مؤسسه آموزش عالی جاوید

غیردولتی - غیرانتفاعی

گزارش کار

آزمایشگاه مقاومت مصالح2

تهیه کننده: کاوه افتخاری

استاد :مهندس احمدامیری

پاییز1391

www.Jozve.org

فهرست مطالب

آزمایش کشش.....3
آزمایش ضربه شارپی.....10
آزمایش برینل.....14
آزمایش خمش.....18
آزمایش پیچش.....32
آزمایش کمانش.....36

www.Jozve.org

آزمایش کشش

1- تئوری آزمایش :

هدف در این اینست که با اعمال کشش بر روی میلگرد وبه دست آوردن تنش وارده در هر لحظه و همچنین بدست آوردن کرنش ایجاد شده ناشی از افزایش طول میلگرد نمودار تنش کرنش را ترسیم کرده و نقاط مهم بر روی آن مانند نقطه تسلیم (fy) و نقطه گسیختگی (fu) را ترسیم کرد.

دیدن این آزمایش از نزدیک خود به تنهایی دارای ارزش و اهمیت زیادی است زیرا همانطور که استاد فرمودند ممکن است حتی در طول عمر فرصت مجدد روئیت این ازمایش از نزدیک را نداشته باشیم.

وقتی قطعه ای مانند یک میلگرد تحت کشش قرار می گیرد ابتدا به نسبت نیروی اعمال شده بر سطح مقطع جسم ، قطعه افزایش طول دارد.

این مرحله را مرحله خطی در نمودار تنش کرنش گویند. زیرا شیب خط نمودار به صورت تقریبا خطی است. انتهای این مرحله ، ابتدای مرحله تسلیم است ، مرحله ای که قطعه بدون اعمال بار بیشتر شروع به افزایش طول میکند ، این مرحله را اصطلاحا مرحله پلاستیک هم گویند.پس از ان قطعه وارد مرحله سخت شدگی مجدد می شود ، اوج منحنی این مرحله ماکزیمم تنشی است که می توان به این قطعه وارد نمود زیرا پس از آن قطعه گسیخته می شود و با شیب 45 درجه بریده می شود .

برش 45 درجه ای میلگرد هنگام گسیختگی بیان گر آنیست که برش در صفحه ای از اِلمام قطعه صورت می پذیرد که در آن اِلمان تنش برشی به حداکثر خود برسد این مورد در صفحات بعدی تشریح می گردد. اگرما در هر لحظه از آزمایش ، مقدار نیروی اعمال شده (P) و مقدار افزایش طول (ΔI) را بدانیم و با توجه به این مقطع قطعه را هم از قبل می دانیم ، می توانیم نمودار تنش – کرنش را با توجه به روابط زیر ترسیم نماییم.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad , \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{L_0}$$

کرنش طولی	ε		تنش کششی	σ
افزایش طول	Δl		نیرو	P
طول اولیه	L_0		مقطع جسم	A

www.Jozve.org

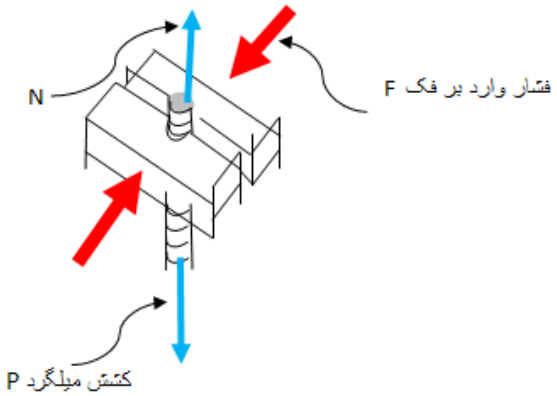
دستگاه کشش با نام تجاری BASMAK ساخت کشور آلمان و مونتاژ ترکیه هست که با سیستم هیدرولیک نیروی لازم را تولید می کند. میلگرد مورد آزمایش توسط فکهای بالا و پایین دستگاه مهار می شود ، سپس با ثابت ماندن فک بالا و حرکت بسیار کند فک پایین ناشی از فشار هیدرولیک ، میلگرد کشیده می شود.

دستگاه آزمایش از طریق رابط الکترونیکی به رایانه متصل است تا اطلاعات آزمایش را برای تحلیل و ترسیم نمودار تنش و کرنش به رایانه منطقل نمایید.

مقادیر نیرو اعمال شده به میلگرد و کشش انجام پذیرفته را می توان در هر لحظه توسط نمایشگر رایانه متصل شده به دستگاه پی گیری کرد.

علاوه بر نمایش دیجیتالی اطلاعات می توان به صورت چشمی و با درصد خطا مقدار کشش را مشاهده کرد . برای این کار در کنار بازوی سمت راست دستگاه با یک نشانگر مکانیکی و صفحه و درج خط کش مانندی هست که می توان از طریق آن مقدار کشش انجام شده را دید.

نقطه جالب در مورد شیوه نگهداری میلگرد در هنگام آزمایش توسط این دستگاه ، مقدار فشاری است که دستگاه برای در نرفتن میلگرد به آن وارد می کند.مقدلر فشار باید طوری باشد که با توجه به ظریب اصطحکاک بین میلگرد و فک نگه دارنده میلگرد در جای خود محفوظ بماند. می دانیم که نیروی کشش میلگرد باید توسط نیروی عکس العمل فک ها کنرل و خنثی گردد و این نیروی عکس العمل برابر است با ضرب نیروی فشاری فک ها در ضریب اصطحکاک بین فک و میلگرد.



$$\sum fy = 0 \rightarrow N = P$$

$$N = \mu \times F \rightarrow F = \frac{P}{\mu}$$

با توجه به فرمول فوق و این که همواره ضریب اصطحکاک μ از یک کوچک تر است ، می توان نتیجه گرفت که نیروی افقی وارد بر فک ها از نیروی کشش میلگرد بیشتر است. مثلا اگر μ برابر 2% باشد نیروی فک ها پنج برابر نیروی کشش میلگرد است .

www.Jozve.org

2-شرح آزمایش :

در این آزمایش یک قطعه میلگرد 16 آجدار آز نوع AII به طول اولیه 80 سانتیمتر انتخاب شده این میلگرد در درون دستگاه کشش قرار گرفته و توسط فک های بالا و پاین مهار شد.

عدد نشانگر مکانیکی افزایش طول مقدار اولیه 51 را نشان میداد ، مه آنرا تثبیت کردیم. مقدار خود این عدد مهم نیست بلکه مقدار تغییرات آن اهمیت دارد که نشانگر افزایش طول میلگرد یا همان $\Delta 1$ هست.

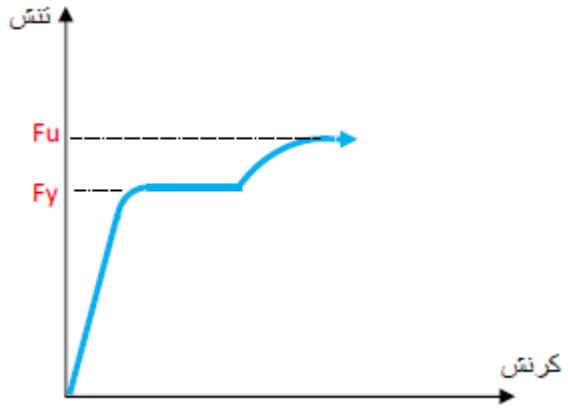
آزمایش را شروع کردیم. در هر لحظه شاهد تغییرات منحنی تنش – کرنش بر روی نمایشگر رایانه بودیم. می توان این تغییرات را به 4 مرحله تقسیم کرد :

الف) در این مرحله نسبت کرنش به تنش یک نسبت تقریباً ثابت و منحنی آن به صورت تقریباً خطی است. این مرحله را الاستیک گویند. زیرا فولاد در منطقه ارتجاعی است و با برداشتن بار به شکل اولیه خود باز می گردد.

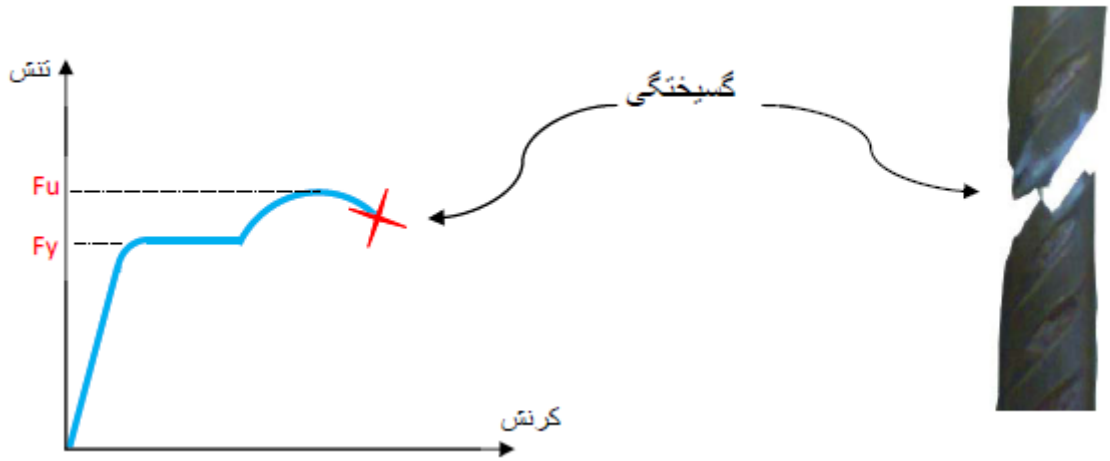
ب) در این مرحله فولاد به نقطه تسلیم (F_y) رسیده و وارد منطقه الاستیک می شود. اگر در این مرحله بار برداری شود فولاد کمی افزایش طول بدست آورده را از دست می دهد اما هر گز به حالت اولیه خود بر نمی گردد. در این مرحله بدون افزایش تنش شاهد افزایش کرنش هستیم.(قطعه تسلیم شده)

www.Jozve.org

ج) پس از مرحله دوم یا مرحله پلاستیک ،قطعه مجدد شروع به مقاومت می کند به این مرحله ، مرحله سخت شدگی مجدد می گویند. در واقع فولاد آخرین مقاومت هایش را برای عدم گسیختگی در این مرحله انجام میدهد ، به طوری که حداکثر مقاومتی فولاد را در این مرحله شاهد هستیم (F_u)



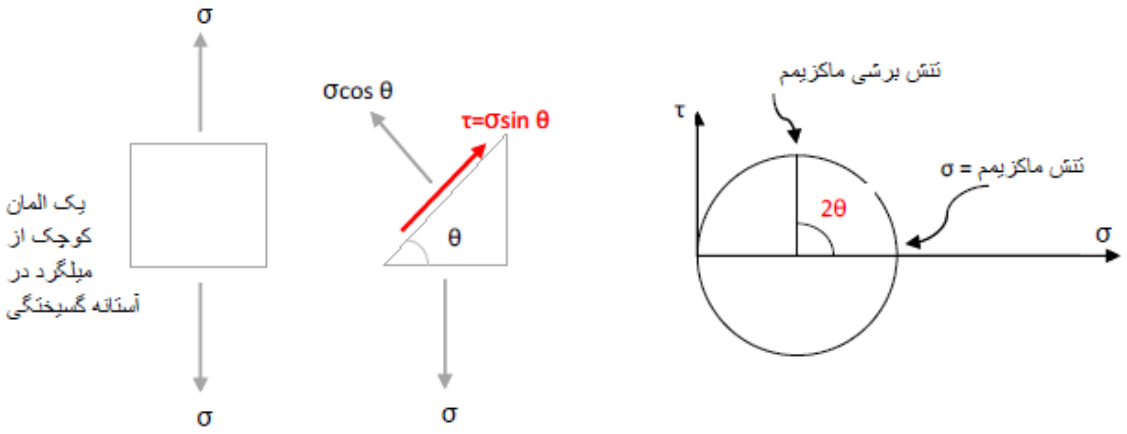
د) قطعه پس از عبور از نقطه مقاومت نهایی خود (F_u) وارد مرحله گسیختگی می شود. در این مرحله ابتا ما شاهد افزایش کرنش حتی با کاهش تنش هستیم (یعنی فولاد شروع به وا رفتن می کند) و عمل گسیختگی به صورت ناگهانی رخ می دهد. و اصلاحاً فولاد می ترکد.



www.Jozve.org

هنگام گسیختگی ، قطعه فولادی مورد آزمایش تحت زاویه 45 درجه گسسته شد. وضوح این امر را می توان در تصویر زیر مشاهد کرد.

چرایی گسیختگی در زاویه 45 درجه به خاطر این است که نیرو های برشی سبب گسیخته شدن فولاد می گردد و این نیرو ها در وضعیتی که ما فقط دارای نیروی کششی هستیم در زاویه 45 به ماکزیمم خود می رسد به بیان دیگر اگر یک اِلمان گوچک از فولاد تحت کشش را جدا کرده و برسی نمایم و یا نمودار دایره موهر آنرا ترسیم کنیم مشاهده می کنیم که تحت زاویه 45 بیشترین مقدار تنش برشی وجود دارد.



$$2\theta = 90 \rightarrow \theta = 45^{\circ}$$

پس در زاویه 45 درجه بیشترین تنش برشی حاصل می شود ودر همان زاویه قطعه گسیخته می شود.

www.Jozve.org

3- نتیجه آزمایش :

قطعه مورد آزمایش میلگرد آجدار نمره 16 و از جنس AII بوده . طول اولیه آن 80 سانتیمتر و عدد نشانگر مکانیکی دستگاه مقدار 51 نشان می داد. پس ار آزمایش این مقدار 63 رش نشان می داد یعنی $\Delta 1$ برابر تقریباً 12 سانتیمتر خواهد بود.

سطح مقطع میلگرد 16 طبق جدول اشتعال برابر است با 2 سانتیمتر مربع.

در طول آزمایش ، نمایشگر پیوسته در حال ترسیم نموده آز منحنی تنش – کرنش بود و در نهایت با شکست فولاد آزمایش به انجام رسید. در این لحظه نیروی کششی برابر 12/5 تن بود. و مقدار دقیق $\Delta 1$ برابر 122/37میلیمتر در نتیجه مقادیر تنش و کرنش در لحظه گسشختگی در برابر زیر است.

$$\delta_{max} = \frac{P}{A} \rightarrow \delta = \frac{12500\,kg}{2\,cm^2} = 6250\,{}^{kg}/_{cm^2}$$

$$\tau_{max} = \frac{6250 \times sin45}{2 \times sin45} = \frac{6250}{2} = 3125\,{}^{kg}/_{cm^2}$$

$$\varepsilon_{max} = \frac{\Delta l}{L} = \frac{12.237}{80} = 0.1529 \text{ بدون واحد}$$

www.Jozve.org

دستگاه تست کشش یونیورسال

www.Jozve.org

آزمايش ضربه شارپي

هدف از انجام آزمايش ضربه،ارزيابي ميزان انرژي جذب شده توسط فلزات است.

1.مقدمه

مصالح عموماً براي ساخت سازه هاي باربر به كار مي روند.يك مهندس طراح بايستي بداند كه آيا مصالح در شرايط مختلفي كه سازه تحت بهره برداري قرار مي گيرد دوام آورده و سالم مي مانند.عوامل مهمي بر طاقت (قابليت جذب انرژي) يك سازه اثر منفي مي گذارند.اين عوامل عبارتند از:دماي پايين محيط،بارگذاري اضافي و آهنگ سريع كرنش كه به واسطه فشار بيش از حد،ضربه و تمركز تنش در شكافها و تركها بوجود مي آيد.تمامي اين عوامل منجر به شكست مي شوند.برهم كنش اين عوامل مي تواند تا حدودي بوسيله تئوري شكست لحاظ شود.پيش از ارائه اين تئوري آزمايشاتي همچون آزمايش ضربه بوجود آمد.اين آزمايش روشي براي ارزيابي طاقت نسبي مصالح مهندسي است و معمولاً براي بررسي فلزات بكار مي رود.امروزه نيز اين آزمايش به عنوان يك روش اقتصادي كنترل كيفيت بكار مي رود.آزمايشات مشابهي نيز براي مواد پليمري،سراميك ها و آلياژها استفاده مي شود.در آزمايش ضربه ميزان انرژي جذب شده توسط يك قطعه شكافدار استاندارد در اثر ضربه اندازه گيري مي شود.

2.وسايل آزمايش

1.دستگاه آزمايش ضربه شارپي
2.گيره
3.اره
4.سوهان

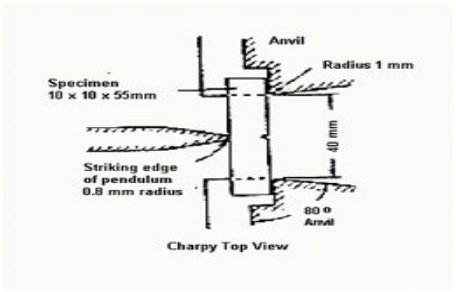
3.روش انجام آزمايش

نمونه اي راكه داراي يك شكاف در ميانه آن است بر روي دو تكيه گاه سندان دستگاه قرار مي دهيم.نمونه به گونه اي قرار داده مي شود كه وجه شكاف خورده پشت به محل ضربه باشد.نمونه توسط چكش يك پاندول سنگين كه از يك ارتفاع ثابت سقوط ميكند شكسته مي شود.مصالح سخت انرژي بيشتري جذب مي كنند و مصالح ترد انرژي كمتري جذب مي كنند.

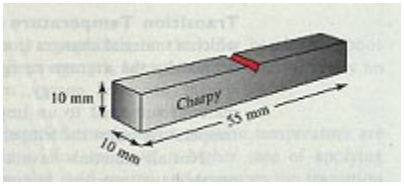
ابعاد نمونه آزمايش بايستي $55mm \times 10 \times 10$ بوده و عمق شيار ايجاد شده بايستي $2mm$ باشد.در اشكال صفحه بعد ابعاد نمونه و نحوه قرارگيري صحيح آن و چگونگي برخورد چكش نشان داده شده است.

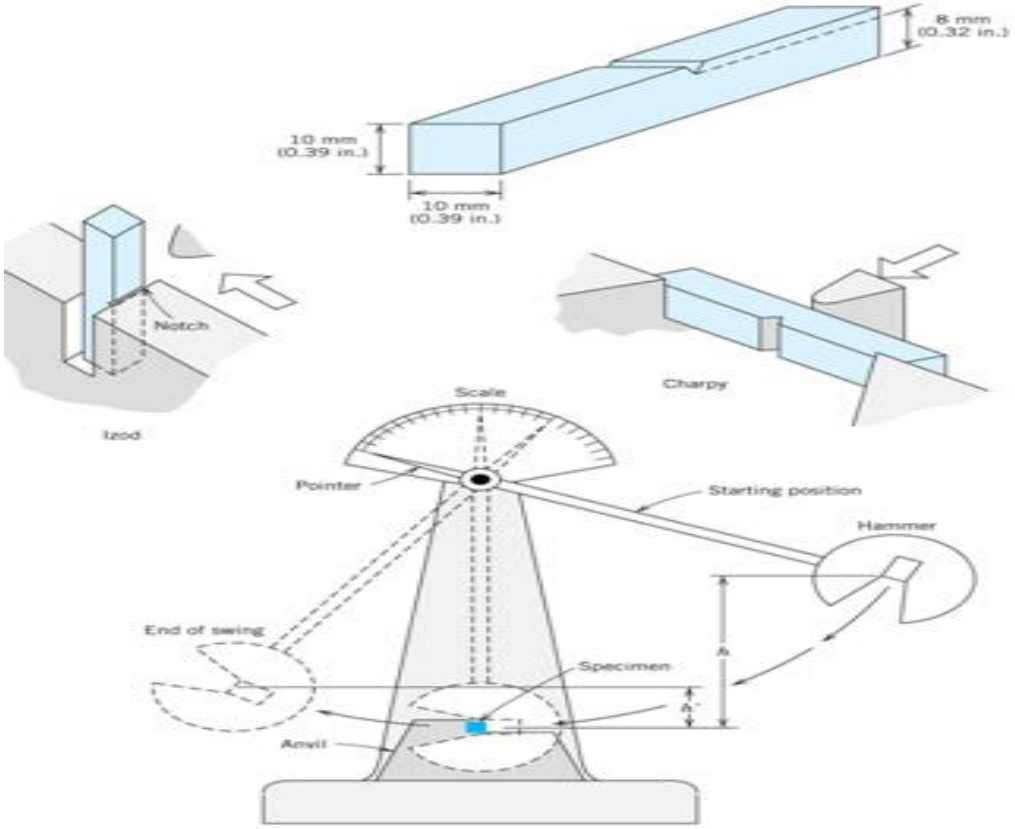
www.Jozve.org

نحوه قرارگیری نمونه



ابعاد نمونه





www.Jozve.org

در تصویر فوق تمام جزئیات آزمایش و مکانیسم شکست نشان داده شده است.طول بازوي پاندول $82cm$ و وزن چکش آن $19.5kg$ مي باشد.پاندول با زاويه $\alpha = 156^\circ$ نسبت به خط قائم بالا برده مي شود.

4.محاسبات

میزان انرژي جذب شده $= G.R.(\cos\beta - \cos\alpha)$

$$\begin{cases} G = 19.5kg \\ R = 82cm \\ \alpha = 156^\circ \end{cases}$$

مقاومت ضربه $= \dfrac{G.R.(\cos\beta - \cos\alpha)}{A}$

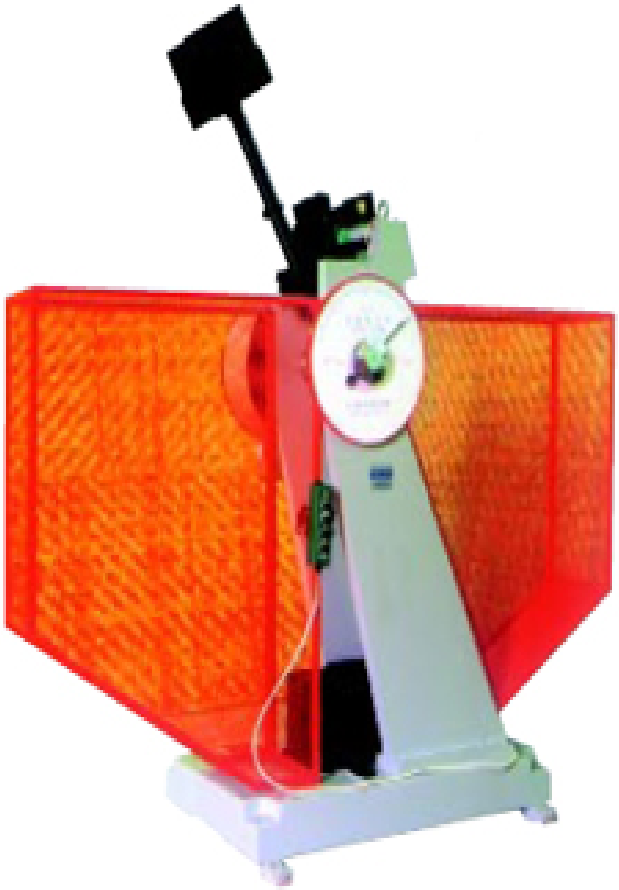
$A =$ سطح مقطع نمونه در محل شیار $= 0.8cm^2 = 8\times10^{-5}m^2$

شماره نمونه	β	میزان انرژي جذب شده $(kg.m)$	مقاومت ضربه kg/m
فولاد 1	100	11/80	147500
فولاد 2	99	12/10	151250
آلومینیوم 1	147	1/20	15000
آلومینیوم 2	147	1/20	15000
برنج 1	148	1/05	13125
برنج 2	149	0/90	11250

www.Jozve.org

دستگاه تست ضربه

1 تا Jازاین دستگاه ها برای سنجش میزان ضربه پذیری قطعات فلزی و غیرفلزی در ظرفیت های استفاده می گردد. همچنین این دستگاه ها شامل سیستم کنترلی کامپیوتری یا آنالوگ وگارد 1800J محافظ می باشند. با توجه به اینکه مشخصات فیزیکی نمونه در دقت نتیجه آزمایش بسیارتاثیرگذار است ، شکل را جهت آماده سازی نمونه توصیه می کنیم.با توجه به V یا Uاستفاده از دستگاه های ایجاد شیار اینکه برخی از آزمایش های تست ضربه در دمای پائین انجام می گیرد ، این شرکت ارائه دهنده انواع فریزرها نیز می باشد. این فریزرها قابلیت ایجاد سرمایش تا دمای 60- درجه سانتیگراد با دقت 1 درجه سانتیگراد در کمتر از 90 دقیقه را دارند



www.Jozve.org

آزمایش برینل

هدف از انجام آزمايش سختي برينل،مقايسه سختي فلزات است.

1.مقدمه

دكتر اي-جي-برينل آزمايش برينل را در سال 1900 در سوئد ابداع كرد.قديمي ترين روشي كه امروزه نيز براي تعيين سختي استفاده مي شود آزمايش برينل است.اين آزمايش بارها با نيروها و ساچمه هاي با قطرهاي مختلف انجام شده است و مي تواند براي تمام فلزات بكار رود.
در ايالات متحده آزمايش برينل نوعاً بر روي آهن و فولاد، با استفاده از نيروي 3000 كيلوگرمي و ساچمه اي به قطر 10 ميليمتر انجام مي شود.براي آزمايش بر روي آلومينيوم و ديگر آلياژهاي نرم از نيروي 500 كيلويي و ساچمه با قطر 10-5 ميليمتر استفاده مي شود.بنابراين محدوده تغييرات نيرويي آزمايش در آمريكا 3000-500 كيلوگرم و قطر ساچمه ها بين 10-5 ميليمتر است.در اروپا محدوده تغييرات نيرويي و قطر ساچمه ها وسيعتر است.در اروپا معمولاً آرمايش برينل بر روي قطعات كوچك و با استفاده از نيروي 1 كيلوگرمي و ساچمه 1 ميليمتري انجام مي شود.اين آزمايش به آزمايش برينل كمكي معروف است(Baby Brinell Test).
روشهاي انجام آزمايش برينل در استانداردهاي زير تعريف شده است:

ASTM E10-ISO 6506

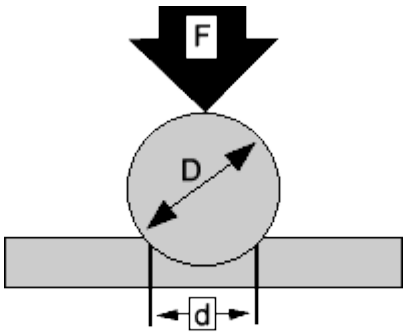
2.وسایل آزمایش

1-دستگاه آزمايش سختي برينل
2-ميكروسكوپ

3.روش انجام آزمایش

در تمام آزمايشات برينل از يك اهرم استفاده مي شود.روش آنجام آزمايش به شرح زير است:
1-اهرم اعمال بار با يك نيروي كنترل شده دقيق بر روي نمونه فشار مي آورد.
2- اعمال نيرو در يك زمان مشخص-15-10 ثانيه-ادامه پيدا مي كند.
3-پس از طي اين زمان مشخص و ثابت اهرم برداشته مي شود.
4-قطر فرورفتگي(عرقچين) بوسيله چشم مسلح و به كمك ميكروسكوپ با قرائت دوعدد ابتدا و انتهاي فرورفتگي تعيين مي شود.
5-سختي برينل تابعي از نيروي آزمايش است كه بر سطح عرقچين تقسيم مي شود.سختي برينل براي فلزات بين 750-50 است.

www.Jozve.org



$$HB = \frac{2F}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$$

4.شرایط آزمایش

1- $\frac{1}{4}D < d < \frac{1}{2}D$

2-ضخامت نمونه مورد آزمایش حداقل ده برابر h (عمق نفوذ) باشد.

3-محل اثر ساچمه حداقل $2.5d$ از لبه مقطع دور باشد.

4-قطر گلوله با ضخامت نمونه مورد آزمایش تناسب داشته باشد.

قطر ساچمه(میلیمتر)	ضخامت نمونه(میلیمتر)
10	6
5 و 2/5	3.....6
1/25 و 0/625	3

5.محاسبات

سختي برينل $B.H.N = \frac{2P}{\pi.D\left[D - \left(D^2 - d^2\right)^{\frac{1}{2}}\right]}$

نيروي P معمولاً متناسب با مجذور قطر گلوله است.

$P = X.D^2$

نوع فلز	X
فولاد و چدن	30
آلياژهاي مس و آلومينيوم	10
مس و آلومينيوم خالص	5
سرب و قلع	1

www.Jozve.org

دستگاه آزمایش سختي برينل

www.Jozve.org

تـمـریـن

چهارقطعه باجنس مختلف به ضخامت10میلیمتر

HBمربوط به هرکدام از نمونه ها رابدست آوریدوباعددبرینل استانداردداده شده مقایسه کنید

F=1000

D=10mm

نمونه	D1	D2	D3	D4
قطرفرورفتگی	2mm	2.5mm	7.5mm	9.5mm
عدداستانداردبرینل	315	248	165	22.7
HB	318.48	199.04	18.84	9.26

$$HB = \frac{1000\times2}{3.14*10*(10-\sqrt{10^2})-2^2} = 318.48\ KLP$$

$$HB = \frac{1000*2}{3.14*10*(10-\sqrt{10^2})-2.5^2} = 199.04KLP$$

$$HB = \frac{1000*2}{3.14*10*(10-\sqrt{10^2})-7.5} = 18.84KLP$$

$$HB = \frac{1000*2}{3.14*10*(10-\sqrt{10^2})-9.5} = 9.26KLP$$

www.Jozve.org

خمش تیر (تغییر مکان)

1- شرح آزمایش

در این آزمایش قصد بر این است که مقدار تغییر مکن یک نقطه خاص از تیر به صورت عملی بدست آید.

برای انجام این آزمایش ابتدا وضعیت تیر مورد نظر را بر روی کاغذ می کشیم و سپس وضعیت تیر را روی دستگاه آزمایش پیاده می کنیم.

ابتدا لازم است تغییر مکان یک نقطه از تیر را به صورت تئوری و با توجه به درس مقاومت مصالح و تحلیل سازه که به یکی از چند روش زیر برای محاسبه خمش تیر وجود دارد ، انجام داد. البته نرم افزار دستگاه آزمایش این کار را انجام می دهد ، اما برای بالا بردن توانمندی و به فرمایش استاد ، این محاسبا ت انجام شده و در ادامه به ضمیمه است .

1_ روش لنگر سطح 3_روش انرژی

2_ روش تیر مزدوج 4_ روش بار واحد 5_ .....

سپس با وارد کردن اطلاعات تیر شامل طول ، ابعاد مقطع ، جنس تیر، مقدار بارهای وارده ، مکان بارهای وارده ، وضعیت تکیه گاه ها و در نهایت نقطه مورد نظر برای بررسی تغییر مکان به نرم افزار ، مقدار جابجایی نقطه مورد نظر را از لحاظ تئوری محاسبه می کند . که به آن Δ تئوری می گوییم . سپس با پیاده کردن وضعیت تیر مورد نظر برروی دستگاه ، مقدار عملی این تغییر مکان را محاسبه می کنیم ، به این مقدار به دست آمده از انجام آزمایش Δ عملی می گوییم.

بدیهی است که ممکن است اختلاف کو چکی در دو مقدار Δ تئوری و Δعملی وجود داشته باشد که علت آن می تواند مربوط به خطای انسانی در حین انجام آزمایش مثلا عدم دقت در محل بارگذاری ویا لرزش بار و ... باشد و همین طور ممکن است این خطا به دلیل شرایط محیطی و یا خطای دستگاهی باشد . مقدار خطا از تفاضل انها حاصل می شود . و مقدار درصد خطا از تقسیم مقدار خطا بر Δ تئوری بدست می آید .

پارامتر EI که بیانگر جنس (مدول الاستیسیته) تیر و ممان اینرسی مقطع تیر است در این آزمایش از اهمیت بسیار بر خوردار است.

www.Jozve.org

2_شرح دستگاه :

برای این ازمایش از دستگاه آزمایش TQ ساخت کشور انگلستان استفاده می کنیم .

1_ این دستگاه داری یک صفحه زمینه است که بر روی آن اندازه گذاری شده تا بهتر بتوان محل تکیه گاهها و بارها را تعریف و پیاده کرد . همچنین بر روی این صفحه یک گیج برای اندازه گیری یک نقطه از تیر از لحاظ خمش و تغییر مکان است .

2_ نوع تکیه گاهها می تواند گیر دار یا مفصلی باشد و همینطور با ر وارده را می توان کم یا زیاد کرد و در طول تیر جابجا کرد .

3_ صفحه سفید رنگی حاوی اطلاعات اندازه گذاری می باشد.

4_ گیج اندازه گیری مقدار خیز عملی تیر.

5_ نوع تکیه گاهها بستگی به طراحی سازه دارد.

این دستگاه به وسیله گیج و یک قطعه ای الکترونیکی که در زیر دستگاه است با کامپیوتر در ارتباط است ، تا اطلاعات حاصل از انجام ازمایش را برای ارائه خروجی به نرم افزار انتقال می دهد.

بارهای وارده بر تیر به وسیله حلقه های ده گرم تامین می شود . در این ازمایش ما برای ایجاد بارهای 300گرمی از 30 حلقه در محل اثر بار استفاده کردیم .

در این آزمایش برای این که روند ازمایش خیلی ابتدایی و ساده نباشد و از لحاظ تحلیلی دارای ارزش بیشتر شود تیر را یک درجه نا معین قرار دادیم .یعنی یک سرتیر که تکیه گاه گیردار بود (سمت چپ) ، در قسمت دیگر تیر یک تکیه گاه مفصلی قرار دادیم .

3_حل تئوری تیر

این ازمایش دو در آزمایشگاه مقاومت مصالح دو بار انجام شد . که هر دو حالت با ترسیم شکل و جزئیات حل میگردد . در هر دو آزمایش تیر یک درجه نامعین است ، یک سر گیردار و دارای یک

www.Jozve.org

تکیه گاه مفصلی اضافه . برای حل این تیرها و بدست اوردن Δ تئوری در محل مورد نظر از روش لنگر سطح استفاده شده است .

دستگاه حاوی سه نوع (جنس)تیر است :

جنس تیر	مدول الاستیسیته E
برنج	۱۰۵ GPa
آلومینیوم	۶۹ GPa
فولاد	۲۰۷ GPa

در هر دو آزمایش انجام شده از تیر با جنس فولاد استفاده شد.

پس :

$$E = 207\ GPa = 207000\ MPa = 207000\ {}^{N}/_{mm^2}$$

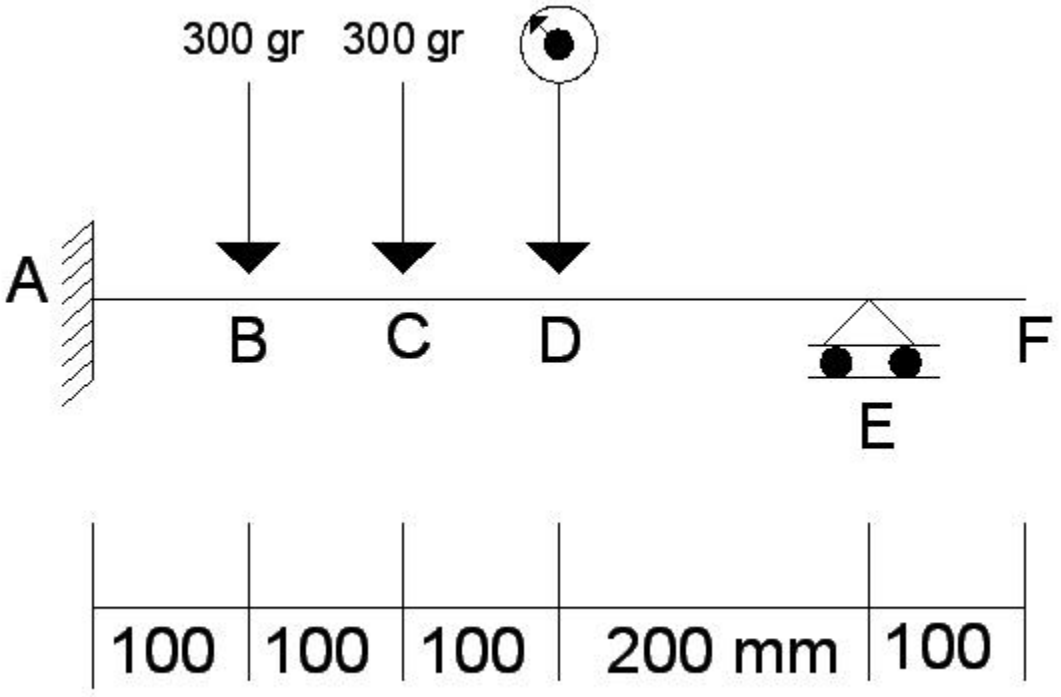
سطح مقطع تیر مورد استفاده ، مربع مستطیل و دارای ابعاد 19 در 1.3 میلیمتر مربع می باشد.

پس:

$$I = \frac{19 \times 3.1^3}{12} = 47.169\ mm^4$$

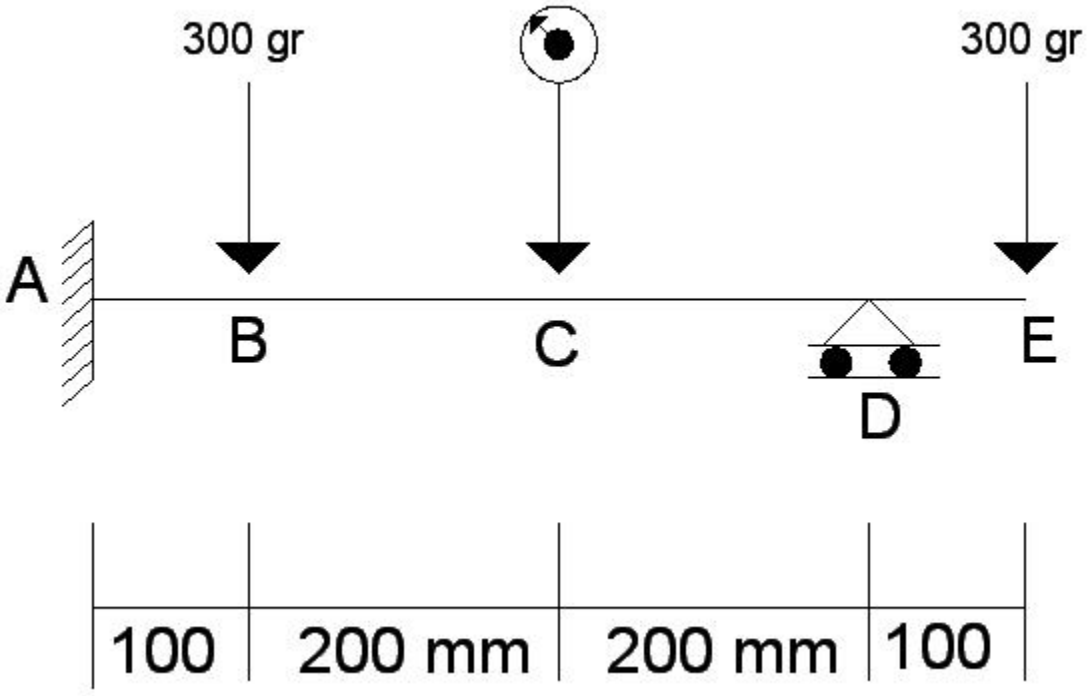
www.Jozve.org

الف :شکل آزمایش اول بدست آوردن خیز تیر در نقطه D است .



www.Jozve.org

ب: شکل آزمایش دوم . هدف بدست اوردن خیز تیر در نقطه c است .

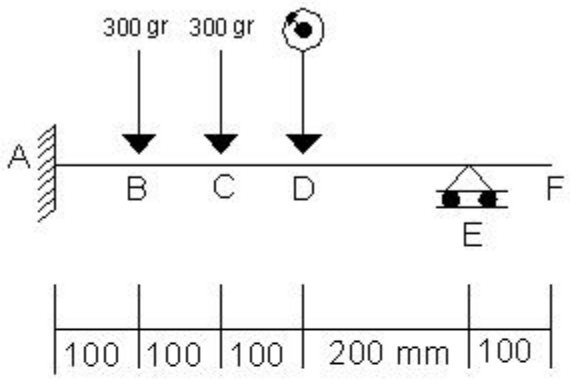


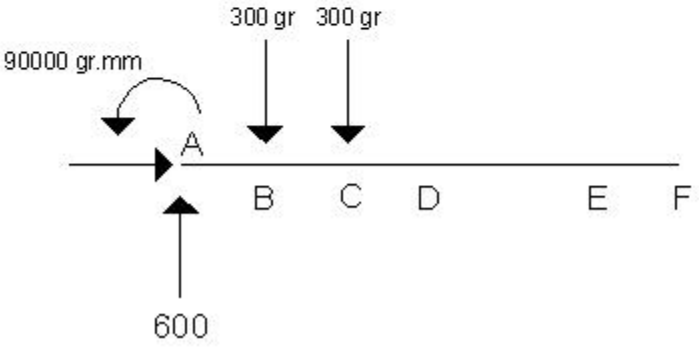
www.Jozve.org

3_1) حل تئوری آزمایش اول :

1_ چون تیر نامعین است ، ابتدا عکس العمل E را حذف می کنیم ،تیر را تحلیل می کنیم :

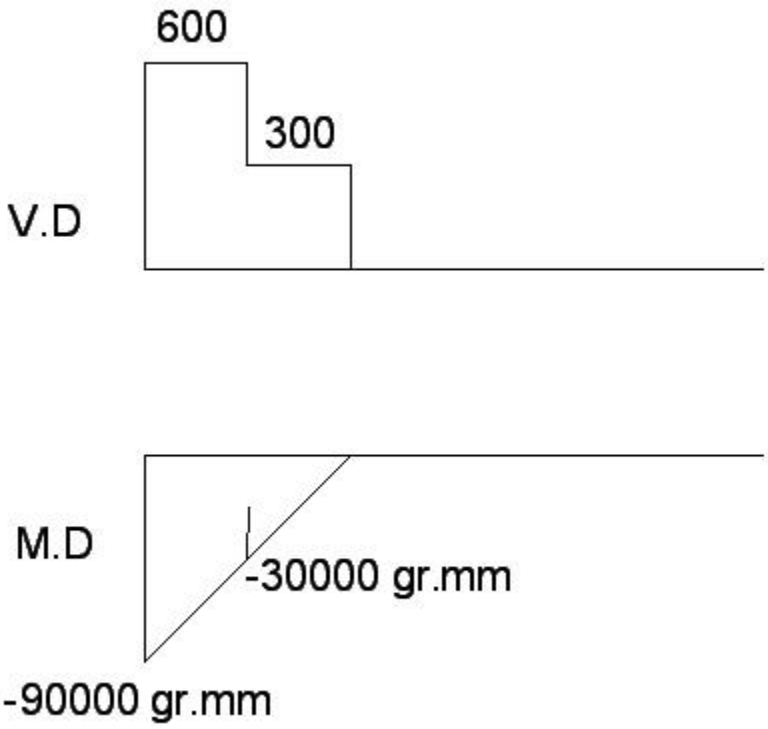
$$\sum F_y = 0 \rightarrow A_y = 600\ gr \qquad \sum M_A = 0 \rightarrow M_A = 90000\ gr.mm$$





www.Jozve.org

حال نمودار برش را ترسیم می کنیم و بر اساس آن نمودار خمش راهم ترسیم می کنیم .



عکس العمل تکیه گاه E از رابطه لنگر سطح داریم :

$$\delta_E - \delta_A = \delta_E - 0 = \int_A^E \frac{M.dx}{EI} = A.\bar{x}\ \delta_E = \frac{4\times10^9}{EI} \quad \text{mm}$$

از طرفی برا ی جبران جابجایی محل تکیه گاه گاه داریم :

$$\Delta_E = \frac{P \times L^3}{3EI} = \frac{(500)^3 P}{3EI}$$

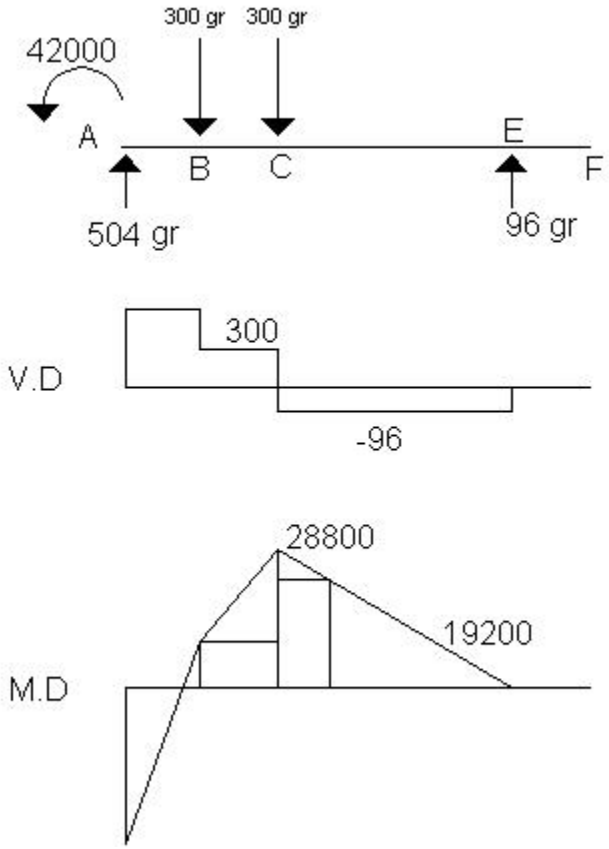
2_ از مساوی قرار دادن Δ وδعکس العمل تکیه گاه E بدست می آید و بر مبنای آن عکس العمل های تکیه گاه A بدست می آید .

$$\delta_E = \Delta_E \rightarrow \frac{4\times10^9}{EI} = \frac{P(500)^3}{3EI} \rightarrow P = RE_y = 96\ gr$$

$$\sum Fy = 0 \rightarrow RA_y = 504\ ,\sum MA = 0 \rightarrow MA = 42000$$

www.Jozve.org

3_ با توجه به حل تحلیل تیر و پیدا کردن عکس العمل نمودا برش را ترسیم می کنیم تا بر مبنای آن نمودار خمش را هم ترسیم کنیم .



با توجه به اینکه مقدار EI در طول تیر ثابت است می توان نتیجه گرفت که نمودار EI/M همانند نمودار خمش است با مقادیر متفاوت .

www.Jozve.org

جابجایی در نقطه D(نقطه مورد نظر) برابر است با :

$$\delta_D - \delta_A = \delta_D - 0 = \int_A^D \frac{M.dx}{EI} = A.\bar{x}$$

$$\delta_D = \left[\left(\frac{-42000\times 83.33}{2EI}\right)\times\left(216.87+\left(\frac{83.33\times 2}{3}\right)\right)\right]+\left[\left(\frac{16.87\times 8400}{2EI}\right)\times\left(200+\left(\frac{16.87}{3}\right)\right)\right]$$
$$+\left(\frac{8400\times 100\times 150}{EI}\right)+\left[\left(\frac{20400\times 100}{2EI}\right)\times\left(100+\left(\frac{100}{3}\right)\right)\right]+\left(\frac{19200\times 100\times 50}{EI}\right)$$
$$+\left[\left(\frac{9600\times 100}{2EI}\right)\times\left(\frac{2\times 100}{3}\right)\right]$$
$$=\frac{(-47672176.37+14768453.43+126\times 10^6+136\times 10^6+96\times 10^6+32\times 10^6)}{EI}$$

$$\delta_D = \left(\frac{357096277.1 \div 1000 \times 9.81}{47.169 \times 207000}\right) = 0.358\ mm$$

صورت کسر فوق را بر 1000 تقسیم کرده تا گرم به کیلو گرم تبدیل شود و در 9/81 ضرب کرده ایم تا کیلو گرم به نیوتن تبدیل شود .حال واحد طول را میلیمتر و واحد نیرو را نیوتن داریم .

نتیجه: با استفاده از روش لنگر سطح جابجائی (خیز) تیر در نقطه D برابر است با :0/358 میلیمتر ممکن است جواب ما کمی با واقعیت متفاوت باشد که به علت گرد کردن اعداد کمتر از یک است.

مقدار تئوری خیز تیر فوق در آزمایشگاه توسط کامپیوتر 0/35 میلیمتر تشخیص داده شده بود.

3-2) حل تئوری تیر آزمایش دوم :

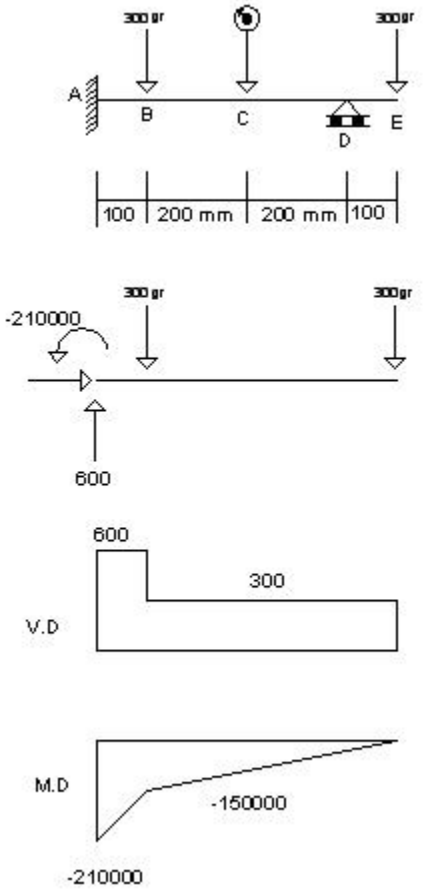
در این حالت یکی از بارها را به انتهای تیر جابجا کردیم .

1- همانند حالت قبل با حذف D عمل می کنیم :

$$\sum F_y = 0 \rightarrow A_y = 600\ gr$$
$$\sum M_A = 0 \rightarrow M_A = 210000\ gr.mm$$

www.Jozve.org

حال نمودار برش را ترسیم می کنیم و بر اساس آن نمودار خمش را هم رسم می کنیم.



عکس العمل تکیه گاه D از رابطه لنگر سطح داریم :

$$\delta_D - \delta_A = \delta_D - 0 = \int_A^D \frac{M.dx}{EI} = A.\bar{x}$$

$$\delta_D = \frac{1.695\times10^{10}}{EI} \quad mm$$

چون محل D تکیه گاه است و جابجایی ندارد ، برای جبران جابجایی محل تکیه گاه داریم :

$$\Delta_D = \frac{P \times L^3}{3EI} = \frac{(500)^3 P}{3EI}$$

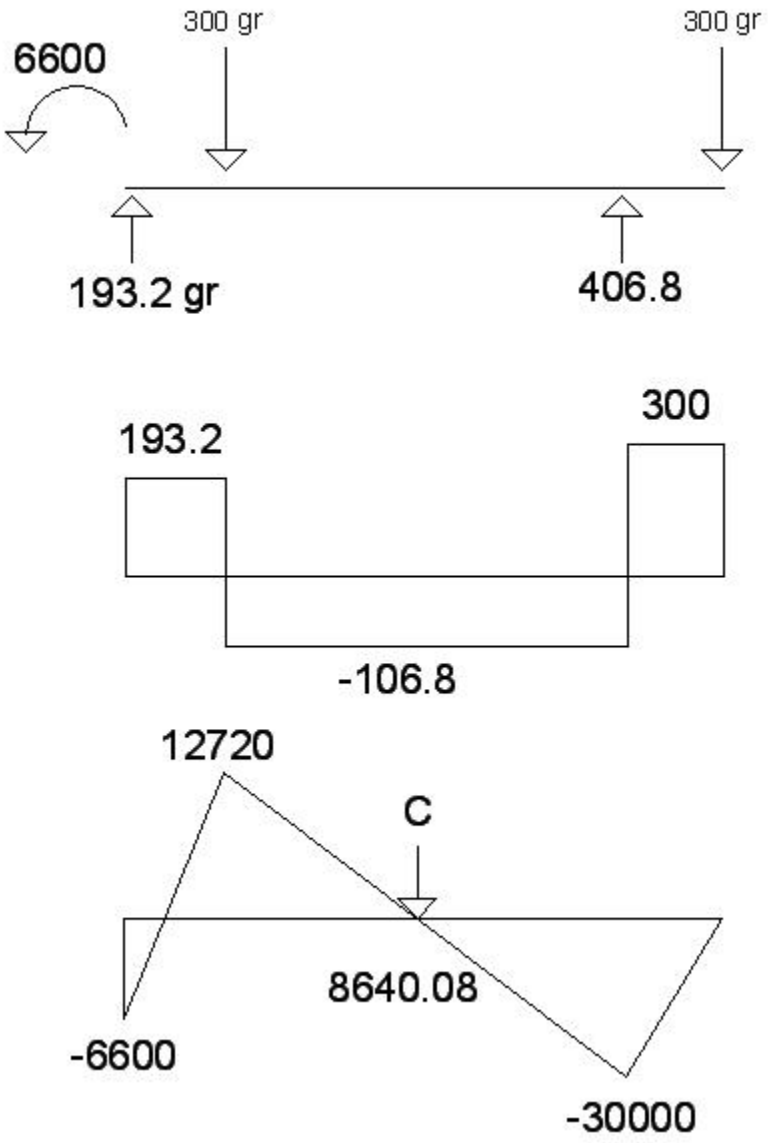
www.Jozve.org

2- از مساوی قرار دادن Δ و δ عکس العمل تکیه گاه D بدست می آید و بر مبنای آن عکس العمل های تکیه گاه A بدست می آید.

$$\delta_D = \Delta_D \rightarrow \frac{1.695\times10^{10}}{EI} = \frac{P(500)^3}{3EI} \rightarrow P = RD_y = 406.8\ gr$$

$$\sum Fy = 0 \rightarrow RA_y = 193.2\ ,\sum MA = 0 \rightarrow MA = 6600$$

3_ با توجه به حل تحلیلی تیر و پیدا کردن عکس العمل ها نمودار برش را ترسیم می کنیم تا بر مبنای آن نمودار خمش را هم ترسیم کنیم .



www.Jozve.org

با توجه به اینکه مقدارEI در طول تیر ثابت است می توان نتیجه گرفت که نمودار EI/M همانند نمودار خمش است با مقادیر متفاوت.

جابجائی در نقطه C (نقطه مورد نظر) برابر است با :

$$\delta_C - \delta_A = \delta_C - 0 = \int_A^C \frac{M.dx}{EI} = A.\bar{x}$$

$$\delta_c = \left[\left(\frac{-6600\times 34.19}{2EI}\right)\times\left(256.84+\left(\frac{34.19\times 2}{3}\right)\right)\right]+\left[\left(\frac{12720\times 65.84}{2EI}\right)\times\left(200+\left(\frac{65.84}{3}\right)\right)\right]$$
$$+\left[\left(\frac{12720\times 119.1}{2EI}\right)\times\left(80.9+\left(\frac{119.1\times 2}{3}\right)\right)\right]-\left[\left(\frac{80.9\times 8640.08}{2EI}\right)\times\left(\frac{80.9}{3}\right)\right]$$
$$=\frac{(-31550190.1+92938479.87+121423402.8-9424613.664)}{EI}$$

$$\delta_C = \left(\frac{173387078.9 \div 1000 \times 9.81}{47.169 \times 207000}\right) = 0.174\,mm$$

همانند حل تیر شماره یک در این حل هم صورت کسر فوق را بر 1000 تقسیم کرده ایم تا گرم به کیلو گرم تبدیل شود و در 9/81 ضرب کرده ایم تا کیلو گرم به نیوتن تبدیل شو د .حال واحد طول را میلیمتر و واحد نیرو را نیوتن داریم .

نتیجه : با استفاده از روش لنگر جابجائی (خیز) تیر در نقطه C برابر است با :0/174 میلیمتر ممکن است جواب ما کمی با واقعیت متفاوت باشد که به علت گرد کردن اعداد کمتر از یک است.

مقدار تئوری خیز تیر فوق در آزمایشگاه توسط کامپیوتر تشخیص داده شده بود.

4_مقایسه تغییر مکان تئوری و عملی در محاسبه خطا:

در آزمایشگاه دو آزمایش خیز تیر انجام شد ، و در کدام جداگانه دستگاه آزمایش TQ یک مقدار برای اندازه جابجایی تئوریک را محاسبه کرد.

www.Jozve.org

دانشجویان هم موظف به محاسبات تئوری این مقدار بودند ، که در این گزارشکار از روش لنگر سطح استفاده شد .مقادیر محاسبه شده و بدست آمده از آزمایش در جدول زیر بیان شده است .

شماره آزمایش	δعملی	Δ تئوری رایانه	Δ تئوری محاسبه دستی
1	**0/40 میلیمتر**	0/35 میلیمتر	0/358میلیمتر
2	0/17 میلیمتر	0/16میلیمتر	0/174 میلیمتر

همانگونه که مشاهده می شود در هر دو آزمایش مقدارδ عملی بیشتر از Δ تئوری بدست آمده است .

به علت نزدیک بودن نتایج Δ تئوری حاصل از از محاسبه دستی به روش لنگر سطح می توان نتیجه گرفت که محاسبات دستی درست انجام شده اند . این مقدار تفاوت به علت گرد کردن اعداد کمتر از یک می باشد.

درصد اختلاف Δ تئوری بدست آمده از رایانه و Δ تئوری حاصل از محاسبات دستی برابر جدول زیر است .

$$\text{درصد اختلاف} = \frac{\Delta\text{تئوری حاصل از نرافزار} - \Delta\text{ تئوری حاصل از محاسبات دستی}}{\Delta\text{ تئوری حاصل از محاسبات دستی}} \times 100$$

شماره آزمایش	Δتئوری نرم افزار	Δتئوری محاسبه دستی	درصداختلاف
1	**0/35**	**0/358**	**% 2/23**
2	**0/16**	**0/174**	**% 8/04**

مقایسه بین نتایج حاصل از آزمایش به صورت عملی و نتیجه تئوری طبق فرمول زیر تعریف شده و در جدول نشان داده می شود .

$$\text{درصد اختلاف} = \frac{\Delta\text{ تئوری حاصل از نرم افزار} - \boldsymbol{\delta}\text{ عملی حاصل از آزمایش}}{\boldsymbol{\delta}\text{ عملی حاصل از آزمایش}} \times 100$$

www.Jozve.org

شماره آزمایش	Δتئوری نرم افزار	δعملی حاصل از آزمایش	درصداختلاف
1	0/35	0/40	% 12/5
2	0/16	0/17	% 5/88

خطاهای ممکن:

1- خطا ی دستگاه الکترونیکی (رابط دستگاه و کامپیوتر)
2- خطای اعمال دقیق محل اعمال بار
3- خطای ناشی از جنس میله
4- خطای گیج اندازه گیری تغییر مکان
5- تکان خوردن آویز وزنه ها (نوسان)
6- خطای شرایط محیطی (احتمال خیلی کم)

www.Jozve.org

تمرین

یک میله ازجنس خاص راسه مرحله با سه میزان بار مختلف5و10و15راتحت آزمایش خمش قرارمیدهیم درهر سه مرحله طول و عرض ثابت است میانگین مدول ارتجاعی را برای این میله محاسبه نماییدطول میله50سانتیمتراست

باروسط	خیز(cm)	میانگینE	max
5	1.45	0.20	0.41
10	2.84	0.25	1.041
15	5.08	2.95	0.01

مشخصات مقطع طول

L=50cm

B=2.5cm

H=6mm

$$\frac{\Delta}{max} = \frac{PL^3}{48EI} \rightarrow I = \frac{BH^3}{12}$$

$$\mathrm{I} = \frac{2.5 * 0.6}{12} = 0.045$$

$$1.45 = \frac{5 * 0.5^3}{48 * E * 0.045} = 0.199 \cong 0.20$$

$$\mathrm{MAX} = \frac{\mathrm{PL}}{4S} = \frac{0.5 * 0.5}{4 * 0.15} = 0.41$$

$$2.84 = \frac{10 * 0.025^3}{48 * 0.045} = 0.25$$

$$\mathrm{MAX} = \frac{0.025 * 0.025}{4 * 0.15} = 1.041$$

$$5.08 = \frac{15 * 0.06^3}{48 * 0.045} = 2.95$$

$$\mathrm{MAX} = \frac{0.06 * 0.06}{48 * 0.045} = 0.01$$

www.Jozve.org

تست پیچش

عنوان : محاسبة ضريب ارتجاعي برش

اعضايي كه تحت پيچش قرار مي گيرند در كارهاي مهندسي زياد به چشم مي خورند . در اين آزمايش عضوي را كه تحت پيچش قرار دارد مورد بحث و بررسي قرار مي گيرد . اين پيچش در اثر اعمال يك گشتاور يا كوپل روي عضو صورت مي گيرد . شفت مدوري را كه يك انتهايش به تكيه گاه ثابت محصول است در نظر بگيريد . اگر گشتاور (T) به انتهاي ديگر اين شفت يا ميله اعمال مي گردد . شفت پيچش خورده و انتهاي آزاد آن به اندازه ($\mathcal{P}$) مي چرخد اين زاويه را زاوية پيچش مي نامند . آزمايشات و مشاهدات انجام يافته نشان مي دهد كه در يك محور مشخص از گشتاور(T) زاوية پيچش ($\mathcal{P}$) باگشتاور متناسب است . همچنين زاوية ($\mathcal{P}$)با طول شفت نيز متناسب مي باشد . (زاوية پيچش)در ناحيه الاستيك كه از رابطة : $\mathcal{P}$=T.L/G.J بدست مي آيد .

معادلة فوق ما را به يك روش راحت براي تعيين مدول صلابت يا

www.Jozve.org

ضريب ارتجاعي بررشي يك مادة داده شده مجهز مي نمايد .
نمونه اي از اين ماده به شكل يك مفتول استوانه اي با قطر و طول معلوم در يك ماشين آزمايش پيچش سوار شده و گشتاور اعمال مي شود و مقادير زاوية پيچش ($\boldsymbol{\mathcal{P}}$) ثبت مي شود.

آزمایش زیربروی قطعه ای ازجنس مس باقطرهای 10mmو5mm صورت گرفته است

$$\tau = \frac{t.c}{j} \qquad \rho = \frac{t.l}{j.g}$$

t=گشتاور
C=شعاع
J=ممان اینرسی

ممان اینرسی دایره توپر

$$j = \frac{\pi}{2} c^4$$

دایره خالی

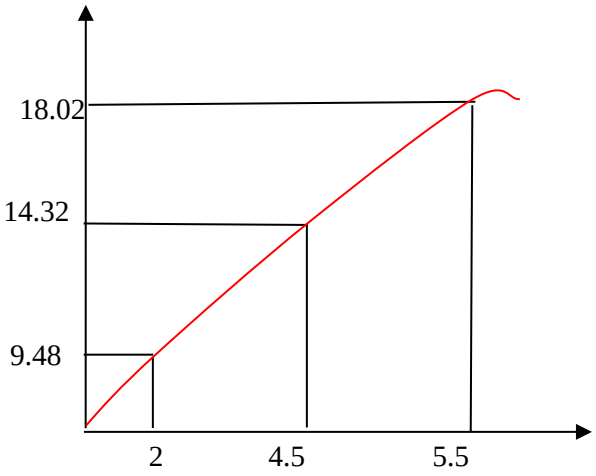
$$j = \frac{\pi}{2} \left(c^4 - c^4 \right)$$

$$\tau = \frac{1.9 \times 9.8 \times 10 \times 5 \times 10}{\frac{\pi}{2} \times 5^4} = 9.48\ mpa$$

$$\tau = \frac{1.9 \times 9.8 \times 15 \times 5 \times 10}{\frac{\pi}{2} \times 5^4} = 14.32\ mpa$$

www.Jozve.org

$$\tau = \frac{1.9 \times 9.8 \times 19 \times 5 \times 10}{\frac{\pi}{2} \times 5^4} = 18.02\ mpa$$



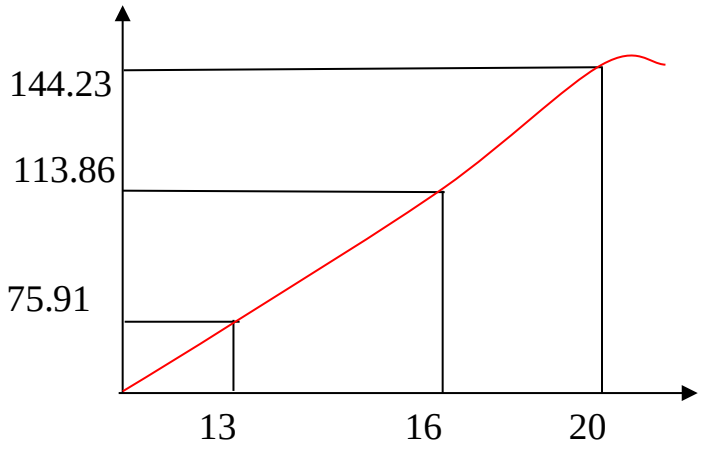
(نمودار زاویه پیچش برای مس باقطر10mm)

$$\tau = \frac{1.9 \times 9.8 \times 10 \times 2.5 \times 10}{\frac{\pi}{2} \times 2.5^4} = 75.91\ mpa$$

$$\tau = \frac{1.9 \times 9.8 \times 15 \times 2.5 \times 10}{\frac{\pi}{2} \times 2.5^4} = 113.86\ mpa$$

www.Jozve.org

$$\tau = \frac{1.9\times9.8\times19\times2.5\times10}{\frac{\pi}{2}\times2.5^4} = 144.23\ mpa$$



نمودار زاویه پیچش برای مس باقطر5mm)

www.Jozve.org

آزمایش کمانش

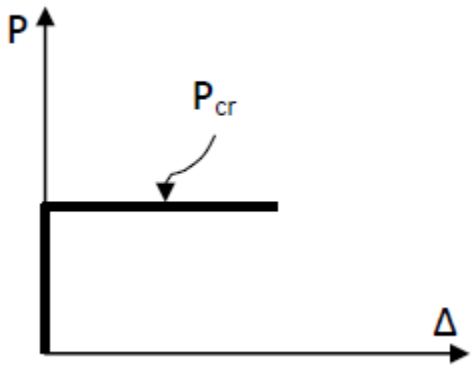
1-شرح آزمایش:

هدف در این آزمایش اینست که مقدار تغییر کمانش ستون بر اثر اعمال بار وارده به صورت عملی بدست آید .

وقتی به یک ستونه ، فشاری (بار) وارد شود ، در ابتدا ستون در مقابل این بار مقاومت می کندو با افزایش بار تا شرایطی که مقدار بار اعمال شده به ستون به مقدار P برسد ناگهان ستون دچار کمانش می شود . در این موقع ستون فشار بیشتر را تحمل نمی کند و هرچه بر مقدار بار بیافزاییم ،مقدار کمانش افزوده می گردد. نمودار زیر زیر بیانگر این

www.Jozve.org

است که ستون تاظرفیت P خود در مقابل کمانش مقاومت می کند و پس از آن افزایش بار منجر به افزایش کمانش می گردد.

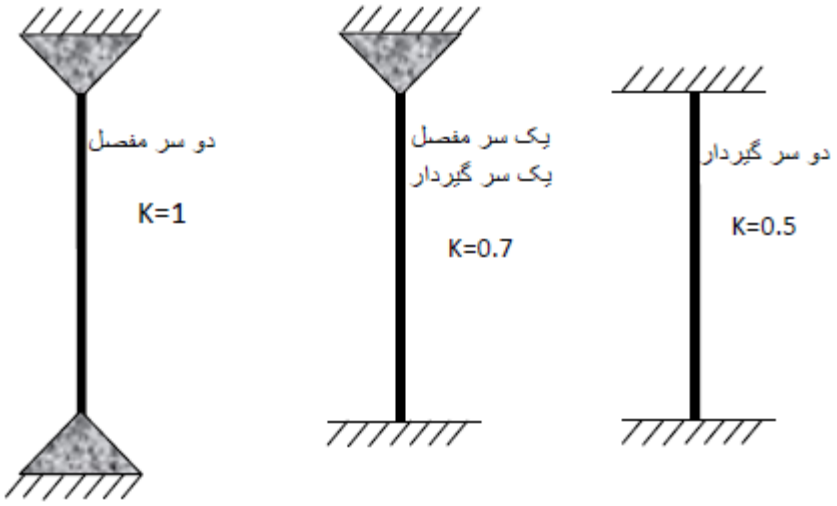


بدیهی است که مقاومت ستون در برابر بارهای کمتر از مقدار P موقعی موثر است که ستون کاملا صاف و در راستای محور خود باشد و بار هم مستقیم به محور ستون اعمال گردد . تحقق این امر در عمل این بسیار سخت و دور از ذهن است.زیرا نوع حمل و نقل قطعات فولادی ،مورد استفاده در صنعت ساختمانی می گردد . همین مساله باعث بروز کمانش هنگام در سازه می شود.

نوع اتصلات ستون از الحاظ گیرداری، مفصلی و یا آزاد بودن در شعاع کمانش موثر

www.Jozve.org

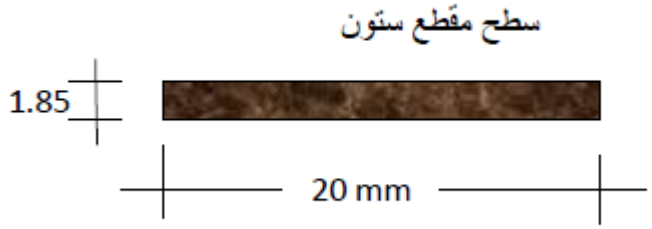
است ،که به آن ضریب K می گوییم .و مقدار آن به شکل زیر است:



در این آزمایش نوع ستون ،یک سر مفصل و یک سر گیردار در نظر گرفته شد .

تصاویر زیر نوع تکیه گاه ها را نشان می دهد.به توجه به نوع تکیه گاها ، مقدار K برابر 0.7 در نظر گرفته می شود.

مقطع ستون مورد آزمایش مربع مستطیل بوده و ابعاد برابر 20 در 1.85 میلیمتر مربع می باشد لذا ممان اینرسی مقطع در دو جهت Xو Y برابر مقادیر زیر است.



$$I_X = \frac{b\,h^3}{12} = \frac{20 \times (1.85)^3}{12} = 10.5527$$

به علت این که کمانش در جهت ظلعی از مقطع انجام می شود که کمتر باشد، مقدار I را که کمتر است در فرمول استفاده می کنیم.

www.Jozve.org

طول قطعه مورد آزمایش 320 میلی متر است که مقدار 20 میلی متر آن برای ایجاد اتصال گیردار مصرف شده است یعنی طول مفید ومورد نظربرای آزمایش میلیمتر شده است.

جنس ستون از آلومینیوم می باشد . و طبق اطلاعات آزمایش شماره 1(خمش تیر) مقدار مدول الاستیسیته آن برابر 69 گیگا پاسکال معادل 69000 نیوتن بر میلیمتر مربع است.

لازم است که در تمام پارامتر ها از یک واحد یا دستگاه استفاده کنیم . پس واحد طول را میلیمتر و بار رانیوتن بر میلیمتر مربع یا مگا پاسکال در نظر می گیریم.

لازم است مقدار کمانش ستون را به صورت تئوری وبا توجه به درس مقاومت مصالح و سازه های فولادی 2 انجام داد. البته نرم افزار دستگاه آزمایش این کار را انجام می دهد.

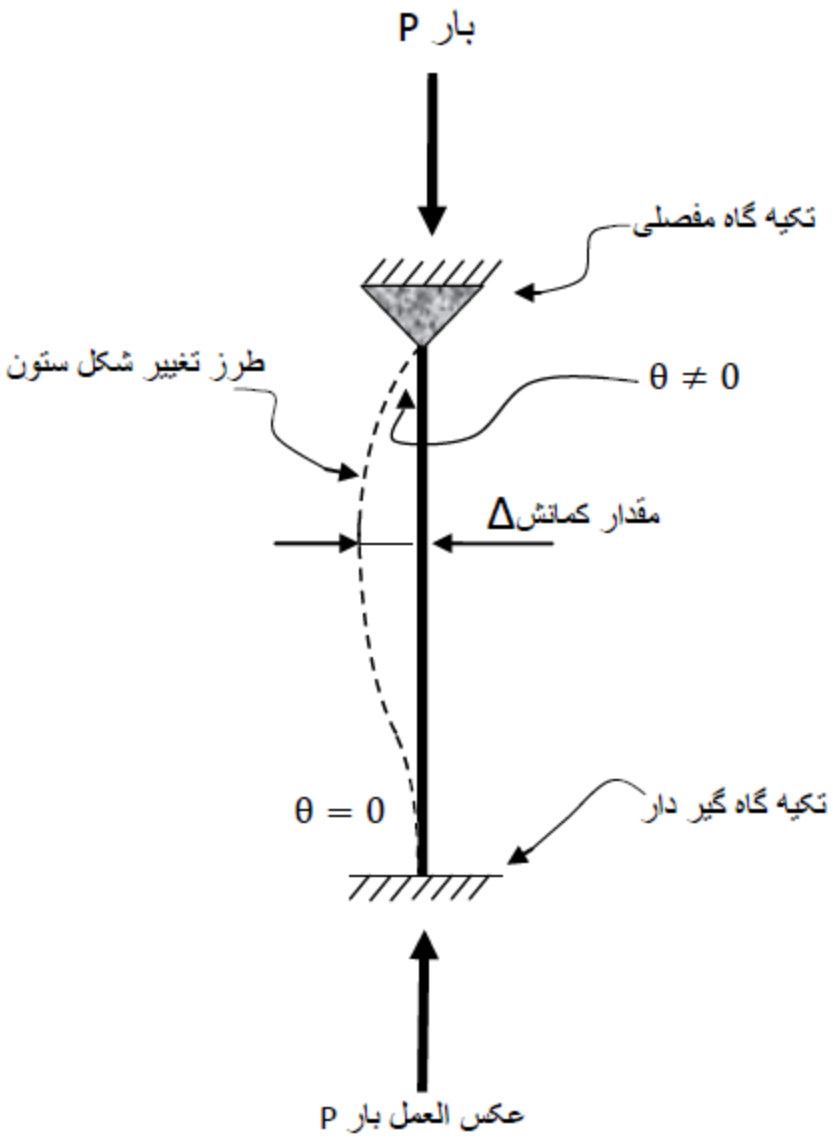
مقدار تئوری از رابطه زیر بدست می آید.

$$K = 0.7$$

$$P_{cr}\ \frac{\pi^2\ EI}{(K\ L)^2} = \frac{(3.14)^2 \times (69000) \times (10.5527)}{(0.7 \times 300)^2} = \frac{7182194.06}{44100} = 162.86$$

2-شکل آزمایش:

www.Jozve.org



همانطور که در تصویر شماتیک بالا دیده می شود، منحنی تغییر شکل سازه متقارن نیست و در قسمت گیردار زاویه انحناء صفر نخواهد بود.

تکیه گاه ها را آن جهت مفصلی و گیردار در نظر گرفتیم که شکل سازه به این نوع تکیه

گاه ها نزدیک بود.

3- شرح دستگاه:

www.Jozve.org

برای این آزمایش از دستگاه آزمایش TQ ساخت کشور انگلستان استفاده می کنیم .

این دستگاه دارای یک صفحه زمینه سفید رنگ است که بر روی آن اندازه گذاری شده تا بهتر بتوان مقدار کمانش ستون را مشاهده کرد .

این دستگاه برای ارتباط با رایانه به یک وسیله الکترونیکی که در زیر آن تعبیه شده است ،متصل است. همچنین دارای نشانگر الکترونیکی مقدار بار وارده است . برای اعمال بار مورد نظر لازم است که پیچ بالای دستگاه را به مقدار مورد نیاز چرخاند تا بار به صورت مکانیکی به سازه اعمال گردد.

نرم افزار این آزمایش که توسط شرکت سازنده دستگاه ارائه شده است ، قبل از انجام عملی آزمایش و باتوجه به داده های اولیه شامل ابعاد مقطع ، طول ستون ونوع تکیه گاه ها خروجی لازم یعنی مقدار P را نمایش می دهد.

4- مقایسه P تئوری و P عملی و محاسبه خطا :

در آزمایشگاه ،آزمایش کمانش ستونه انجام شد، آزمایش TQ یک مقدار برای اندازه P مورد نظر به ما داد.

دانشجویان هم موظف به محاسبه تئوری این مقدار بودند ،که در این گزارشکار P محاسبه شده ومقدار بدست آمده از آزمایشگاه در جدول زیر بیان شده است.

شماره آزمایش	Pعملی	P تئوری
1	86N	**162.9**N

بدیهی است که علت اختلا ف در دو مقدار P تئوری وP عملی ، مربوط به خطای استفاده مکرر از سازه در حین انجام آزمایش است. مقدار خطا از تفاضل آنها حاصل می شود . و

www.Jozve.org

مقدار درصد خطا از تقسیم مقدار خطا بر P تئوری بدست می آید.

خطاهای ممکن:

1-خطای دستگاه الکترونیکی (رابط دستگاه و کامپیوتر)

2-خطای اعمال دقیق بار ، یانشانگر الکترونیکی

3-خطای ناشی از جنس میله (ناهمگنی)

4-خطای شرایط محیطی (احتمال خیلی کم)

نام دستگاه : کمانش ستون

کد دستگاه : DA-SM18

اطلاعات فنی :

قابلیت انجام آزمایش‌های عملی درباره کمانش تیرها و بررسی مسایل مربوطه

www.Jozve.org

نشان‌دادن روش‌های عملی اندازه‌گیری جابجایی و نیرو

قابل اتصال به کامپیوتر از طریق سیستم داده‌برداری الکترونیکی

کم‌حجم، دقیق و مقاوم

با نصب سریع و آسان XP دارای نرم افزار ویژه تحت ویندوز

: اجزای دستگاه

اعمال نیروی فشاری , مکانیزم تنظیم طول , شاسی دستگاه با پایه‌های لاستیکی ,سنسور جابجایی , مکانیزم اعمال نیروی برشی، نمونه, نیروسنج

طول نمونه : حداکثر ۷۰۰ میلیمتر

نیروی فشاری : حداکثر ۲۰۰۰ نیوتن , نیروی برشی : حداکثر ۲۰ نیوتن

مقدار کمانش : حداکثر ۱۰ میلیمتر و کورس مکانیزم اعمال نیروی فشاری :۱۰ میلیمتر

: آزمایش های قابل انجام

درباره کمانش (Euler)تحقیق نظریه اولر

تحقیق تاثیر نوع تکیه‌گاه در کمانش

تحقیق تاثیر نیروی برشی در کمانش

تحقیق تاثیر جنس، طول و سطح مقطع نمونه در نیروی بحرانی

طول * عرض * ارتفاع : ۱۱۵۰×۴۵۰×۶۰۰ میلیمتر وزن : حدوداً ۶۰ کیلوگرم **: ابعاد و وزن**

: توضیحات

تمام قطعاتی که تحت فشار قرار دارند در معرض خطر کمانش هستند. بنابراین زمینه‌های عملی فراوانی برای این دستگاه وجود دارد. .دستگاه از یک شاسی فلزی، ستون‌های راهنما و مکانیزم اعمال نیروی فشاری تشکیل شده است

برای انجام آزمایش، نمونه بین دو فک قرار می‌گیرد و توسط مکانیزم اعمال نیروی فشاری تا رسیدن به بار بحرانی فشرده می‌شود. نیروی وارده و مقدار کمانش با استفاده از تغییر در هر لحظه آزمایش توسط نیروسنج و سنسور اندازه‌گیری می‌شود. همچنین توسط یک مکانیزم دیگر، نیروی برشی نیز به نمونه اعمال می‌شود. دستگاه دارای فک‌های مختلف جهت انجام آزمایش به سه روش دو سر .گیردار ، دو سر مفصل ویک سرگیرداروبک سرمفصل است

بدین منظور سنسورهای الکترونیکی نیرووجابجایی روی دستگاه نصب شده و از طریق .این دستگاه قابل اتصال به کامپیوتر است اطلاعات مربوط به نیروی وارده و مقدارکمانش به کامپیوتر انتقال می‌یابد. دستگاه DA-EDAS01 سیستم داده‌برداری الکترونیکی دارای دستور کار, گارانتی و خدمات پس از فروش می باشد

منابع:وب سایت ایران سازه و عمران مجله

www.Jozve.org