌های مخصوص وارد آوردن نیرو می‌باشد.

روش آزمایش:

1. ابعاد نمونه (ضخامت، عرض و شعاع) را به وسیله‌ی کولیس و خط‌کش بدست آورید.
2. ساعت‌های اندازه‌گیر را در جهت‌های افقی و عمودی نصب نموده و آن‌ها را صفر نمایید. سپس به هر نمونه مطابق جدول زیر نیرو وارد کرده و تغییر فرم‌ها را یادداشت نمایید.
3. برای هر سه تیر آزمایش را تکرار نمایید.

گزارش:

1. با استفاده از فرمول تئوری، تغییر فرم‌های تیر را به‌دست آورید و در جدولی یادداشت نمایید.
2. نتایج به‌دست آمده از تئوری و آزمایش را در جدول زیر یادداشت کنید.

نتایج تیر ربع دایره

W (kg)	آزمایش		تئوری	
0.5				
1				
1.5				

نتایج تیر نیم دایره

W (kg)	آزمایش		تئوری	
0.4				
0.8				
1.2				

نتایج تیر حلقه‌ای

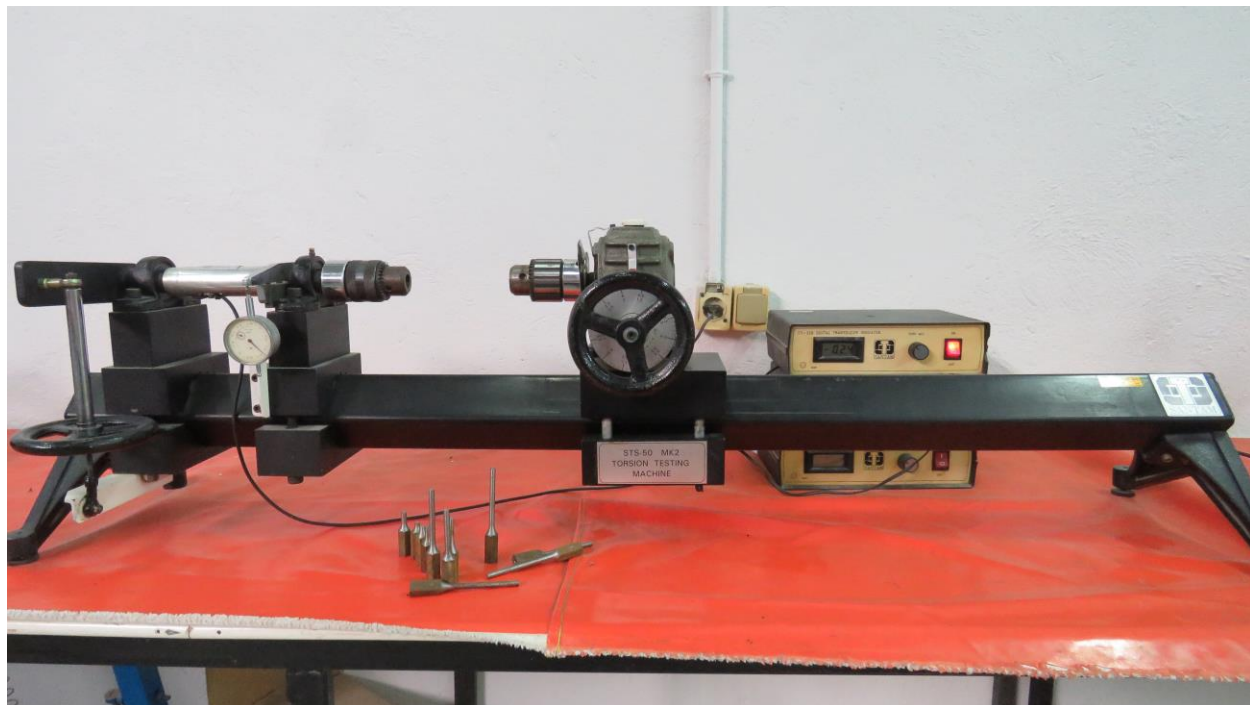
W (kg)	آزمایش		تئوری	
0.2				
0.4				
0.6				
0.8				

1. مشخصات تیرها (شعاع، ضخامت و عمق آن‌ها) را یادداشت کنید.
2. نمودار نیرو را برحسب تغییر مکان (افقی و قائم) برای مقادیر تئوری و آزمایش رسم نموده و باهم مقایسه کنید.

سوالات:

1. روابط تئوری را اثبات نمایید.
2. صرف نظر کردن از اثرات برشی چه مقدار خطا در تئوری به وجود می‌آورد.

آزمایش پیچش پلاستیک (Plastic Torsion Test)



آزمایش پیچش پلاستیک یکی از آزمایش‌های رایج برای بررسی رفتار مواد در شرایط پیچشی است، به‌ویژه در ناحیه پلاستیک (Plastic Deformation) و برای تعیین ویژگی‌های پیچشی مواد، نظیر زاویه تسلیم و رفتار ماده در حالت کرنش‌های پیچشی بالا. در این آزمایش، از یک میله یا لوله با سطح مقطع گرد استفاده می‌شود و بار پیچشی به آن اعمال می‌گردد تا در ناحیه پلاستیک دچار تغییر شکل شود.

1. هدف آزمایش:

- بررسی رفتار پلاستیک مواد تحت بار پیچشی.
- تعیین ویژگی‌های مهم مانند زاویه تسلیم پیچشی و تنش برشی تسلیم.
- تعیین مقاومت ماده در برابر شکست در ناحیه پلاستیک و رسم منحنی گشتاور-زاویه پیچش.

2. تجهیزات و ابزار مورد نیاز:

- دستگاه پیچش: دستگاه پیچش که به‌صورت دستی یا موتور الکتریکی گشتاور پیچشی را اعمال می‌کند.
- نمونه آزمایش: میله یا لوله با مقطع گرد، تهیه‌شده از مواد مختلف مانند فلزات (فولاد، آلومینیوم)، پلیمرها یا آلیاژها.
- گیج‌های کرنش پیچشی (Torsion Strain Gauges): برای اندازه‌گیری تغییرات کرنش برشی ناشی از بار پیچشی.
- ترانسدیوسر گشتاور: برای اندازه‌گیری گشتاور واردشده به نمونه.
- ابزار ایمنی: شامل دستکش، عینک و محافظ‌های لازم در هنگام آزمایش.

3. مراحل انجام آزمایش:

3-1. آماده‌سازی نمونه:

- انتخاب و آماده‌سازی نمونه: نمونه باید دارای سطح مقطع گرد و ابعاد استاندارد باشد. طول و قطر نمونه به‌دقت اندازه‌گیری و ثبت شود.
- نصب گیج‌های کرنش پیچشی: در صورت نیاز، گیج‌های کرنش پیچشی روی سطح نمونه در طول آن نصب می‌شود تا میزان کرنش پیچشی را اندازه‌گیری کند.
- نصب نمونه در دستگاه پیچش: نمونه به‌صورت محکم بین دو فک دستگاه پیچش قرار گیرد. مطمئن شوید که نمونه به‌درستی تراز شده و در مرکز دستگاه قرار دارد.

3-2. تنظیم دستگاه:

- دستگاه پیچش را روشن کرده و تنظیمات مربوط به گشتاور اعمالی و زاویه پیچش را انجام دهید.
- سیستم ثبت داده را تنظیم کنید تا به صورت لحظه‌ای تغییرات گشتاور و زاویه پیچش را ثبت کند.

3-3. اعمال پیچش:

- اعمال بار پیچشی را به آرامی شروع کنید و زاویه پیچش را به تدریج افزایش دهید. در این مرحله، تغییرات کرنش در ناحیه الاستیک (Elastic Region) مشاهده می‌شود.
- با افزایش زاویه پیچش، ماده وارد ناحیه پلاستیک (Plastic Region) می‌شود. این مرحله با تغییرات دائمی در شکل نمونه همراه است.
- ادامه دهید تا نمونه به ناحیه پلاستیک عمیق برسد و در نهایت دچار شکست (Failure) شود. در هر مرحله، گشتاور و زاویه پیچش به دقت ثبت می‌شوند.

3-4. ثبت داده‌ها و پایان آزمایش:

- داده‌های مربوط به گشتاور و زاویه پیچش در طول آزمایش به صورت مداوم ثبت شوند.
- پس از شکست یا رسیدن به حد مورد نظر، دستگاه را خاموش کنید و نمونه را از دستگاه خارج کنید.
- نمونه را برای مشاهده ناحیه شکست بررسی کنید و تغییر شکل‌های پلاستیک را ارزیابی کنید.

4. تحلیل نتایج:

4-1. محاسبه تنش و کرنش برشی:

- برای هر مقدار گشتاور اعمال شده، تنش برشی از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau = \frac{T r}{J}$$

که در آن:

- τ تنش برشی (MPa)
- T گشتاور اعمال شده (N.m)
- r شعاع میله یا نمونه (m)
- J ممان اینرسی قطب مقطع (برای میله گرد: $J = \frac{\pi d^4}{32}$)

2-4. رسم نمودار گشتاور-زاویه پیچش:

- داده‌های گشتاور و زاویه پیچش را روی نمودار رسم کنید. این نمودار به شما نشان می‌دهد که ماده در چه نقطه‌ای وارد ناحیه پلاستیک شده و چگونه رفتار می‌کند.
- ناحیه الاستیک با یک رابطه خطی بین گشتاور و زاویه پیچش مشخص می‌شود. ناحیه پلاستیک با انحنای منحنی نشان داده می‌شود.

3-4. تعیین تنش و زاویه تسلیم:

- نقطه‌ای که منحنی گشتاور-زاویه پیچش از حالت خطی خارج می‌شود، نشان‌دهنده تنش تسلیم برشی و زاویه تسلیم است.
- مقادیر تنش و زاویه تسلیم را از نمودار استخراج و ثبت کنید.

4-4. بررسی شکست:

- محل و نوع شکست (برشی، شکننده یا چقرمه) را بررسی کنید. نمونه‌های فلزی معمولاً تحت پیچش پلاستیک دچار شکست برشی می‌شوند که با زاویه 45 درجه نسبت به محور طولی مشاهده می‌شود.
- مشاهدات خود را از ناحیه شکست و تغییرات پلاستیک ثبت کنید.

5. نکات ایمنی:

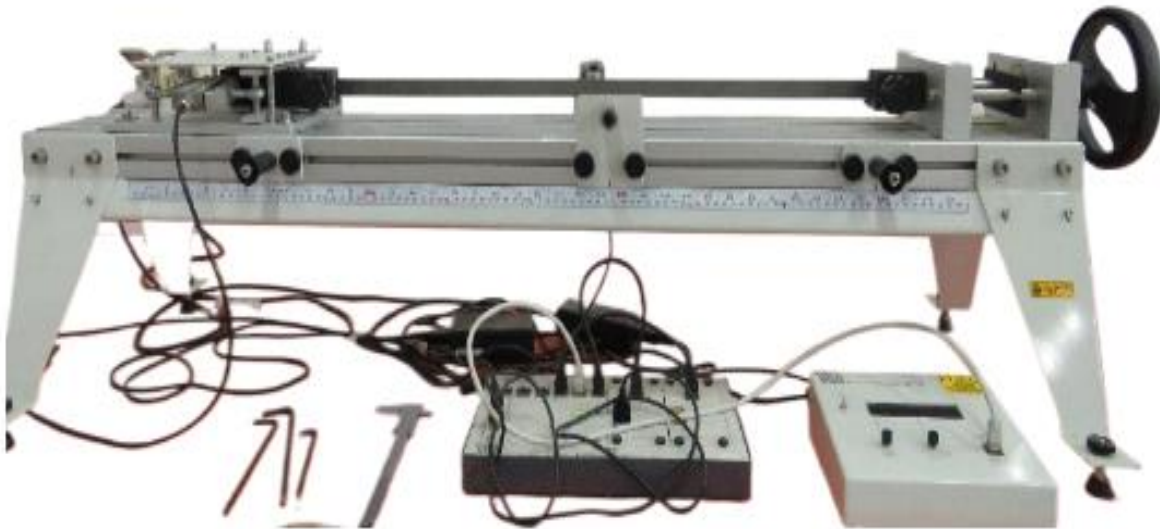
- هنگام کار با دستگاه‌های پیچش، از عینک و دستکش ایمنی استفاده کنید.
- در هنگام افزایش بار پیچشی، فاصله مناسب از دستگاه را رعایت کنید تا در صورت شکست نمونه، از آسیب جلوگیری شود.
- دستگاه پیچش تحت فشار و نیروهای بالا کار می‌کند؛ بنابراین قبل از شروع آزمایش، تمامی اتصالات دستگاه را بررسی و از سالم بودن آن‌ها مطمئن شوید.

6. نتیجه‌گیری:

- آزمایش پیچش پلاستیک رفتار ماده را تحت بار پیچشی نشان می‌دهد و اطلاعات مفیدی در مورد مقاومت ماده در ناحیه پلاستیک و تسلیم برشی فراهم می‌کند.
- این آزمایش برای مواد مختلف از جمله فلزات، پلیمرها و کامپوزیت‌ها قابل اجراست و داده‌های به‌دست‌آمده برای طراحی و تحلیل قطعات پیچشی بسیار مفید هستند.

- نتایج می‌تواند برای تحلیل‌های دقیق‌تر در حوزه مکانیک مواد، طراحی محورهای چرخشی، قطعات توربین و اجزای مکانیکی تحت بار پیچشی به کار رود.

آزمایش کمانش (Buckling test)



هدف آزمایش:

بررسی پدیده کمانش در ستون‌ها و به‌دست آوردن بار بحرانی ستون‌ها با شرایط تکیه‌گاهی مختلف

تئوری آزمایش:

اگر ستون لاغری تحت اثر بار محوری قرار گیرد کمانش در آن اتفاق می‌افتد. بار بحرانی کمترین باری است که تحت اثر آن ستون می‌تواند کمانش کنند. بار بحرانی به عوامل مختلفی از جمله با شرایط تکیه‌گاهی بستگی دارد. بار بحرانی برای شرایط تکیه‌گاهی عبارت است از:

دو سر مفصل

$$P_{er} = \frac{\pi^3 EI}{L^2}$$

دو سر گیردار

$$P_{er} = \frac{\pi^3 EI}{(0.5L)^2}$$

یک سر مفصل، یک سر گیردار

$$P_{er} = \frac{\pi^3 EI}{(0.7L)^2}$$

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه از یک تک ثابت و یک تک متحرک، یک جک و پمپ دستی جهت اعمال نیروی فشاری و یک ساعت اندازه‌گیر تغییر فرم تشکیل شده است. به کمک یک نیروسنج دیجیتال می‌توان نیروی وارد بر ستون را به دست آورد.

انتهای فک‌های دستگاه دارای پیچ و صفحات مخصوصی است که می‌توان شرایط مختلف تکیه‌گاهی را به کمک آن به دست آورد.

روش آزمایش:

آزمایش برای سه حالت مختلف تکیه‌گاهی

الف) دو سر مفصل ب) یک سر مفصل و یک سر گیردار ج) دو سر گیردار

طبق مراحل زیر انجام می‌شود.

1. ابعاد نمونه را اندازه بگیرید.
2. تکیه‌گاه مربوط به آزمایش را به انتهای فک متصل کنید.

3. نمونه را در بین دو تکیه‌گاه قرار داده و به وسیله فک متحرک طول دستگاه را آنقدر تغییر دهید تا تکیه‌گاه کاملاً بر نمونه مماس شود.
4. ساعت اندازه‌گیر تغییر فرم را در جایی از نمونه که حداکثر تغییر فرم ایجاد می‌شود نصب کنید.
5. به کمک پمپ دستی نیرو وارد کرده و مقادیر تغییر فرم و نیرو را بخوانید.
6. نیرو را آنقدر زیاد کنید تا نمونه دیگر نیرو تحمل ننماید. این نیرو بار بحرانی است.

گزارش:

1. منحنی $P-y$ را برای هر یک از آزمایش‌ها رسم کنید.
2. بار بحرانی را برای هریک از آزمایش‌ها به دست آورده و با نتایج تئوری مقایسه کنید.

سوالات :

1. فرمول‌های تئوری را برای شرایط تکیه‌گاهی آزمایش اثبات کنید
2. اگر در شرایط تکیه‌گاهی دوسر ساده نیروی خارج از محور وارد شود آیا در بار بحرانی تغییری حاصل می‌شود؟ آیا در تغییر فرم‌ها تغییری ایجاد می‌شود؟
3. چه وقت می‌توان معادله تغییر فرم تیر را تحت اثر بار محوری به دست آورد؟
4. تغییر فرم اولیه ستون چه تاثیری در کمانش ستون دارد؟

آزمایش تیرهای طره‌ای (Test beams)



شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه مورد استفاده در این آزمایش از یک صفحه ی مدرج دراز که روی سه پایه مستقر می باشد تشکیل شده است که امکان اندازه گیری خیز تیر را در جهت های X و Y فراهم می نماید و برای ایجاد کوپل خمشی نیز با استفاده از نیروی وزنه های مختلف که توسط یک کابل به انتهای تیر اعمال می شود استفاده می گردد. دقت نمایید که در این قسمت ساعت های اندازه گیری در دایره ی انتهای تر عمود است.

جهت بارگذاری در قسمت دوم آزمایش لازم است از قطعه ی U شکل واسطه استفاده کرد که امکان تغییر مکان نقطه اثر نیرو را فراهم می نماید در این حالت ساعت های اندازه گیری بر قطعه واسطه عمود می باشد و خیز تیر معادل مقادیر نشان داده شده توسط دو ساعت اندازه گیری می باشد.

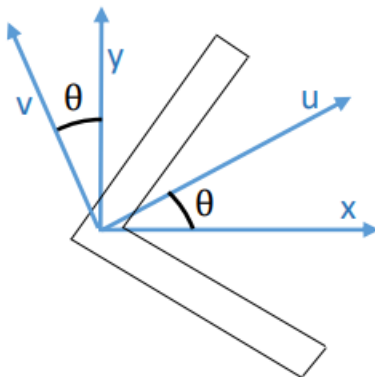
آزمایش 1

هدف:

مقایسه ی خیز تیرهای طره ای با نتایج عملی آن

تئوری آزمایش:

معامله ی خیز تیز در دو جهت X و Y (محورهای اصلی مقطع تیر) بدین قرار است.



$$\frac{dx^2}{dz^2} = \frac{M_y}{EI_y}$$
$$\frac{dy^2}{dz^2} = \frac{M_x}{EI_x}$$

با محاسبه X و Y (خیز در هر دو جهت) و تصویر در دو جهت مقادیر به قرار زیر می‌شود.

$$u = \frac{wL^3}{3E} \left[\left(\frac{1}{I_x} + \frac{1}{I_y} \right) + \left(\frac{1}{I_y} - \frac{1}{I_x} \right) \cos 2\theta \right]$$

$$v = \frac{wL^3}{3E} \left(\frac{1}{I_y} - \frac{1}{I_x} \right) \sin 2\theta$$

روش آزمایش:

آزمایش را برای دو مقطع ناودانی و نبشی شکل انجام دهید.

بعد از مونتاز تیر بر روی دستگاه، ساعت‌های اندازه‌گیری را مطابق شکل قرار دهید و جدول زیر را تکمیل نمایید. توجه داشته باشید که مقادیر خوانده شده توسط ساعت‌های اندازه‌گیری همان u و v مطابق شکل نیستند بلکه مقادیر خوانده شده در فرمول زیر مقادیر u و v را مشخص می‌نماید.

$$u = \frac{\text{اندازه ساعت سمت راست} + \text{اندازه ساعت سمت چپ}}{\sqrt{2}} \quad \text{تغییر مکان در جهت اعمال بار}$$

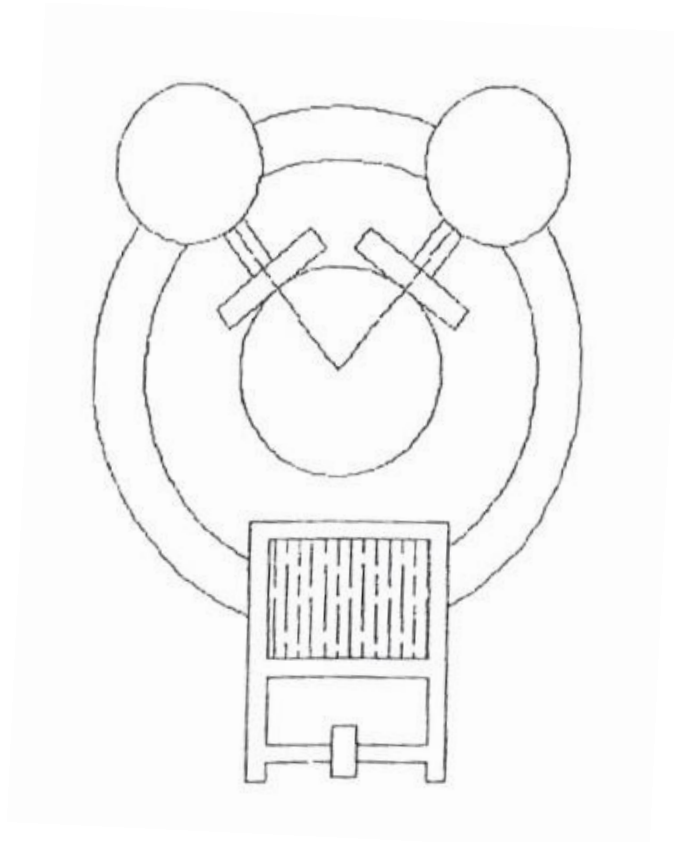
$$v = \frac{\text{اندازه ساعت سمت راست} - \text{اندازه ساعت سمت چپ}}{\sqrt{2}} \quad \text{تغییر مکان در جهت عمود بر اعمال بار}$$

آزمایش 2

تعیین مرکز برش تیر

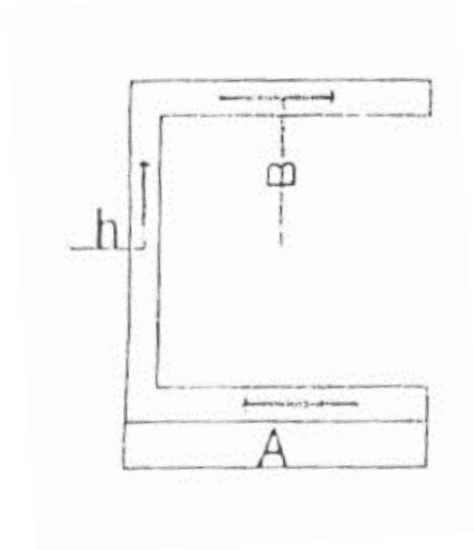
تئوری آزمایش:

در اثر نیروی برشی W در مقطع، جریان برشی به شکل زیر به وجود می‌آید.



جرم وزنه‌های اعمال شده بر حسب گرم				
امتداد نیرو (θ)	مقادیر u و v	200	400	600
0	u			
	v			
30	u			
	v			
60	u			
	v			
90	u			
	v			

چنانچه از شکل 2 پیداست، در اثر نیروهای عمودی، کوپلی تولید می‌شود و در اثر نیروهای افقی کوپلی دیگر تولید شده که کوپل تولید شده قبلی را تشدید می‌کند و باعث دوران و پیچش مقطع می‌شود. حال اگر نیروی W در نقطه‌ای اثر کند که دو کوپل اثر یکدیگر را خنثی نمایند، پیچش حاصل نمی‌شود و فقط در مقطع جریان برشی خواهیم داشت. این نقطه را مرکز برش می‌نامند.



$$w.h = 2H.B \quad (1)$$

$$h = \frac{2H.B}{w}$$

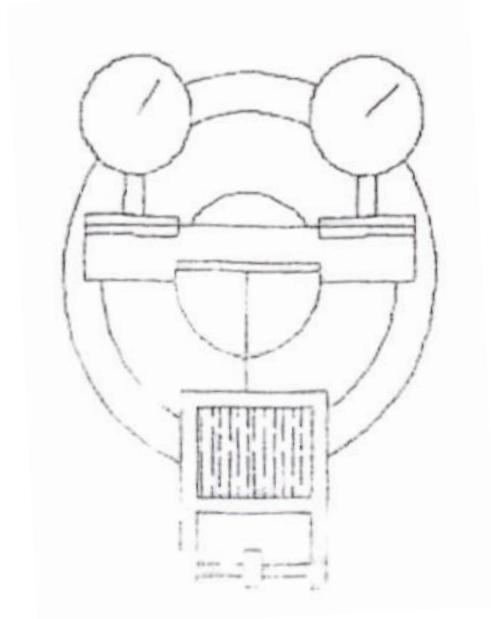
لذا خواهیم داشت:

$$h = \frac{B^2 A^2 t}{I_A} \quad (2)$$

که H نیروی برشی افقی (برآیند نیروهای برشی در جریان برش) و W نیروی برشی قائم است. با استفاده از فرمول تنش برشی در مقطع فوق، مقدار h (مرکز برش) محاسبه می‌گردد.

روش آزمایش:

مطابق شکل زیر دستگاه را آماده نموده و آزمایش را با مقطع ناودانی انجام دهید.



وزنه‌های 500 گرمی را به آن بیاویزید. نیرو را در جهت عرض تیر حرکت می‌دهیم. جابجایی نیرو باید با فاصله‌های 5mm باشد.

مقادیر خیز را از روی دو ساعت اندازه‌گیری بخوانید و منحنی این دو مقدار را در مقابل موقعیت نیروی اعمال شده در روی محور X-X رسم نمایید که یک خط برای u و یک خط برای v بدست می‌آید. محل تلاقی این دو خط نشان دهنده مرکز برش است.

گزارش:

1. در آزمایش اول منحنی $\frac{u}{w}$ را در مقابل $\frac{u}{v}$ رسم نمایید و از روی این منحنی که مکان هندسی u و v می‌باشد و با استفاده از روابط زیر مقادیر تعداد I_x و I_y را به‌دست آورده و با مقادیر به‌دست آمده تئوری مقایسه کنید.

$$I_x = \frac{wL^3}{3E} \left[\frac{1}{\text{مختصات مرکز - شعاع}} \right] \quad (3)$$

$$I_y = \frac{wL^3}{3E} \left[\frac{1}{\text{مختصات مرکز - شعاع}} \right]$$

2. با استفاده از آزمایش دوم، محل مرکز برش را تعیین کنید و با مقدار تئوری مقایسه کنید.

سوالات:

- 1- با استفاده از روابط (1) و شکل مربوطه آن، روابط (2) را اثبات کنید.
- 2- با توجه به فرمول تنش برشی، فرمول (3) را به دست آورید.
- 3- ثابت کنید که منحنی های به دست آمده در تعیین مرکز برش خطی هستند.

آزمایش کشش (Tensile test)



هدف آزمایش:

هدف از آزمایش مشاهده رفتار فلزات و تعیین خصوصیات مکانیکی آنها از جمله ضریب الاستیسیته، تنش نهایی، تنش گسیختگی، درصد افزایش طول در هنگام گسیختگی و مدول‌های برجهندگی (Resilience) و طاقت (Toughness) جسم است.

تئوری آزمایش:

رابطه بین تنش و کرنش در یک ماده مورد نظر با آزمایش کشش تعیین می‌شود. نمونه‌هایی از ماده مزبور معمولاً به شکل میله گرد (میله با مقطع دایره‌ای) در داخل ماشین کشش قرار داده می‌شود و تحت کشش قرار می‌گیرد. نیرو و ازدیاد طول میله با اضافه کردن تدریجی بار اندازه‌گیری می‌شود. با تقسیم نیرو بر مساحت مقطع، تنش و با تقسیم ازدیاد طول میله بر طول میله، کرنش پیدا می‌شود. بدین طریق منحنی کامل تنش - کرنش برای ماده مورد نظر بدست می‌آید.

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه آزمایش کشش از یک پمپ هیدرولیکی دستی و یک جک هیدرولیکی همراه با بازوهای انتقال نیرو و فک‌های مخصوص جهت گرفتن نمونه‌های آزمایش تشکیل شده است. همچنین دستگاه مجهز به به به نیروسنج دیجیتالی می باشد که بر حسب کیلو نیوتون (KN) مدرج شده است. برای انجام آزمایش نیز از اکستنسومتر مکانیکی با دقت 0.001 میلی‌متر و طول 50 سانتی‌متر که بر روی نمونه آزمایش نصب می‌شود استفاده می‌گردد.

روش آزمایش:

1. دو خط نشانه روی نمونه بکشید و فاصله بین این دو خط را اندازه بگیرید. برای حذف خطاهای انسانی بهتر است این فاصله به وسیله چند نفر اندازه گیری شود.
2. قطر نمونه را حداقل در سه جای مختلف اندازه بگیرید.
3. نمونه را در دو فک دستگاه قرار دهید. دقت کنید که گیرداری دندان‌های فک دستگاه کامل و محکم باشد.
4. اکستنسومتر را روی نمونه نصب کنید.
5. نیروسنج را روشن کنید.
6. برای حذف لقی‌های دستگاه در نمونه، پیش باری بین یک تا نه کیلو نیوتون اعمال کنید و سپس اکستنسومتر را صفر کنید.
7. به آرامی و به طور یکنواخت شروع به افزایش نیرو نمایید و در فواصل نیرویی معین اعداد نیروسنج و اکستنسومتر را یادداشت نمایید.

8. وارد کردن نیرو را آنقدر ادامه دهید تا تقریباً نیرو ثابت بماند، آنگاه اکستنسومتر را باز کنید. (حتماً قبل از پاره شدن نمونه، اکستنسومتر را باز کنید، در غیر این صورت اکستنسومتر خراب می‌شود).
9. نیرویی که تحت آن مقطع شروع به لاغر شدن می‌کند را اندازه بگیرید.
10. وارد کردن نیرو را ادامه دهید تا مقطع باره شود.
11. دو قسمت پاره شده را از فک‌های دستگاه خارج کنید و شیر دستگاه را باز نموده و نیروسنج را خاموش کنید.
12. قطر نمونه را در جای پاره شدن آن اندازه بگیرید.
13. دو قطعه نمونه را به هم چسبانده و طول بین دو خط نشانه را اندازه‌گیری کنید.

گزارش:

1. نمودار تنش - کرنش را برای نمونه روی کاغذ میلی‌متری یا توسط کامپیوتر و با انتخاب مقیاسی مناسب رسم کنید و مقادیر زیر را روی آن مشخص کنید.
 - (الف) محدوده الاستیک
 - (ب) محدوده پلاستیک
 - (ج) تنش حد خطی
 - (د) تنش تسلیم
 - (و) تنش نهایی
2. از روی نمودار تنش - کرنش ضریب الاستیسیته را با دقت خوبی بدست آورید.
3. مقادیر زیر را محاسبه کنید.
 - (الف) تنش و کرنش تسلیم
 - (ب) تنش و کرنش شکست (در جهت طولی)
 - (ج) تنش نهایی در جهت طولی
 - (د) کرنش شکست (در جهت شعاعی)
 - (ه) ضریب پواسون

سوالات:

1. آیا نمونه آزمایش شده یک دما به نرم است یا ترد، توضیح دهید.
2. نتایج به دست آمده را با جداول موجود در کتاب‌های مقاومت مصالح مقایسه نمونه و نوع ماده نمونه را مشخص کنید.
3. تفاوت بین تنش و کرنش واقعی و مهندسی را توضیح دهید. نمودار تنش و کرنشی را که شما رسم کرده‌اید از کدام نوع است.

آزمایش پیچش الاستیک (Elastic Torsion Test)



هدف آزمایش:

به دست آوردن ضریب صلبیت و تحقیق رابطه $\phi = \frac{TL}{GJ}$

تئوری آزمایش:

میله‌ای با مقطع عرضی دایره، که به وسیله دو لنگر پیچشی در دو انتهایش بین تحت پیچش قرار دارد، تحت حالتی موسوم به پیچش خالص واقع است. با توجه به تقارن، می‌توان نشان داد که مقاطع عرضی میله دایره‌ای مانند اجسام صلب حول محور طولی میله دوران می‌کنند. بطوریکه یک شعاع مستقیم و مقاطع عرضی به صورت دایره‌ای باقی می‌مانند. در این حالت تا باقیماندن تنش‌ها در زیر تنش تسلیم می‌توان از قانون هوک استفاده کرد. باید متذکر شد که آزمایش‌های پیچش معمولاً برای تعیین نمودن ضریب ارتجاعی برشی (G) مصالح مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد.

شرح دستگاه آزمایش:

دستگاه از یک فک متحرک همراه با پولی اعمال گشتاور و یک تکیه‌گاه ثابت و همچنین دو نقاله جهت به دست آوردن زاویه پیچش تشکیل شده است. برای هر یک از نقاله‌ها نشانه‌های قابل نصب بر روی نمونه آزمایش موجود می‌باشد.

روش آزمایش:

1. قطر نمونه آزمایش را در چند جای آن اندازه‌گیری نمایید.
2. نمونه را درون فک (سه‌نظام) قرار داده و با آچار مخصوص محکم نمایید.
3. دو نقاله را در فواصل معینی از انتهای فک ثابت دستگاه قرار دهید.
4. دو نقاله را روی نمونه آزمایش طوری نصب نمایید که روی صفر نقاله‌ها قرار گیرد.
5. فواصل نقاله‌ها را از یکدیگر و از فک ثابت اندازه بگیرید.
6. به کمک وزنه گشتاور را اعمال کرده و زاویه پیچش را اندازه بگیرید. (قطر پولی 100 میلی‌متر است).
7. آزمایش را برای سه نمونه مختلف تکرار نمایید.

گزارش:

1. برای هر سه نمونه نمودار $T - \phi$ را رسم نمایید.
2. برای هر سه نمونه نمودار $\tau - y$ را رسم نموده و از روی آن ضریب صلبیت را به دست آورید.
3. تنش برشی تسلیم τ_y را برای هر سه نمونه به دست آورید.
4. صحت رابطه، $\phi = \frac{TL}{GJ}$ را تحقیق نمایید.
5. برای هر سه نمونه منحنی $\phi - L$ را برای گشتاور ثابت رسم کنید.

سوالات:

1. رابطه، $\phi = \frac{TL}{GJ}$ را اثبات نمایید.
2. فرضیات تئوری پیچش را نام ببرید.

آزمایش تست ضربه (Impact test)



1. هدف:

تعیین مقدار انرژی شکست فلزات

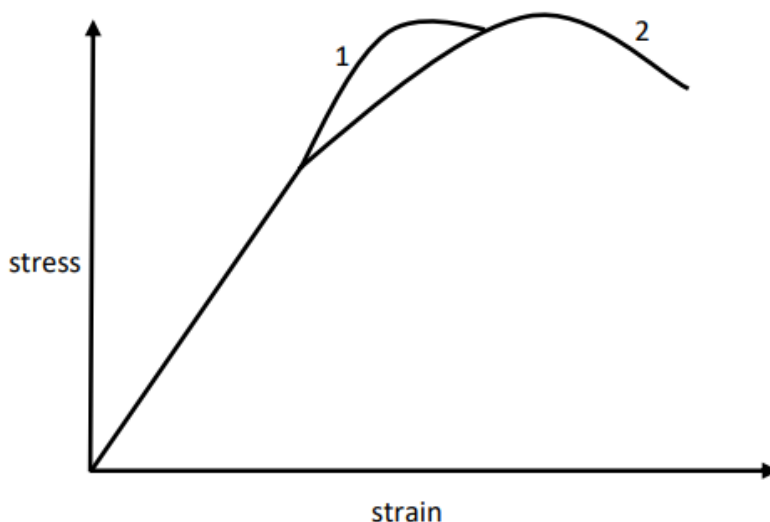
2. مقدمه:

یکی از مسائل مهم در صنعت که باعث خسارات زیادی می شود، شکستن قطعات بر اثر تردی جنس آن ها می باشد. آزمایش های کشش و فشار با همه اهمیت خود نمی توانند رفتار فلزات را در اثر بارهای ضربه ای تعیین کنند. بنابراین برای پی بردن به قابلیت جذب انرژی فلزات در دماهای مختلف از آزمایش ضربه استفاده می کنند. هرچه انرژی لازم برای شکستن فلز زیادتر باشد فلز نرمتر (چقرمه تر)، و برعکس هر چه انرژی لازم کمتر باشد، فکر تردتر است. در نمودار زیر می توانید رابطه بین انرژی شکست و نرمی یا تردی فلزات را مشاهده نمایید. نمودار ۱ برای مواد با تنش تسلیم بالا ولی نرمی پایین می باشد و نمودار ۲ برای مواد با تنش تسلیم پایین ولی نرمی بالا می باشد. سطح زیر نمودار تا نقطه شکست به نوعی بیانگر انرژی شکست می باشد.

3. تئوری آزمایش ضربه:

اساس کار یک دستگاه ضربه بر این است که چکشی با وزن معلوم، از یک ارتفاع مشخص به صورت پاندولی به نمونه آزمایشی اصابت می کند و بعد از شکستن نمونه تا یک ارتفاع دیگر بالا می رود. انرژی جذب شده توسط نمونه، برابر با حاصل ضرب وزن پاندول در اختلاف ارتفاع مرکز ثقل پاندول است.

$$E = E_1 - E_2 - Mg(h_1 - h_2)$$

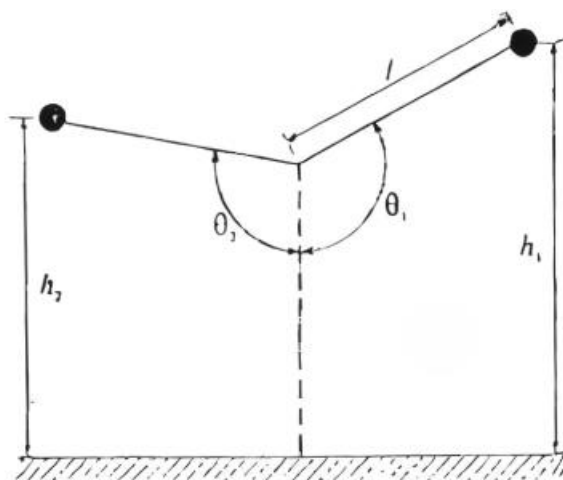


شکل ۱) رابطه تنش تسلیم و نرمی فلزات

که در این رابطه M (بر حسب kg) جرم پاندول، g شتاب گرانش (بر حسب $\frac{m}{s^2}$) و h (بر حسب m) فاصله مرکز جرم پاندول تا پایین‌ترین وضعیت پاندول (حالت افقی) می‌باشد. در عمل به جای اندازه‌گیری ارتفاع همانطور که در شکل 1 نشان داده شده‌است، زوایای اولیه و ثانویه اندازه‌گیری می‌شود. در این صورت انرژی ضربه از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$E = E_1 - E_2 = MgL(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

که در آن θ_1 و θ_2 زوایای اولیه و ثانویه و L بر حسب m فاصله مرکز جرم پاندول تا محور آن است.

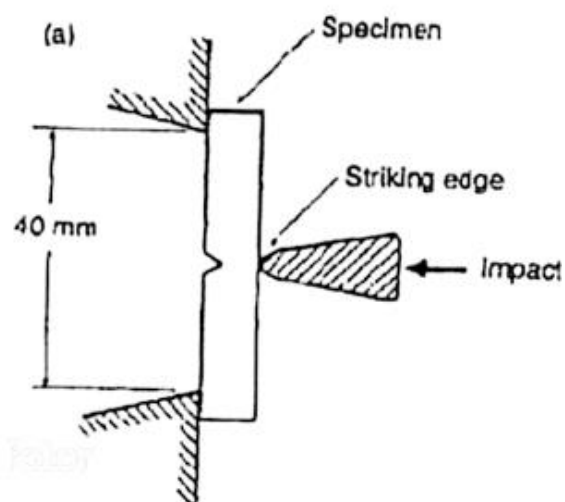


شکل 2) آزمایش ضربه

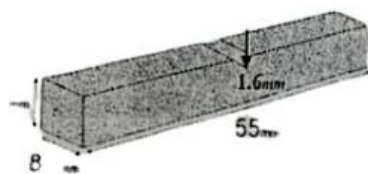
آزمایش ضربه به سه روش شاری، آیزود و کششی انجام می‌شود. (دستگاه آزمایش ما براساس روش شاری عمل می‌کند). روش‌های شاری و آیزود تنها از نظر نحوه قرار گرفتن نمونه‌ها بر روی تکیه‌گاه باهم تفاوت دارند ولی روش کششی از نظر ماهیت ضربه با بقیه روش‌ها متفاوت است.

3-1. آزمایش ضربه شاری

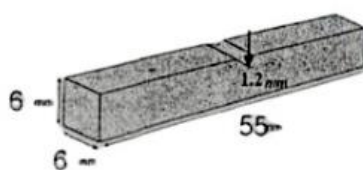
نمونه مورد استفاده در این آزمایش در شکل 4 نشان داده شده‌است.



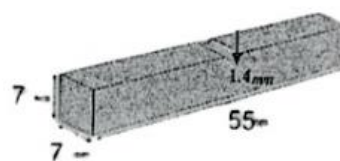
شکل 3) آزمایش ضربه شاری



نمونه آلومینیومی



نمونه آهنی



نمونه برنجی

شکل 4) نمونه آزمایش ضربه شاری

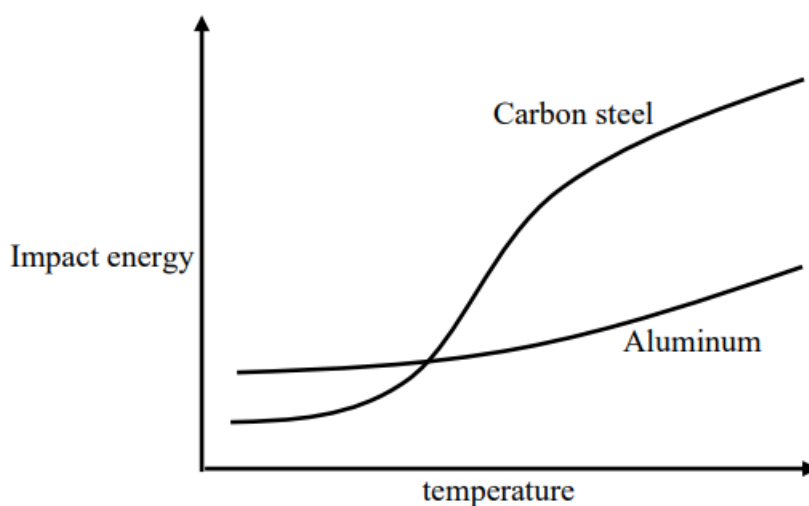
3-2. عوامل موثر در نتایج آزمایش

مهمترین عوامل موثر در میزان شکست عبارتند از:

1- فرم و اندازه نمونه

2- نوع و اندازه شیار

عامل درجه حرارت پارامتر مهمی است چون فلزات در درجه حرارت‌های بالا، نرم هستند. به عبارت دیگر بیشتر فلزات در درجه حرارت‌های پایین، ترد و شکننده بوده و با ازدیاد درجه حرارت، قابلیت انعطاف پذیری آنها افزایش می‌یابد. در شکل 5 می‌توانید نحوه تغییرات میزان انرژی برای شکست بر حسب تغییر دما را مشاهده نمایید.



شکل 5) نمودار تاثیر درجه حرارت در انرژی شکست

از این آزمایش غیر از تعیین تردی و نرمی فلز در یک دمای خاص می‌توان درجه حرارت تبدیل را نیز تعیین نمود. درجه حرارت تبدیل درجه حرارتی است که در آن فلز از حالت تردی به حالتی که قابلیت انعطاف دارد، می‌گراید. برای اجتناب از شکست ترد، مخصوصاً هنگامی که در دماهای پایینی کار می‌کنند، سعی می‌شود که دمای تبدیل فلز پایین برده شود. برای این کار می‌توان یکی از روش‌های زیر را بکار برد:

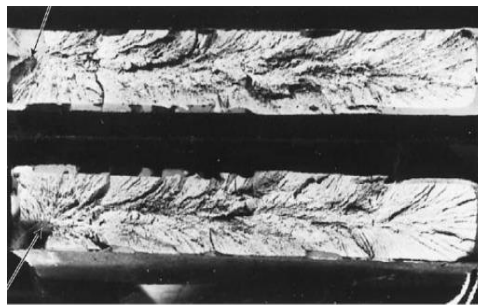
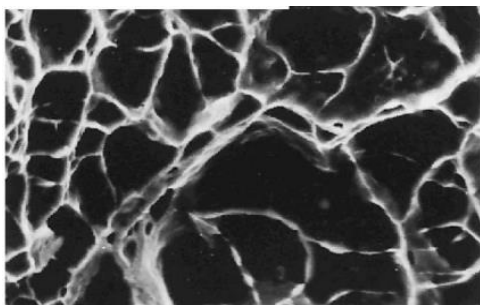
1. اضافه کردن حدود 4 درصد نیکل

2. سخت گردانی و باز پخت

3. اکسیژن زدایی کامل

4. ریز کردن دانه ها

بعد از انجام تست، از روی ظاهر مقطع شکست می‌توان به ترد یا نرم بودن شکست پی برد. شکست ترد، ظاهری دانه دانه روشن یا کریستالی و شکست نرم، ظاهری ریشه‌ای یا الیافی دارد (شکل 6).



شکل 6) مقطع شکست نرم (چپ) و شکست ترد (راست)

همانطور که قبلا اشاره شد نوع و اندازه شیار در نتایج آزمایش اثر می گذارد. به همین دلیل شیاهای مورد استفاده در این نمونه ها به صورت استاندارد آمده است. از روی میزان انرژی که صرف شکست نمونه استاندارد می شود می توان سختی آن جنس را بدست آورد.

4. دستگاه تست ضربه

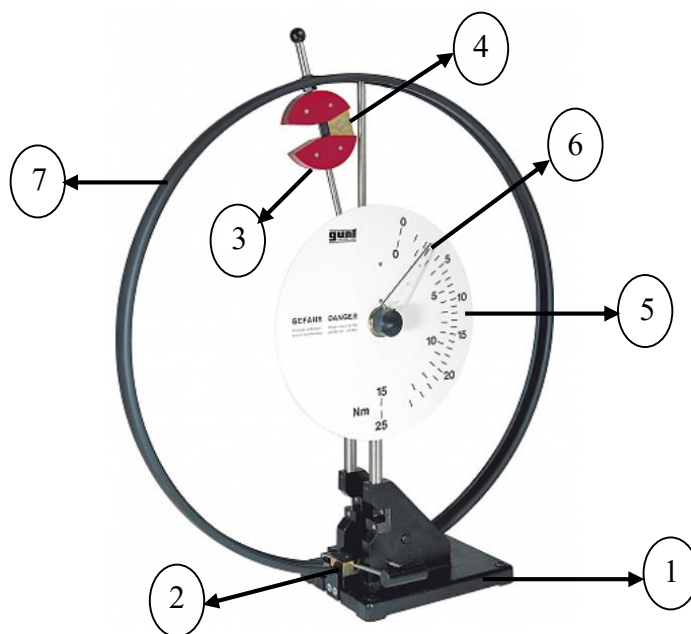
دستگاه تست ضربه در شکل 7 نشان داده شده است. انواع مختلفی از این دستگاه در ظرفیت های مختلف برای تست نمونه های مختلف وجود دارد. دستگاه مورد استفاده در این آزمایش یک دستگاه تست آزمایشگاهی با ظرفیت پایین است که برای مقاصد آموزشی ساخته شده است. اجزای اصلی این دستگاه روی شکل شماتیک (شکل 8) نشان داده است. این اجزا عبارتند از:

1. شاسی دستگاه
2. نمونه آزمایش ضربه و نگهدارنده نمونه
3. چکش 3/640 کیلوگرم، وزن ملیه 494 گرم
4. قفل کن مغناطیسی
5. صفحه مدرج اندازی گیری زاویه
6. عقربه
7. حلقه محافظ



شکل 7) دستگاه تست ضربه

اجزا روی شکل شماتیک نشان داده شده‌اند:



شکل 8) شکل شماتیک تست ضربه

نمونه آزمایشی درون نگهدارنده قرار می‌گیرد و سپس چکش با چرخاندن قفل کن مغناطیس آزاد شده و به نمونه ضربه زده و پس از شکستن نمونه در طرف مقابل تا ارتفاع مشخصی بالا می‌رود. زاویه اولیه و نهایی از روی صفحه مدرج خوانده می‌شود. به منظور ایمنی بیشتر یک حلقه محافظ دور تا دور دستگاه را قرا گرفته است. با این وجود در طول کار با دستگاه باید احتیاط را رعایت کرد. البته در ورژن جدید دستگاه از صفحه مدرج اندازه گیری زاویه صرف نظر گردیده است زیرا دستگاه قابلیت اتصال به کامپیوتر را داشته و به کمک نرم افزار طراحی شده برای آن، می‌توان مقدار زاویه (اولیه و نهایی) و سایر مشخصات دیگر را از روی سیستم کامپیوتر خواند.

5. روش انجام آزمایش

ابتدا قبل از بستن نمونه می‌خواهیم انرژی تلف شده بر اثر اصطکاک را محاسبه کنیم. برای این منظور، ابتدا چکش را در پایین‌ترین حالت قرار داده و در آن وضعیت در نرم افزار طراحی شده برای این دستگاه دکمه ZERO (00.0) را می‌زنیم.

سپس پاندول را به قفل کن مغناطیسی مماس کرده و قفل کن را در وضعیت ON قرار می‌دهیم. در این حالت نرم‌افزار زاویه را در حدود 150° نشان می‌دهد که زاویه اولیه محسوب می‌شود. سپس دکمه PLAY را در نرم‌افزار زده و قفل کن مغناطیسی را در وضعیت OFF قرار می‌دهیم تا پاندول آزادانه حرکت کند. سپس نرم افزار زاویه نهایی و انرژی ضربه (Impact Energy) را به صورت جدولی در اختیار ما قرار می‌دهد که این انرژی را به عنوان انرژی اصطکاک در نظر می‌گیریم. بدین صورت که در نرم افزار در قسمت (Friction Energy) کلیک کرده و مقدار Impact Energy محاسبه شده در قسمت قبل را وارد می‌کنیم و از این پس دستگاه این مقدار انرژی را به عنوان انرژی اصطکاکی در محاسبات انرژی ضربه لحاظ می‌کند. حال همین مراحل را با گذاشتن نمونه آزمایش در دستگاه به صورت زیر انجام می‌دهیم:

1. ابتدا نمونه را طوری روی سندان قرار دهید که روی شیار، درست در وسط سندان و پشت شیار به طرف چکش قرار گیرد. برای این کار می‌توانید لبه چکش را به شکاف نمونه مماس کنید. در این حالت دکمه ZERO (00.0) را در نرم‌افزار می‌زنیم.

2. پاندول را به قفل کن مغناطیسی مماس کرده و قفل کن را در وضعیت ON قرار دهید. دکمه PLAY نرم‌افزار را زده (نرم افزار زاویه اولیه، زاویه نهایی، انرژی اولیه، انرژی نهایی، انرژی ضربه و انرژی اصطکاکی را به صورت جدولی به شکل زیر ارائه می‌دهد).

Initial Angle	Final Angle
Initial Energy	Final Energy
Friction Energy	Impact Energy

3. پس از اطمینان از اینکه در مسیر حرکت پاندول غیر از نمونه مانعی قرار ندارد، با قرار دادن قفل کن در وضعیت OFF پاندول را آزاد نمایید.

4. پس از شکستن نمونه توسط ترمز، پاندول را به آهستگی نگه دارید.

5. انرژی شکست را محاسبه و در جدول 1 یادداشت کنید. این آزمایش را برای هر فلز، سه مرتبه تکرار کنید.

جدول 1

انرژی شکست				
میانگین	آزمایش 3	آزمایش 2	آزمایش 1	
				آهن
				برنج
				آلومینیوم

6. نکات ایمنی کار با دستگاه تست ضربه

- در حین کار با دستگاه دقت لازم را مبذول فرموده و مراقب خود و دوستانتان باشد زیرا در صورت بی احتیاطی، این دستگاه بسیار خطرناک می باشد.
 - در هنگام انجام آزمایش هرگز در جلو یا پشت دستگاه قرار نگیرید، بلکه فقط در سمت چپ و راست آن قرار گیرید (به گونه ای که صفحات محافظ دستگاه روبه روی شما قرار گیرند).
 - هرگز سر خود را برای دیدن رخداد شکست به روی دستگاه خم نکنید.
- آزمایش برای یک نمونه آلومینیومی به صورت زیر تست شده است:

Initial Angle	Final Angle
150.4°	111.1°
Initial Energy	Final Energy
27.43 Joule	19.94 Joule
Friction Energy	Impact Energy
1.34 Joule	6.15 Joule

7- خواسته‌های آزمایش

1. میزان انرژی اتلافی در اثر اصطکاک دستگاه را در یک آزمایش بدست آورید و در مورد تاثیر این اصطکاک در دقت آزمایش بحث نمایید.
2. چرا نمونه‌های آزمایش ضربه را به صورت شیاردار می‌سازند؟
3. به نظر شما علت ترجیح داشتن شکست نرم نسبت به شکست ترد چیست؟
4. آیا غیر از آزمایش ضربه، روشی برای تعیین تردی یا نرمی مواد وجود دارد.

آزمایش خستگی (Fatigue test)



هدف:

1. تعیین عمر خستگی (Fatigue Life) ماده تحت بارهای متناوب و سیکلی.
2. بررسی رفتار مکانیکی ماده تحت بارگذاری دینامیکی و رسم نمودار S-N (تنش در مقابل تعداد سیکل‌های شکست).
3. ارزیابی شکست‌های خستگی و تعیین نوع ترک و مکان شروع آن

تجهیزات و ابزار مورد نیاز:

دستگاه آزمایش خستگی (ساخت شرکت دقت آزما): این دستگاه توانایی اعمال بارهای سیکلی به صورت تناوبی به نمونه‌های مختلف را دارد. همچنین مجهز به سیستم شمارش تعداد سیکل‌های انجام شده است.

نمونه‌های استاندارد: نمونه‌ها باید مطابق با استانداردهای ASTM E466 برای آزمایش‌های کششی خستگی یا ASTM E606 برای آزمایش‌های تنش کم‌چرخه تهیه شوند. نمونه‌ها معمولاً دارای شکل استاندارد (مثل گرد یا مستطیلی) هستند.

گیره‌ها و فیکسچرهای نمونه: جهت ثابت نگه داشتن نمونه در دستگاه.

سیستم‌های اندازه‌گیری نیرو و کرنش: برای ثبت دقیق نیروی اعمالی و تغییر شکل‌ها.

کامپیوتر و نرم‌افزار تحلیل داده: جهت ثبت و تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از آزمایش.

عینک و دستکش ایمنی: برای رعایت نکات ایمنی در محیط آزمایشگاه.

3. مراحل انجام آزمایش:

3-1. آماده سازی نمونه:

- انتخاب ماده: مواد متداولی که برای آزمایش خستگی مورد استفاده قرار می گیرند شامل فلزات (فولاد، آلومینیوم) و برخی پلیمرها یا کامپوزیتها هستند.
- ابعاد نمونه: نمونه باید با دقت بالا و مطابق با استانداردهای مربوطه ماشین کاری شود. معمولاً نمونه‌ها استوانه‌ای یا دارای مقطع مستطیلی هستند.
- اندازه گیری ابعاد: قبل از نصب نمونه در دستگاه، ابعاد دقیق نمونه (طول، قطر یا عرض) با استفاده از کولیس یا میکرومتر اندازه گیری و ثبت شوند.
- سطح نمونه: سطح نمونه‌ها باید صاف و بدون ترک و نواقص باشد، زیرا هرگونه نواقص سطحی می تواند منجر به شکست زودرس خستگی شود. گاهی اوقات پرداخت سطح یا عملیات حرارتی برای بهبود خواص سطحی انجام می شود.

3-2. تنظیم دستگاه آزمایش:

- دستگاه را روشن کرده و نوع بارگذاری سیکلی را انتخاب کنید. معمولاً بارگذاری خستگی به صورت سینوسی و بین دو مقدار تنش مینیمم و ماکسیمم انجام می شود.
- تنظیم دامنه تنش: تنش مینیمم و ماکسیمم باید به صورت درصدی از مقاومت کششی ماده (Ultimate Tensile Strength) تنظیم شوند. به عنوان مثال، در یک آزمایش خستگی ممکن است دامنه تنش بین 30٪ تا 70٪ تنش تسلیم باشد.

- فرکانس بارگذاری: فرکانس (Cycle Frequency) که معمولاً بین 5 تا 50 هرتز است، باید تنظیم شود. فرکانس‌های بالاتر به کاهش زمان آزمایش کمک می‌کند ولی در مواردی ممکن است اثرات حرارتی را افزایش دهد.

- نحوه بارگذاری: بارگذاری می‌تواند به صورت کششی، فشاری یا ترکیبی (به صورت سیکلی) انجام شود.

3-3. نصب و تراز نمونه:

- نمونه را در میان فیکسچرهای دستگاه قرار دهید و مطمئن شوید که نمونه به درستی در موقعیت قرار گرفته و تراز شده است. عدم تراز صحیح نمونه می‌تواند باعث ایجاد نیروهای جانبی ناخواسته و نتایج نامعتبر شود.
- پیش‌تنش: به آرامی نیروی پیش‌تنش را اعمال کنید تا نمونه به درستی در جای خود محکم شود، ولی نیروی زیادی وارد نکنید که باعث آسیب دیدگی نمونه شود.

3-4. شروع آزمایش:

- دستگاه را روشن کنید و اعمال نیروی سیکلی را آغاز کنید.
- مقدار نیروی اعمالی (تنش) و تعداد سیکل‌های انجام شده توسط دستگاه به صورت مداوم ثبت می‌شود.
- در طول آزمایش، ممکن است ترک‌هایی ریز در ماده به وجود بیاید که به تدریج به شکست نهایی منجر می‌شود. این ترک‌ها ممکن است ابتدا در نقاط تمرکز تنش یا نقاطی که دارای نواقص سطحی هستند شروع شوند.

3-5. پایان آزمایش و شکست نمونه:

- پس از آنکه نمونه شکست خورد، دستگاه به طور خودکار متوقف می‌شود.
- تعداد سیکل‌هایی که منجر به شکست نمونه شده‌اند، توسط دستگاه ثبت و نمایش داده می‌شوند.

- نمونه را از دستگاه خارج کرده و آن را با دقت بررسی کنید. شکست‌های خستگی معمولاً دارای الگوهای خاصی هستند که می‌توانند اطلاعات مهمی در مورد نوع ماده و رفتار خستگی آن به دست دهند.

4. تحلیل نتایج:

4-1. رسم نمودار S-N :

- داده‌های به دست آمده از آزمایش را روی نمودار S-N رسم کنید. در این نمودار:
 - محور افقی (N) : تعداد سیکل‌ها تا شکست. (Cycle Count)
 - محور عمودی (S) : مقدار تنش اعمال شده به نمونه.
- این نمودار به شما کمک می‌کند تا عمر خستگی ماده را در برابر بارگذاری‌های مختلف تنش پیش‌بینی کنید. به طور معمول، با افزایش تنش اعمال شده، تعداد سیکل‌های تا شکست کاهش می‌یابد.

4-2. تجزیه و تحلیل ترک‌ها:

- نمونه شکست خورده را از نزدیک بررسی کنید. در شکست‌های خستگی، معمولاً ترک‌ها از نواحی با تمرکز تنش یا نواقص سطحی شروع می‌شوند و به تدریج به سمت مرکز گسترش می‌یابند.
- نوع شکست: بررسی کنید که آیا شکست خستگی به صورت شکننده (Brittle Fracture) یا چقرمه (Ductile Fracture) رخ داده است.

4-3. بررسی نتایج و مقایسه با منابع :

- نتایج به دست آمده را با داده‌های مشابه موجود در منابع و استانداردها مقایسه کنید. این کار به شما کمک می‌کند تا مطمئن شوید که آزمایش به درستی انجام شده و ماده مورد آزمایش رفتار خستگی استاندارد داشته است.

4-4. محاسبه ضریب اطمینان:

- با استفاده از داده‌های خستگی به‌دست‌آمده، می‌توانید ضریب اطمینان (Safety Factor) را برای طراحی قطعاتی که تحت بارهای متناوب قرار می‌گیرند محاسبه کنید.

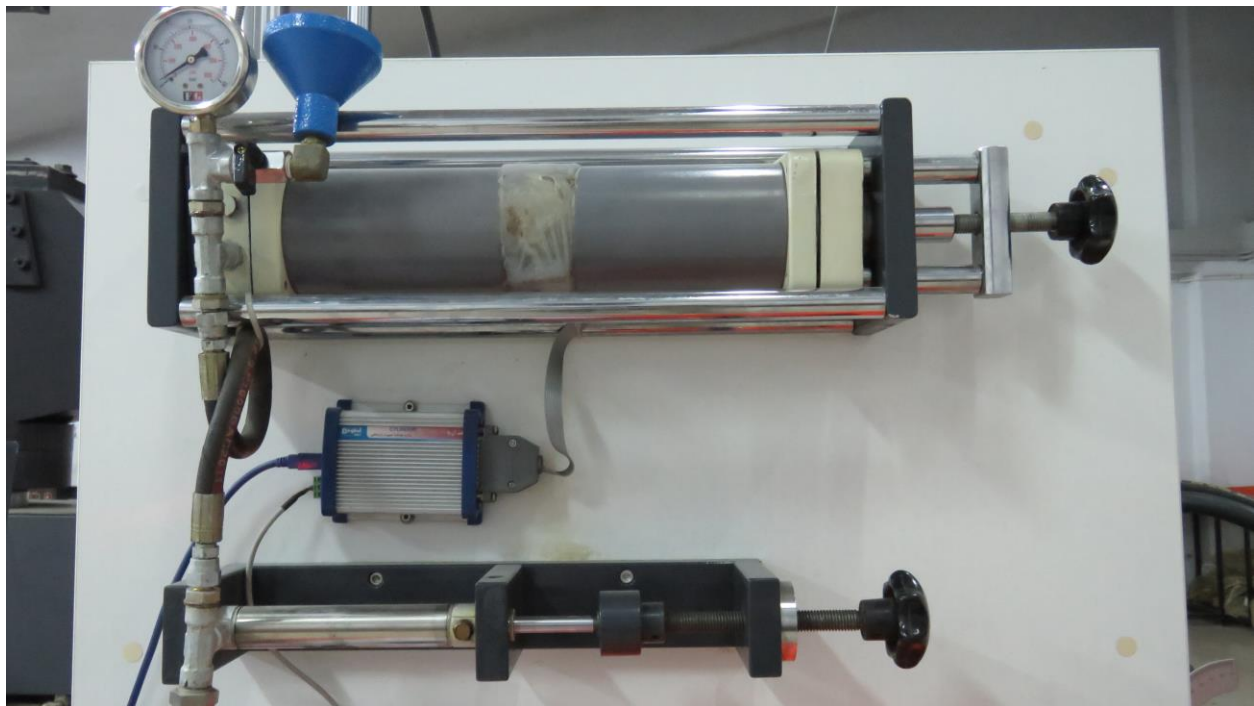
5. نکات ایمنی:

- در هنگام کار با دستگاه‌های خستگی و نمونه‌ها، از عینک و دستکش ایمنی استفاده کنید.
- دستگاه‌های خستگی دارای قطعاتی با حرکت سریع هستند؛ از نزدیک شدن به دستگاه در حین عملکرد آن پرهیز کنید.
- پس از شکست نمونه، ممکن است قطعات آن با سرعت زیادی پرتاب شوند، بنابراین همواره در هنگام کار با دستگاه، فاصله ایمنی مناسب را حفظ کنید.

6. نتیجه‌گیری:

- آزمایش خستگی یکی از مهم‌ترین آزمایش‌ها در مهندسی مواد است که به شما اجازه می‌دهد تا عمر قطعات مکانیکی تحت بارهای متناوب را پیش‌بینی کنید.
- با تحلیل نمودار S-N و مشاهده ترک‌ها و شکست‌های خستگی، می‌توان مشخص کرد که ماده چگونه تحت بارگذاری‌های مختلف واکنش نشان می‌دهد.
- نتایج این آزمایش‌ها در صنایع مختلف از جمله خودروسازی، هوافضا، ساخت سازه‌های فلزی و توربین‌های بادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آزمایش سیلندر جدار نازک (Thin-Walled Cylinder)



1. هدف آزمایش:

- بررسی و تحلیل تنش‌های محیطی و طولی در یک سیلندر جدار نازک تحت فشار داخلی.
- محاسبه توزیع تنش‌ها و مقایسه آن با نتایج نظری.
- بررسی رفتار ماده و انطباق نتایج تجربی با تئوری سیلندرهاى جدار نازک (تئوری هوپ).

2. تجهیزات و ابزار مورد نیاز:

- دستگاه آزمایش سیلندر جدار نازک ساخت شرکت دقت آزما که قابلیت اعمال فشار داخلی به سیلندر و اندازه‌گیری تنش‌ها و کرنش‌ها را دارد.
- سیلندر جدار نازک با ابعاد مشخص (جنس سیلندر معمولاً از فولاد یا آلایژهای مشابه است).
- گیج‌های کرنش (Strain Gauges): برای اندازه‌گیری کرنش‌های محیطی و طولی روی سطح سیلندر.
- پمپ هیدرولیک یا کمپرسور: جهت اعمال فشار داخلی به سیلندر.
- مانومتر: برای اندازه‌گیری دقیق فشار داخلی اعمال شده.
- دستگاه ثبت داده: جهت ثبت و تحلیل داده‌های کرنش و فشار.
- ابزار ایمنی: شامل عینک و دستکش.

3. مراحل انجام آزمایش:

3-1. آماده‌سازی نمونه:

- ابعاد سیلندر: ابتدا ابعاد سیلندر (طول، قطر داخلی و قطر خارجی) با دقت اندازه‌گیری شود. ضخامت جدار سیلندر باید در مقایسه با قطر آن نازک باشد تا بتوان از تئوری سیلندر جدار نازک استفاده کرد. معمولاً نسبت ضخامت به قطر (t/D) کمتر از $1/10$ است.
- نصب گیج‌های کرنش:
 - دو نوع گیج کرنش روی سیلندر نصب می‌شود:

1. گیج‌های محیطی: برای اندازه‌گیری کرنش‌های دایره‌ای (Hoop Strain) .

2. گیج‌های طولی: برای اندازه‌گیری کرنش‌های محوری (Axial Strain) .

- گیج‌های کرنش را در چندین نقطه روی سطح خارجی سیلندر نصب کنید تا داده‌های دقیقی از توزیع کرنش‌ها در طول و محیط سیلندر به دست آید.
- اتصال سیم‌های گیج‌های کرنش به دستگاه ثبت داده‌ها: پس از نصب گیج‌ها، آن‌ها را به سیستم ثبت داده متصل کنید تا اطلاعات به صورت لحظه‌ای ثبت و تجزیه و تحلیل شود.

2-3. تنظیم دستگاه و اعمال فشار:

- سیلندر را در دستگاه آزمایش قرار دهید و اتصالات مربوط به اعمال فشار داخلی را به آن وصل کنید.
- دستگاه را روشن کرده و سیستم پمپ هیدرولیک یا کمپرسور را به سیلندر متصل کنید تا فشار داخلی را اعمال کند.
- تنظیم فشار: با استفاده از پمپ یا کمپرسور، به آرامی فشار داخلی سیلندر را افزایش دهید. فشار باید به صورت تدریجی و قابل کنترل افزایش یابد تا از ترک خوردگی یا شکست سیلندر جلوگیری شود.
- ثبت فشار: فشار داخلی اعمال شده به سیلندر را با استفاده از مانومتر به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری و ثبت کنید.

3-3. اندازه‌گیری کرنش‌ها:

- در حین اعمال فشار، مقادیر کرنش‌های محیطی و طولی را که توسط گیج‌های کرنش ثبت می‌شوند، به طور مداوم در دستگاه ثبت داده‌ها ذخیره کنید.
- برای هر مقدار فشار داخلی، داده‌های مربوط به کرنش‌های محیطی و طولی را ثبت کنید.
- دقت کنید که تا زمانی که سیلندر در حالت الاستیک است (یعنی قبل از رسیدن به نقطه تسلیم)، داده‌های کرنش قابل تحلیل و استفاده هستند.

3-4. پایان آزمایش:

- پس از ثبت مقادیر کرنش برای چندین مرحله فشار مختلف (معمولاً تا فشار شکست یا حداکثر فشار ایمن دستگاه)، پمپ هیدرولیک یا کمپرسور را خاموش کرده و به آرامی فشار داخل سیلندر را کاهش دهید.
- سیلندر را از دستگاه جدا کنید و ابزارهای اندازه‌گیری را از روی آن بردارید.

4. محاسبات و تحلیل:

4-1. محاسبه تنش‌های تئوری:

بر اساس تئوری سیلندر جدار نازک (تئوری هوپ)، تنش‌های محیطی و طولی برای یک سیلندر جدار نازک تحت فشار داخلی طبق روابط زیر محاسبه می‌شوند:

تنش محیطی (Hoop Stress):

$$\sigma_h = \frac{pr}{t}$$

که در آن:

- σ_h تنش محیطی (MPa)
- P فشار داخلی (MPa)
- r شعاع داخلی سیلندر (m)
- t ضخامت جدار سیلندر (m)

تنش طولی (Axial Stress):

$$\sigma_a = \frac{pr}{2t}$$

که در آن:

- σ_a تنش طولی (MPa)

4-2. محاسبه کرنش‌ها:

با استفاده از قانون هوک، می‌توانید کرنش‌ها را از تنش‌ها به‌دست آورید:

کرنش محیطی:

$$\epsilon_h = \frac{\sigma_h}{E}$$

کرنش طولی:

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_a}{E}$$

که در آن:

- E: مدول الاستیسیته ماده سیلندر (MPa).

4-3. مقایسه داده‌های تجربی و تئوری:

- داده‌های به‌دست‌آمده از گیج‌های کرنش را با مقادیر تئوری محاسبه‌شده مقایسه کنید. نتایج باید در محدوده منطقی قرار گیرند و هرگونه اختلاف می‌تواند ناشی از اثرات ثانویه یا دقت اندازه‌گیری باشد.
- نمودار تنش-کرنش را برای هر نوع کرنش (محیطی و طولی) رسم کنید و رفتار الاستیک سیلندر را در مقابل فشار داخلی بررسی کنید.

4-4. تجزیه و تحلیل شکست:

- در صورتی که سیلندر در فشارهای بالا شکست خورد، نوع شکست (مثلاً شکست ترد یا چقرمه) را بررسی کنید و محل شروع شکست را ارزیابی کنید. معمولاً ترک‌های خستگی یا شکست در نواحی با تمرکز تنش بیشتر رخ می‌دهند.

5. نکات ایمنی:

- دستگاه آزمایش سیلندر جدار نازک تحت فشار بالا کار می‌کند، بنابراین استفاده از عینک و دستکش ایمنی الزامی است.
- همیشه از سالم بودن تجهیزات اعمال فشار و اتصالات سیلندر اطمینان حاصل کنید. هرگونه نشت فشار ممکن است خطرات جدی ایجاد کند.
- در حین اعمال فشار، فاصله ایمنی را از دستگاه حفظ کنید و از دستگاه دور بمانید تا در صورت شکست احتمالی سیلندر، آسیب نبینید.

6. نتیجه‌گیری:

- آزمایش سیلندر جدار نازک به شما اجازه می‌دهد که به‌طور دقیق رفتار تنش و کرنش در مواد تحت فشار داخلی را بررسی کنید.
- با استفاده از تئوری سیلندرهای جدار نازک، می‌توانید نتایج تئوری را با داده‌های تجربی مقایسه کنید و دقت نتایج را بررسی کنید.
- نتایج این آزمایش‌ها در طراحی مخازن تحت فشار، لوله‌های انتقال گاز و مایعات، و سازه‌های استوانه‌ای با دیواره‌های نازک مورد استفاده قرار می‌گیرد.

آزمایش خزش (creep test)

1. مقدمه

وقتی که موادی نظیر فولاد در دمای محیط تغییر شکل پلاستیک می‌دهند، استحکام آنها به علت کار سختی، زیاد می‌گردد. وقتی تنش تقریباً ثابت بماند این کار سختی به طور موثری از روی دادن تغییر شکل جلوگیری می‌کند. خزش در فولادها فقط در دماهای بالا اهمیت پیدا می‌کند. معمولاً خزش در دماهای بالاتر از حدود $0.4T_m$ (که T_m دمای مطلق ذوب است) اهمیت پیدا می‌کند موادی که دارای نقطه ذوب پایین هستند (مثل پلاستیک‌ها و سرب‌ها) در دماهای محیط نیز خزش پیدا می‌کنند.

2. تئوری

1-2. خزش در فلزات

تست خزش با بکار بردن یک نمونه تحت بار ثابت و مشاهده افزایش کرنش تغییر شکل با زمان صورت می‌گیرد. یک منحنی نمونه زمان-نرخ کرنش در شکل (۱) نشان داده شده است. سه ناحیه می‌تواند روی منحنی مشخص شود. ناحیه ۱ تا ۲ ناحیه اولیه خزش: خزش در یک نرخ کاهشی به علت کار سختی پیش می‌رود. ناحیه ۲ تا ۳ (خرش ثانویه): خزش با یک نرخ ثابت به علت تعادلی که بین کار سختی و آنیلینگ صورت می‌گیرد پیش می‌رود. ناحیه ۳ تا ۴ (ناحیه سوم خرش): نرخ خزش، به علت پدیده گردنی شدن نمونه و افزایش تنش‌های موضعی، افزایش می‌یابد. شکست در ناحیه ۴ اتفاق می‌افتد.

با توجه به تئوری نابجایی‌ها، در ناحیه اول خزش بطور پیوسته نابجایی‌ها تولید می‌شوند. با افزایش زمان، نابجایی‌ها هر چه بیشتر نمایان شده و این‌ها باعث تداخل با هر تکان کوچک (تغییر مکان) دیگر می‌شوند. به عبارت دیگر در ناحیه اول خزش، ورودی نابجایی‌ها زیاد و خروجی آنها کم بوده و مقدار کار سختی زیاد است. لذا نرخ خزش کاهش می‌یابد. نرخ کار سختی بیشتر از نرخ آنیلینگ است.

در مرحله دوم مقدار نابجایی‌های ورودی یا تولید شده ناشی از کار سختی، دقیقاً با مقدار نابجایی‌های خروجی ناشی از آنیلینگ برابرند. این تعادل دینامیکی باعث می‌شود که خزش با نرخ ثابتی ادامه یابد.

در ناحیه سوم نرخ نابجایی‌های خروجی ناشی از آنیلینگ بیشتر از نرخ نابجایی‌های ورودی بوده و نرخ خرش به علت گردنی شدن نمونه افزایش می‌یابد و موک‌ها و ترک‌ها در مرزدانه‌ها و تاثیرات متالورژیکی مختلف، باعث تغییر شکل‌های زیر می‌شود تا به گسیختگی در ناحیه چهارم منتهی گردد.

توجه شود در اعضای که به علت خزش تعویض با تعمیر می‌شوند، خزش در ناحیه سوم نباید وارد شود. به همین علت مرحله دوم خزش بیشترین اهمیت را در معیار طراحی دارد. عضوهایی که تحت خزش قرار دارند بیشترین عمر خود را در ناحیه دوم خزش پیدا می‌کنند. لذا باید در انتخاب فلزات و آلیاژها برای مقاومت خزش دقت شود که دارای نرخ خزش کوچک و در ناحیه دوم در کمترین حد ممکن باشد. معمولاً با استفاده از نرخ خزش در مرحله دوم، عمر قطعه مشخص را محاسبه می‌کنند.

نرخ خزش ثانویه برای فلزات و آلیاژها عملاً بستگی به چندین متغیر دارد که مهمترین آنها تنش و دماست. عبارتی که روابط بین نرخ خزش (ϵ) را با تنش و دمای مطلق T بیان می‌کند عبارتست از:

$$\epsilon^0 = A\sigma^n e^{-E/RT} \quad (1)$$

که A و n ثابت، E انرژی اکتیواسیون خزش در فلزات و R ثابت عمومی گازها ($8.31 \frac{J}{mol.K}$) است. معادله فوق نشان می‌دهد که نرخ خزش با افزایش دما و تنش افزایش می‌یابد. با گرفتن لگاریتم طبیعی از طرفین داریم:

$$\ln \epsilon^0 = \ln A + n \ln \sigma - \frac{E}{RT} \quad (2)$$

پس برای حالتی که دما ثابت و تنش متغیر باشد، توان n بار رسم $\ln \epsilon^0$ بر حسب $\ln \sigma$ بدست می‌آید. برای مثال در آزمایش با نمونه سربی، توان تنش (n) دارای مقداری حدود 10 در سطوح بالاتر تنش و انرژی اکتیواسیون (E) حدود $20 \frac{kJ}{mol.K}$ با استفاده از دستگاه ثبت خزش به دست آمده است. بیشتر فلزات دارای توان تنش حدود 5 می‌باشد. ولی برای سرب وقتی تنش کمتر از $5 \frac{N}{mm^2}$ باشد می‌توان از توان تنش $n=5$ استفاده کرد.

در سطوح بالاتر تنش، توان n تا حدود 10 افزایش می‌یابد و نتیجتاً قانون توان ساده معادله (2) برای محاسبه مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. به عوض آن عبارت توانی مناسب که با داده‌های آزمایشی مطابقت دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد که عبارت است از:

$$\epsilon^0 = \beta \cdot e^{\alpha \sigma} e^{-k/RT} \quad (3)$$

که α و β ثابت هستند. منحنی $\ln \epsilon^0$ بر حسب σ یک خط راست به شیب α خواهد بود. اگر تنش بر حسب N/mm^2 باشد مقدار α تقریباً 0/8 تا 0/9 و سطح تنش متغیر خواهد بود. در این آزمایش از معادله (1) تیر، برای آنالیز نتایج استفاده می‌گردد.

2-2. خزش در پلاستیک‌ها:

پلاستیک‌ها در دمای محیط خزش می‌کنند. اما در مقایسه با سرب می‌توانند قبل از گسیختگی، تغییر طول بیشتری بدهند. منحنی‌های خزش آن، شبیه آنچه که برای فلزات رسم شده است می‌باشد، اما مکانیزم تغییر شکل، به علت اختلافات در ساختار مواد آرام می‌باشد. پلیمرها دارای زنجیره مولکولی طولانی بوده و به صورت پیچش منظم هستند. خزش به وسیله زنجیره غیره پیچیده شده و لغزش نسبت به همدیگر اتفاق می‌افتد. نرخ خزش هنوز به تنش و دما وابسته بوده اما معادلات (1) و (3) دیگر قابل اعمال نمی‌باشند. فرآیندهای پیچیده‌ای که در طی خزش به وقوع می‌پیوندند، توصیف آن را با یک فرمول برای همه پلیمرها مشکل می‌کنند. یکی از معادلاتی که برای پلاستیک‌های مورد استفاده مهندسی قابل استفاده می‌باشند به شکل زیر می‌باشد:

$$\epsilon = \epsilon_0 + B\sigma^{mk} \quad (4)$$

ε کرنش خزشی بعد از زمان، σ تنش خزش اعمالی، ε_0 کرنش اولیه یا لحظه‌ای ایجاد شده در بارگذاری و m ، k ، m_t ثابت‌های داده شده برای یک پلیمر می‌باشد.

مولفه الاستیک کرنش اولیه را می‌توان با تقسیم کردن تنش خزشی بر مدول کششی پلیمر که برای پروپیلن $120\text{N}/\mu\text{m}^2$ می‌باشد به دست آورد. در بسیاری از پلیمرها این کرنش اولیه بسیار کوچک بوده و قابل صرف نظر کردن می‌باشد، پس در چنین حالاتی داریم:

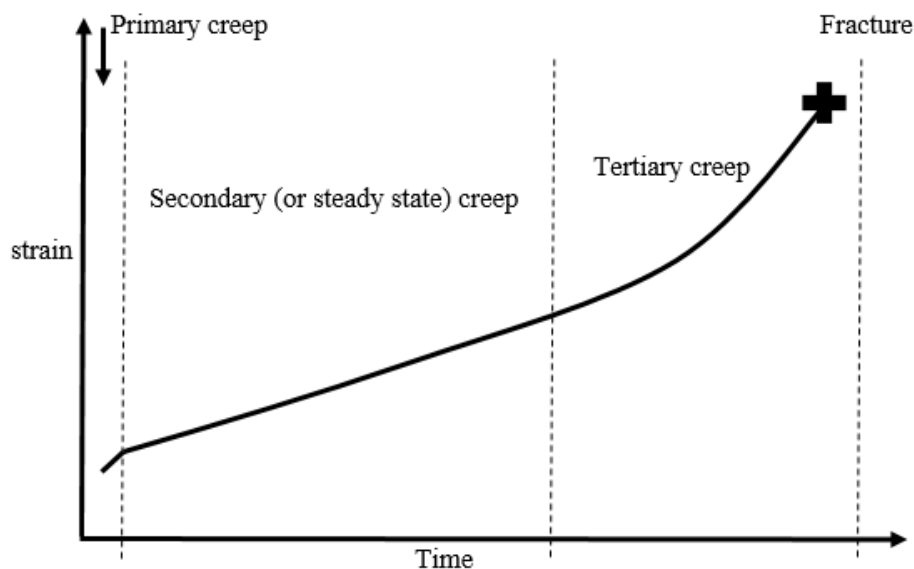
$$\varepsilon = B\sigma^{m_t k} \quad (5)$$

بنابراین نمودار $\text{Log } \varepsilon$ بر حسب $\text{Log } t$ خطی خواهد بود و شیب این خط مقدار مولفه k را نشان خواهد بود. مقادیر k بین $0/25$ تا $0/33$ در نوسان می‌باشد. برای پروپیلن، k در محدوده $0/1$ تا $0/2$ بوده و با سطح تنش تمایل به افزایش دارد.

در حالاتی که توان تنش m نزدیک واحد است، حالتی وجود دارد که $\frac{\sigma}{\varepsilon}$ ثابت است. مثلاً وقتی که $k \rightarrow 0$ میل می‌کند، در آن صورت $t \left(\frac{\sigma}{\varepsilon}\right)$ ثابت بوده و ماده به صورت سیال ویسکوز عمل می‌نماید. مقدار k که از داده‌های خزش بدست می‌آید اندازه‌ای از توزیع نسبی تغییر شکل الاستیک ویسکوز می‌باشد.

3. شرح دستگاه:

دستگاه اندازه‌گیری خزش از یک اهرم ساده برای اعمال بار یکنواخت بر نمونه استفاده می‌نماید. با قرار دادن وزنه‌هایی روی قلابی که در انتهای اهرم متصل است، بار به بازوی اهرم اتصال می‌گردد و در انتهای دیگر جایی که نمونه بسته می‌شود یک عدد ساعت اندازه‌گیر وجود دارد که مقدار تغییر طول نمونه در طی اعمال بار را نشان می‌دهد.



شکل 1) نمودار خزش

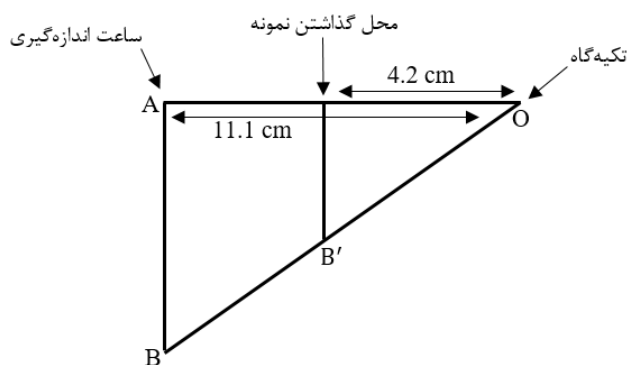
4. روش انجام آزمایش:

1. قبل از شروع آزمایش باید یک بار مناسب برای ایجاد خزش کامل بیابیم. معمولاً بار باید برای زمانی معادل 35 دقیقه انتخاب شود. برای آزمایش‌های مهم پیشنهاد می‌شود که علامتی روی نمونه نصب و سطح مقطع آن در طی آزمایش با استفاده از میکرومتر اندازه‌گیری شود.
 2. بازوی اهرم را به آرامی بالا برده و پیچ را در حالت بدون بار تنظیم نمایید.
 3. نمونه را داخل فک‌ها قرار داده و توسط دو عدد پین در نظر گرفته شده، نمونه را در جای خود تثبیت نمایید.
 4. بعد از قرار دادن نمونه ساعت را در جای مورد نظر در بالای فک‌ها قرار داده و پیچ آن را محکم کنید.
 5. ساعت را بر روی عدد صفر تنظیم کنید.
 6. دستگاه را بارگذاری نمایید و ساعت را بکار ببندازید.
 7. هر ۱۵ ثانیه مقادیر ساعت اندازه‌گیر را خوانده و ثبت نمایید. (برای مرحله مقدماتی خزش)
- وقتی نرخ کرنش کم شد، هر یک دقیقه یکبار قرائت نمایید. وقتی که سرعت خزش به مانند حالت مقدماتی خزش رسید، مجدداً هر 15 ثانیه قرائت نمایید تا اینکه شکست روی داده و با وزنه، به انتهای مسیر حرکت خود برسد.
8. طول اهرم از کفه بارگذاری تا مرکز تکیه گاه 336mm و از مرکز تکیه گاه تا فک‌ها 42mm می‌باشد.
- توجه: مقدار E (Extension) که ساعت اندازه‌گیری نشان می‌دهد، مقدار کشش (E) نمونه نمی‌باشد و برای بدست آوردن مقدار کشش قطعه باید بصورت زیر عمل نمود:

$$\triangle A'OB' \approx \triangle AOB \rightarrow \frac{OA'}{OA} = \frac{A'B'}{AB} \rightarrow \frac{4.2}{11.1} = \frac{A'B'}{AB}$$

میزان کش آمدن نمونه: $A'B'$

مقدار کششی که ساعت نشان می‌دهد: AB



- پس حتماً توجه شود برای به‌دست آوردن میزان کشش (E) نمونه، باید مقدار اندازه‌گیری شده در ساعت را در $0.378 = \frac{4.2}{11.1}$ ضرب کرد به عبارت دیگر:
- مقدار اندازه‌گیری شده توسط ساعت اندازه‌گیر $0.378 \times$ مقدار کش آمدن نمونه

5. سوالات:

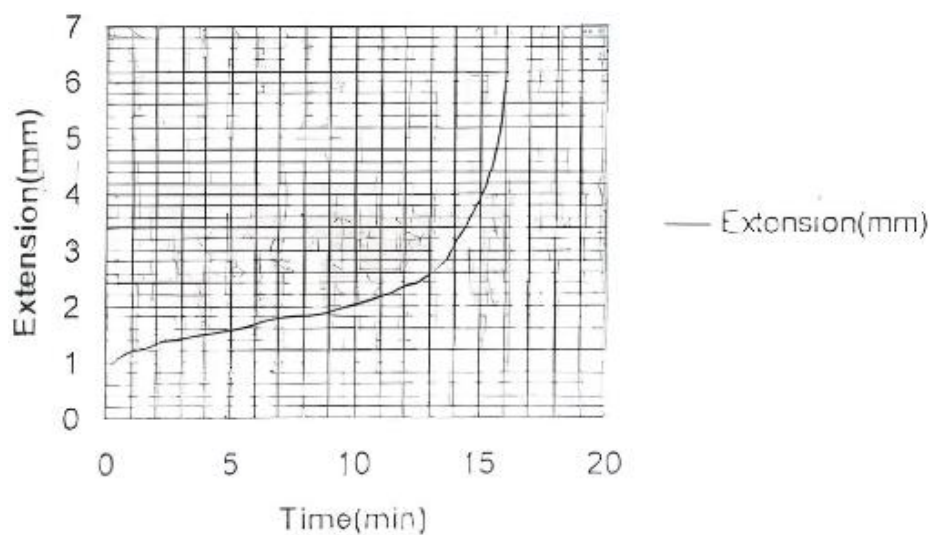
1. مقدار F نیروی وارد بر نمونه را حساب کرده و با توجه به این نیرو، تنش وارد بر نمونه را محاسبه نمایید. راهنمایی: می‌توان نیروهای وارد به اهرم را در نظر گرفت و با داشتن طول اهرم در قسمت‌های مختلف و نوشتن $\Sigma M = 0$ حول تکیه‌گاه، نیروی F را محاسبه کرد و با داشتن ابعاد نمونه (ضخامت و عرض نمونه)، تنش را با تقسیم این نیرو بر مساحت قطعه بدست آورید.
 2. در صورت امکان آزمایش را برای نمونه‌هایی با جنس‌های مختلف انجام دهید و مقادیر بدست آمده را با یکدیگر مقایسه کنید.
 3. نمودار $E-t$ را برای آزمایش فوق رسم کنید و مراحل خزش را مشخص کنید.
 4. تحقیق کنید که تاثیر درجه حرارت بر روی $d\varepsilon/dt$ به چه صورت خواهد بود.
- جداول و نمودارهای زیر، آزمایش برای نمونه سربی را در دو دمای 21 و 22 نشان می‌دهند. از این نمودارها می‌توان روند تغییر شکل (کشش آمدن) نمونه سربی را در ناحیه‌های مختلف خزش مشاهده نمود و ناحیه‌های سه‌گانه خزش به راحتی بر روی نمودار قابل تفکیک هستند.

Time(min)	Extension(mm)
0.25	0.975
0.5	1.06
0.75	1.128
1	1.195
-1.25	1.22
1.5	1.255
1.75	1.29
2	1.32
2.25	1.345
2.5	1.373
2.75	1.395
3	1.418
4	1.5
5	1.58
6	1.658
7	1.783
8	1.825
9	1.898
10	2.043

Time(min)	Extension(mm)
11	2.16
11.5	2.235
12	2.355
12.25	2.398
12.5	2.423
12.75	2.47
13	2.575
13.25	
13.5	2.735
13.75	2.84
14	3.085
14.25	3.3
14.5	3.51
14.75	3.705
15	3.9
15.25	4.125
15.5	4.475
15.75	4.9
16	6

سرب در دمای 21 درجه

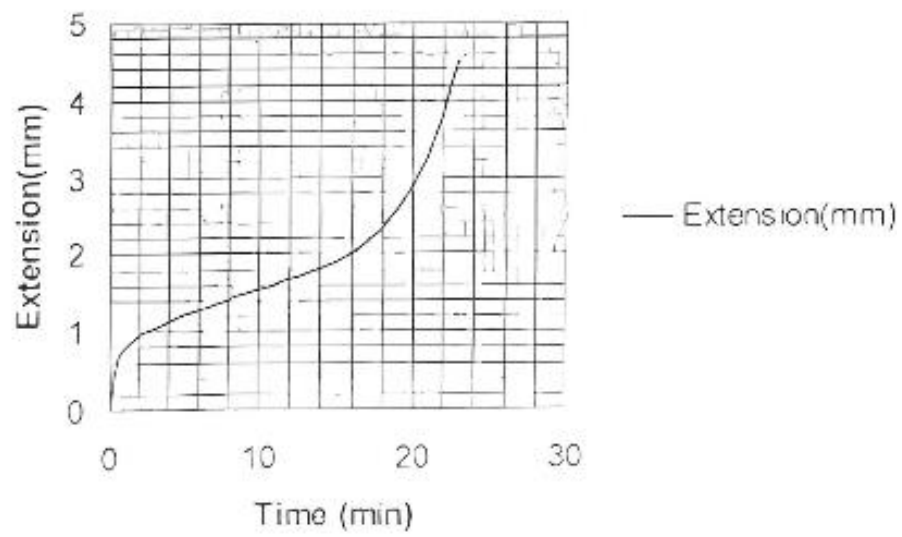
Load (21)



Time(min)	Extension(mm)
0	0
0.5	0.63
1	0.77
2	0.95
3	1.04
4	1.13
5	1.22
6	1.28
7	1.35
8	1.41
9	1.47
10	1.54
11	1.6
12	1.67
13	1.74
14	1.82
15	1.9
16	2.02
17	2.15
18	2.33
19	2.57
20	2.88
21	3.25
22	3.8
23	4.5
24	

سرب در دمای 22 درجه

Lead(22)



هدف آزمایش:

مطالعه لولای پلاستیک و بار نهایی در تیرها

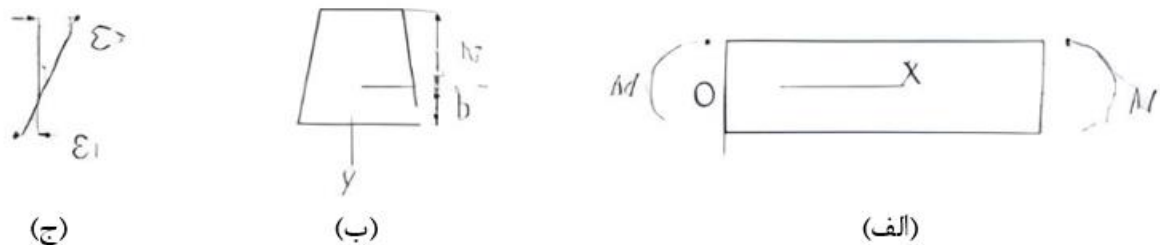
تئوری:

خمش غیر ارتجاعی مربوط به تیرهایی است که مصالح از قانون هوک پیروی نمی‌کند. این پدیده وقتی ظاهر می‌شود که تنش‌ها در تیر از حد تناسب قرارتر رود.

M مثبت به منظور تعیین معادلات اساسی خمش غیر ارتجاعی، تیری را در خمش خالص تحت اثر یک لنگر خمشی، که صفحه تقارن فرض می‌شود، عمل می‌کنند (XY در نظر می‌گیریم) (شکل 1-الف)). لنگرهای خمشی در صفحه (به Z شکل 1-ب). تیر در چنین صفحه‌ای تغییر شکل می‌دهد، بنابراین صفحه خمش همین صفحه است. محور عنوان محور خنثی در نظر می‌گیریم.

تغییر طول‌های نسبی موجود در تیر به دلیل وجود تقارن، دارای توزیع خطی هستند. بنابراین، همانطور که در (شکل 1-ج) نشان داده شده‌است، تغییر طول نسبی از بالا به پایین تغییر می‌کند. مقدار آن در پایین و بالا به ترتیب از سطح خنثی برابر با y می‌باشد. (تغییر طول نسبی در فاصله ε_2 و ε_1)

$$\varepsilon = \frac{y}{\rho} = ky \quad \rho: \text{شعاع انحنای منحنی}$$



شکل 1) خمش غیر ارتجاعی تیر

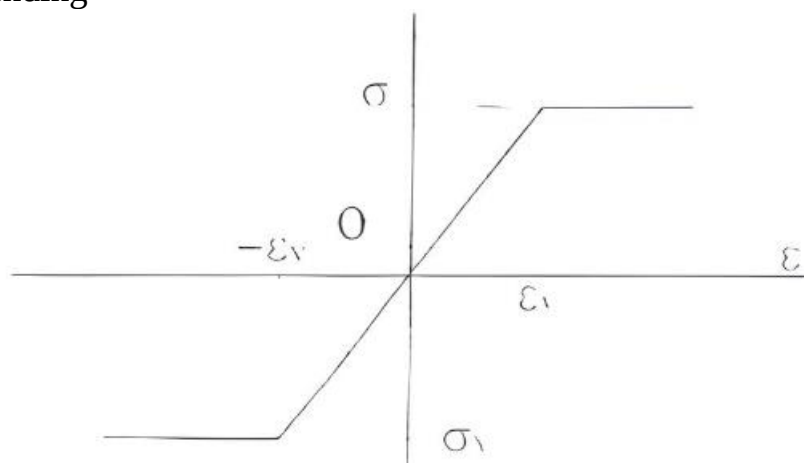
تغییر طول‌های در لایه‌های خارجی از روابط زیر حاصل می‌شوند:

$$\varepsilon_2 = -kh_2, \quad \varepsilon_1 = kh_1$$

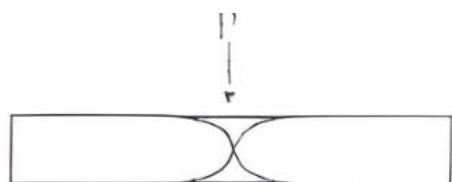
خمش خمیری:

ساده‌ترین حالت خمش غیر ارتجاعی خمش خمیری است، که وقتی مصالح تیر ارتجاعی خمیری باشد رخ می‌دهد. چنین مصالحی تا تنش سیلانی از قانون هوک پیروی می‌کند و سپس تحت اثر تنش ثابت دارای سیلان خمیری می‌باشد. دیاگرام تنش-تغییر طول نسبی برای یک ماده ارتجاعی-خمیری که در حالت کشش و فشاری دارای تنش سیلانی می‌باشد، در شکل (2) نشان داده شده‌است.

1-Plastic Bending



شکل 2) دیاگرام تنش-تغییر شکل نسبی برای یک ماده ارتجاعی خمیری



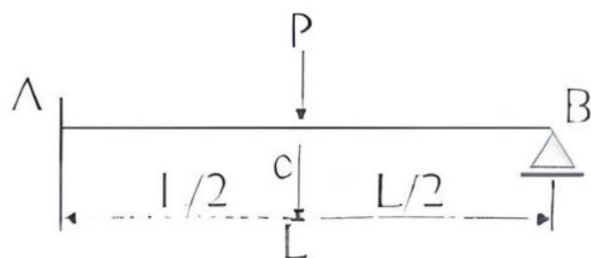
(الف)



(ب)

شکل 3) محور ناحیه خمیری در وسط تیر اگر بار وارده به M_p زیاد شود، لنگر خمشی حداکثر به سمت لنگر خمیری میل کند.

2. Plastic Hinge

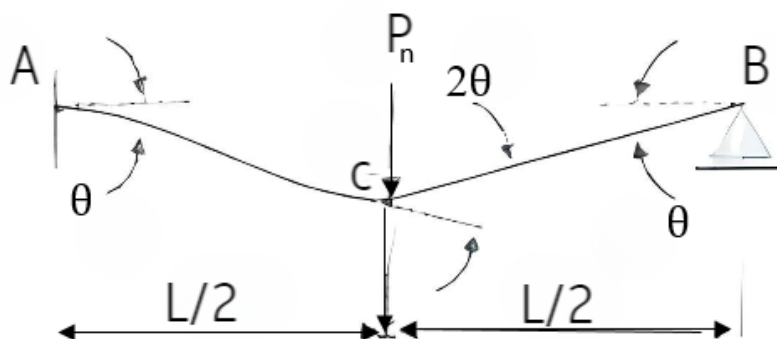


شکل (5) لولای خمیری

سطح مقطع در وسط تیر کاملاً خمیری می‌گردد. (اگر M_p مساوی M_{max} شود).

سپس انحنای وسط تیر بینهایت بزرگ می‌شود و جریان نامحدود خمیری بوجود می‌آید. لنگر حداکثر را نمی‌توان بیش از این زیاد کرد. در این حال بار موثر بر روی تیر به مقدار حداکثر خود رسیده است. در صورتی که دو نیمه تیر نسبتاً صلب باقی بمانند و دوران کمی به وسط تیر وارد شود، تیر می‌شکند. بنابراین، تیر به صورت دو میله که با لولای خمیری به هم متصل شده‌اند در می‌آید، بطوریکه این لولای خمیری به دو میله اجازه می‌دهد که در اثر لنگر نسبت به یکدیگر دوران کنند.

برای محاسبه بار نهایی، استفاده از اصل جابه‌جایی مجازی مزیت زیادی دارد که برای روشن شدن مطلب به مثال زیر توجه کنید، بر اساس این اصل، اگر سیستم صلبی تحت اثر مجموعه‌ای از نیروها قرار بگیرد و در حال تعادل باشد، کار انجام شده توسط این نیروها موقعی که سیستم جابه‌جایی کوچکی ایجاد کند، باید صفر باشد. مکانیزم شکست، شامل دو لوله AC، BC با لولاهای خمیری A و C همانطور که در شکل زیر ملاحظه می‌شود، می‌باشد.



نیروی P_n در نقطه $\frac{\theta L}{2}$ به سمت پایین حرکت کرده و مقدار آن مثبت و برابر با $p_n \frac{\theta L}{2}$ است. کار انجام شده توسط نیروی P_n در نقطه C برابر با $p_n \frac{\theta L}{2}$ می‌باشد، در حالی که در نقطه A کار انجام شده برابر با $-M_p \theta$ و منفی است.

کار انجام شده توسط لنگرهای خمیری M_p نیز مثبت است و به سمت پایین اعمال می‌شود. بنابراین، معادله کار مجازی برای تیر به این شکل است:

$$\frac{P_n \theta L}{2} - M_p \theta - 2M_p \theta = 0$$

معادله بالا نشان می‌دهد که نیروی P_n و لنگر M_p به ترتیب تأثیر مثبت و منفی بر روی کار کلی دارند. با حذف زاویه θ که جابه‌جایی مجازی است، به معادله نهایی برای بار می‌رسیم:

$$P_n = \frac{6M_p}{L}$$

این رابطه بار نهایی P_n را بر اساس لنگر خمیری M_p و طول تیر L بیان می‌کند.

شرح دستگاه :

مطابق شکل زیر تیری روی دو تکیه گاه قرار داده و نیروی خمش توسط مکانیزمی که روی قاب نصب می‌شود، وارد می‌گردد.

مقدار خیز و نیرو از روی نمایش دهنده خوانده می‌شود.

روش انجام آزمایش :

نمونه آزمایش را که قبلاً باید ابعاد آن دقیقاً مشخص شود بین دو تکیه‌گاه گیردار قرار داده و فاصله دو تکیه‌گاه را نیز اندازه بگیرید. وسیله بارگذاری را طوری تنظیم کنید که بار متمرکز در وسط تیر وارد شود. بار را وارد کرده و خیز وسط تیر را برای هر بارگذاری یادداشت نمایید. بارگذاری را آنقدر ادامه دهید که تیر در یک بار ثابت تغییر فرم بدهد که این حالت نشانگر گشتاور پلاستیک است.

نتایج :

1. اعداد خوانده شده مربوط به نیرو و خیز را در یک جدول ثبت کنید و سپس منحنی نیرو بر حسب تغییر مکان را رسم نمایید.
2. مدول ینگ E تیر را محاسبه کرده و با اندازه‌گیری ممان اینرسی برای قسمت الاستیک، نسبت نیرو به تغییر مکان را به دست آورید. سپس، با استفاده از مقدار به‌دست‌آمده از تئوری، مقدار سختی خمشی EI را محاسبه کنید
3. به کمک تئوری خمش پلاستیک (لولای پلاستیک) در تیرها و نتایج آزمایش، تنش تسلیم تیر را بدست آورید.
4. بار نهایی را برای تیر از طریق تئوری محاسبه نموده و با نتیجه آزمایش مقایسه کنید .

بحث و تحقیق

مباحث مربوط به خمش پلاستیک تیرها و لولای پلاستیک و بار نهایی (کولپس) را بطور مشروح و با ذکر منابع در گزارش کار این آزمایش بیاورید و مزایا و معایب استفاده از بار کولپس را برای بار تسلیم بیان کنید.