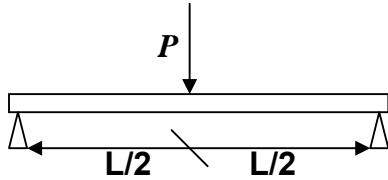


**هدف آزمایش:** بدست آوردن خیز تیرها تحت بار گذاري هاي متفاوت با تکیه گاههاي متغییر و سایل آزمایش: دستگاه اندازه گیری خیز- تیر (برنجی- فولادی- آلومینیومی) انواع وزنه- کولیس

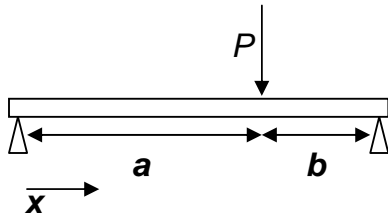
شرح آزمایش: تیر آزمایشگاهی را با طول معین و سطح مقطع مستطیلی را برداشته و ضخامت آنرا توسط کولیس اندازه گیری می کنیم. تیر ما با قطعه های مساوی 5 سانتی متر تقسیم شده است. تیر را در فاصله معین روی تکیه گاه قرار داده و دستگاه را صفر کرده و آماده برای انجام آزمایش می شویم. سپس بار گذاري روی تیر را انجام می دهیم. بدین صورت که به اندازه 0/5 کیلوگرم نیرو وارد می کنیم و خیز را از روی دستگاه می خوانیم و این کار را تکرار می کنیم. از طرف دیگر با استفاده از فرمول خیز در تیرها؛ خیز در هر نقطه را حساب می کنیم با مقدار آزمایشگاهی مقایسه می کنیم و گراف مربوطه را رسم می کنیم. از روی نمودار  $E \tan \alpha = P/Y$  را دست آورده که مقدار مدول الاستیسیته ما خواهد بود.

در محاسبه خیز تیرها از روابط زیر استفاده می کنیم:

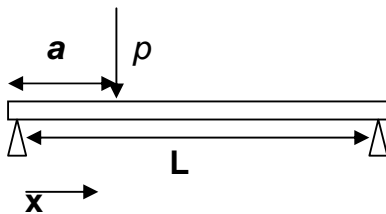
$$Y = PL^3 / 48EI$$



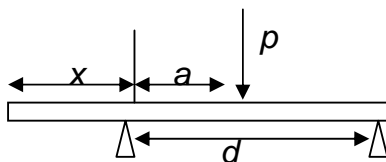
$$x < a \quad Y = pbx(x^2 + b^2 - l^2) / 6EI$$



$$x > a \quad Y = pa(l-x)(x^2 + b^2 - 2lx) / 6EIL$$



$$Y = pax(d^2 + x^2) / 6Eid$$



در روابط فوق  $L$ : طول تیر.  $X$ : فاصله تکیه گاهها تا خیز سنج.  $a, b$ : فاصله نیروی  $P$  تا نزدیکترین تکیه گاه.  $E$ : مدول الاستیسیته.  $I$ : امان اینرسی خواهد بود.  
در آزمایش ذیل که از نوع 1 میباشد داریم

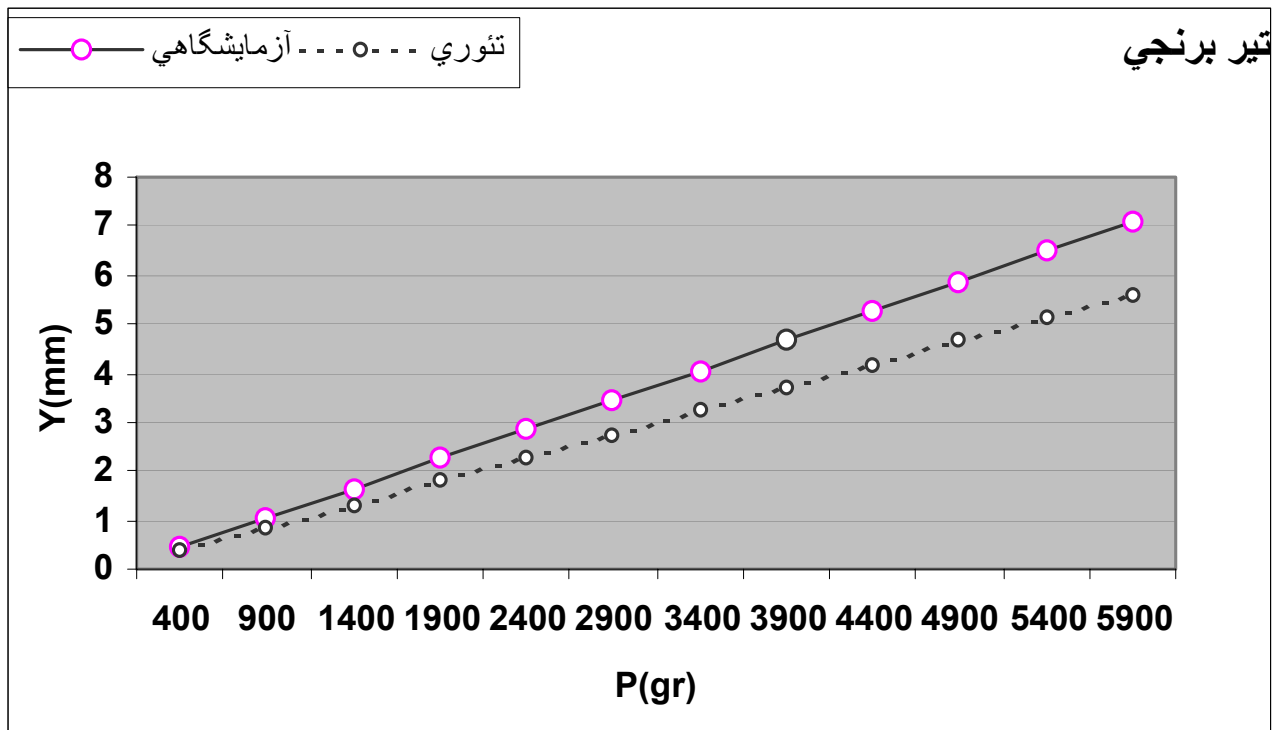
تیر نمونه ما یک تیر برنجی به مقطع  $25 \times 5 \text{ mm}^2$  میباشد. تیر را روی تکیه گاه در فاصله  $L = 50 \text{ cm}$  میگذاریم.  
بار به وسط تیر وارد میشود. داریم:

$$Y = PL^3 / 48EI$$

$E = 90911.4 \text{ MPa}$  آزمایشگاهی  
 $E = 105 \text{ GPa}$  تئوری  
 $I = bh^3 / 12 = 260.41$

p تئوری آزمایشگاهی

400	0.44	0.38
900	1.05	0.85
1400	1.65	1.33
1900	2.26	1.8
2400	2.85	2.28
2900	3.47	2.76
3400	4.06	3.23
3900	4.67	3.71
4400	5.28	4.19
4900	5.88	4.66
5400	6.49	5.14
5900	7.09	5.61



دومین آزمایش ما نیز از نوع 1 است:

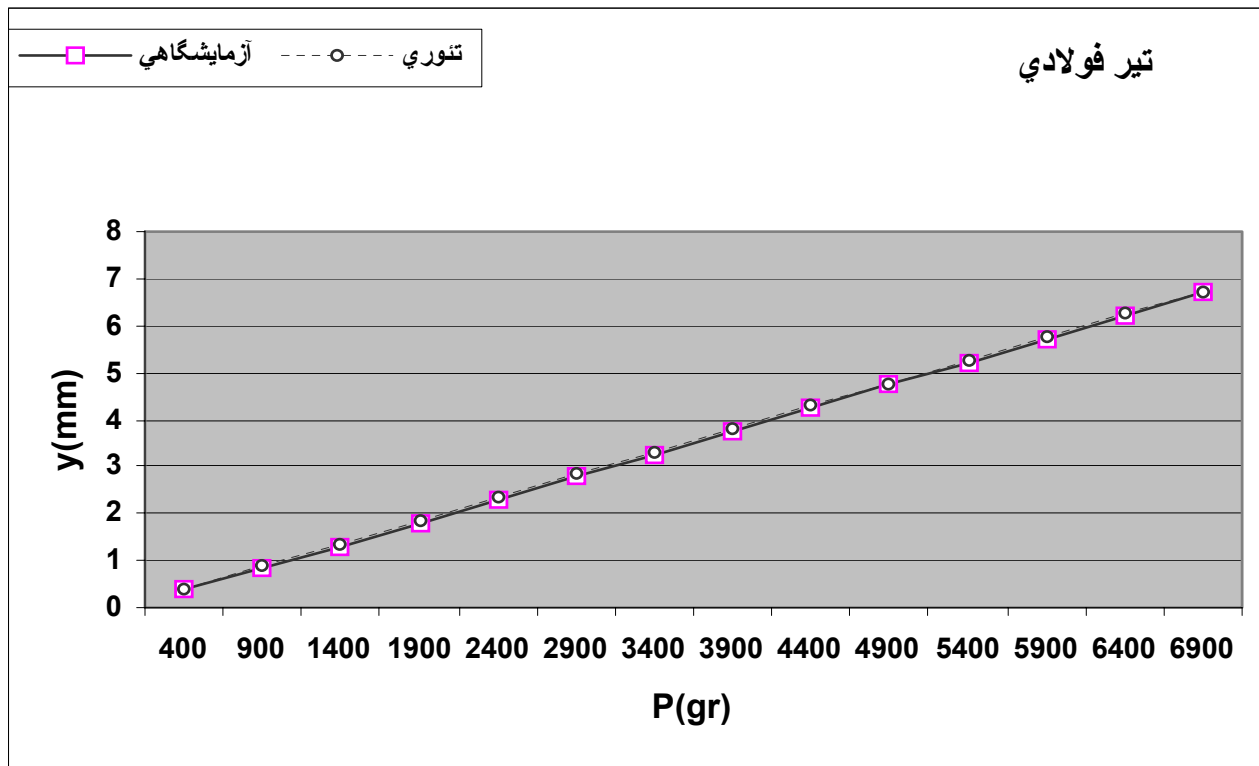
تیر فولادی به مقطع 25\*4mm، فاصله تکیه گاهها L= 50 cm و بار به مرکز تیر وارد میشود.

$$Y = PL^3 / 48EI$$

$$E = PL^3 / 48YI$$

$$E = 200 \text{ GPa}$$

پ	آزمایشگاهی	تئوری
400	0.38	0.39
900	0.82	0.87
1400	1.3	1.36
1900	1.8	1.85
2400	2.28	2.34
2900	2.77	2.83
3400	3.26	3.32
3900	3.75	3.8
4400	4.24	4.29
4900	4.73	4.78
5400	5.22	5.27
5900	5.72	5.76
6400	6.19	6.25
6900	6.71	6.73



سومین آزمایش ما از نوع 2 است:

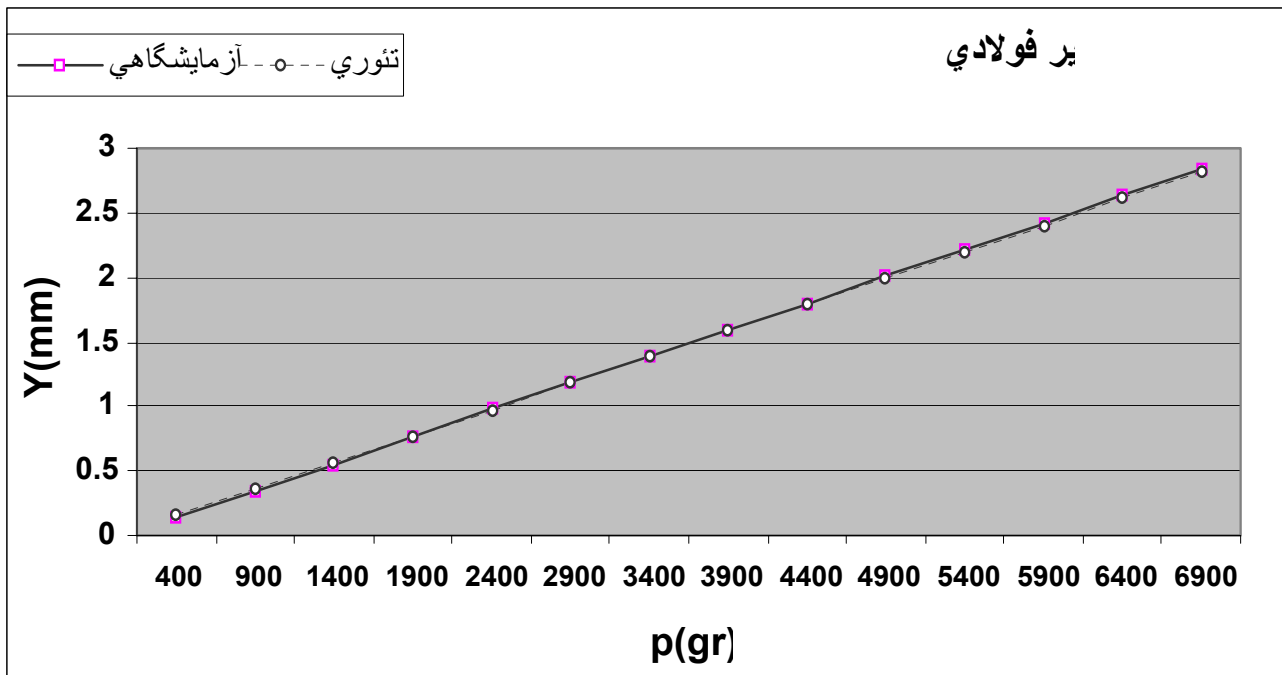
تیر فولادی با مقطع  $25 \times 4 \text{ mm}^2$  و  $b=10 \text{ cm}$  و  $x=15 \text{ cm}$  روی تکیه گاه به فاصله  $L=50 \text{ cm}$  قرار می‌دهیم.

$$Y = \frac{pbx(x^2 + b^2 - l^2)}{6EIL}$$

آزمایشگاهی  $E = 23404.540 \text{ Mpa}$

تئوری  $E = 200 \text{ G pa}$

p	تئوری	آزمایشگاهی
400	0.14	0.16
900	0.34	0.36
1400	0.55	0.57
1900	0.77	0.77
2400	0.98	0.97
2900	1.18	1.18
3400	1.38	1.38
3900	1.6	1.59
4400	1.8	1.79
4900	2.01	2
5400	2.21	2.2
5900	2.42	2.4
6400	2.63	2.61
6900	2.84	2.81



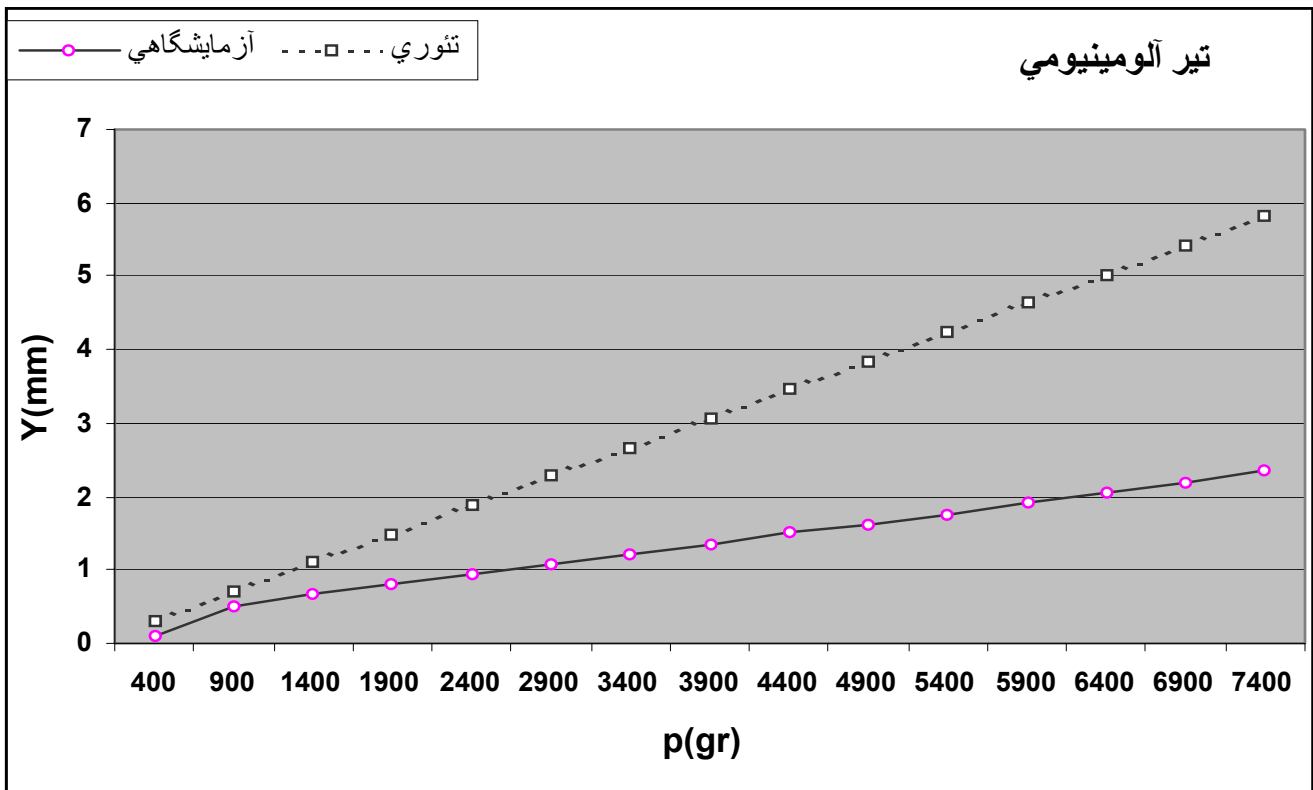
چهارمین آزمایش ما از نوع 4 است:

تیر آلومینیومی با مقطع 30.5\*5 و x= 15 cm و d=30 cm و L=55 cm

$$Y = \frac{Pbx(d^2+x^2)}{6Eid}$$

E=214610.6962 Mpa  
E=75 Gpa تئوری

p	آزمایشگاهی	تئوری
400	0.11	0.31
900	0.52	0.7
1400	0.68	1.1
1900	0.8	1.49
2400	0.93	1.88
2900	1.08	2.28
3400	1.21	2.67
3900	1.34	3.06
4400	1.5	3.46
4900	1.63	3.85
5400	1.74	4.24
5900	1.91	4.64
6400	2.04	5.03
6900	2.18	5.42
7400	2.34	5.82



چهارمین آزمایش ما مربوط به حالت 4 است:

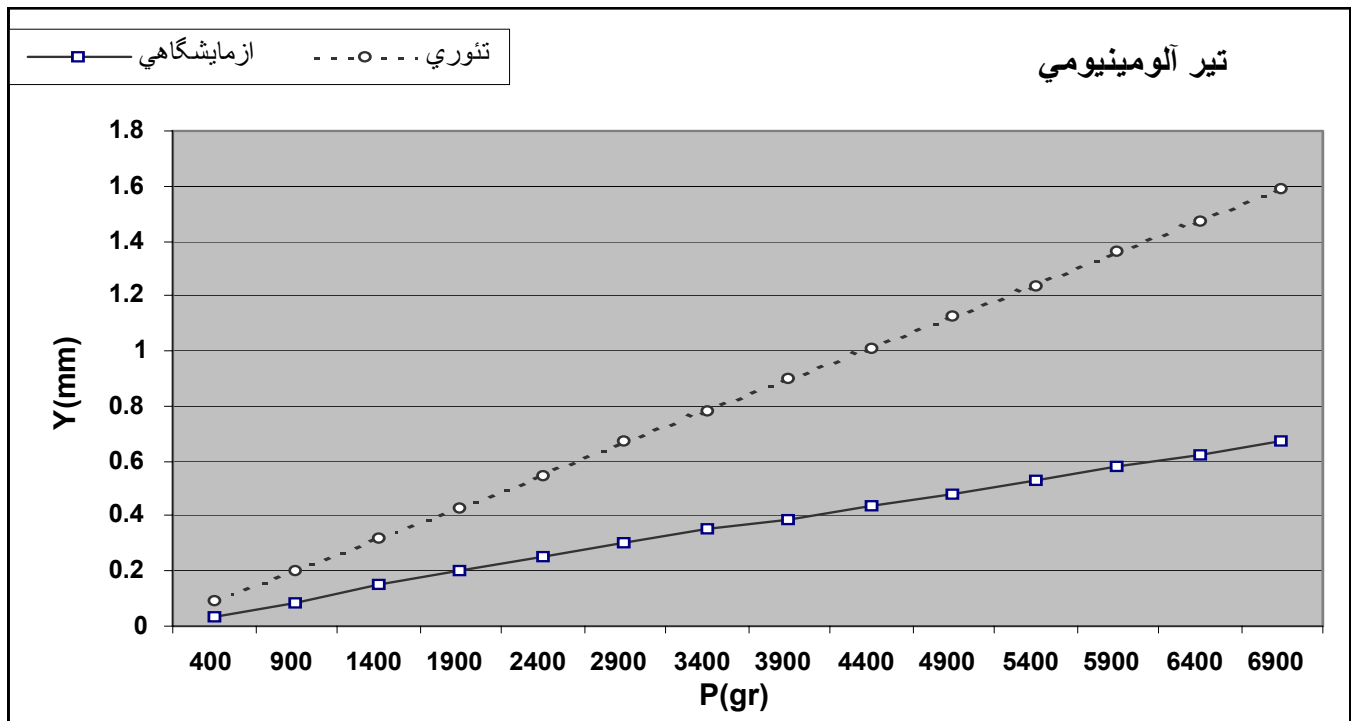
تیر آلومینیومی با مقطع  $30.5 \times 5$  و  $x=5$  cm و  $d = 30$ cm و  $L=55$  و  $a= 20$  cm

$$Y = \frac{Pax(d^2+x^2)}{6EI_d}$$

E= 5849.9166 Mpa آزمایشگاهی

E= 70 Gpa تنوری

تنوري	ازمایشگاهی p	
0.09	0.03	400
0.2	0.08	900
0.32	0.15	1400
0.43	0.2	1900
0.55	0.25	2400
0.67	0.3	2900
0.78	0.35	3400
0.9	0.39	3900
1.01	0.44	4400
1.13	0.48	4900
1.24	0.53	5400
1.36	0.58	5900
1.47	0.62	6400
1.59	0.67	6900



هدف آزمایش: تعیین خیز تیرها تحت بار گذاری های متفاوت با تکیه گاههای متغیر.

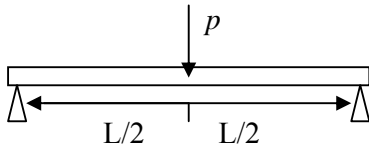
وسایل آزمایش: دستگاه universal – انواع تیر- کولیس.

شرح آزمایش: دستگاه universal دارای یک جک و دو فک میباشد. که فک بالا کششی و فک پایینی ثابت است. نیز دستگاه دارای دسته هیدرولیک جهت اعمال بار میباشد و دارای خیز سنج و نیرو سنج است.

برای انجام آزمایش نمونه تیر را توسط کولیس اندازه گیری کرده سپس آنرا روی تکیه گاه مورد نظر قرار داده و توسط فک متحرک روی تیر بار گذاری می کنیم. نیرو سنج تغییرات نیرو را بر حسب KN نشان میدهد. خیز سنج نیز خیز تیر را بر حسب صدم میلیمتر به ما نشان میدهد.

بدین صورت که:

نمونه فولادی با مقطع  $40 \times 12 \text{ mm}^2$  را روی تکیه گاه با فاصله  $L=30 \text{ cm}$  گذاشته و بار گذاری میکنیم ذکر این نکته که بار به وسط تیر اعمال میشود ضروری است.



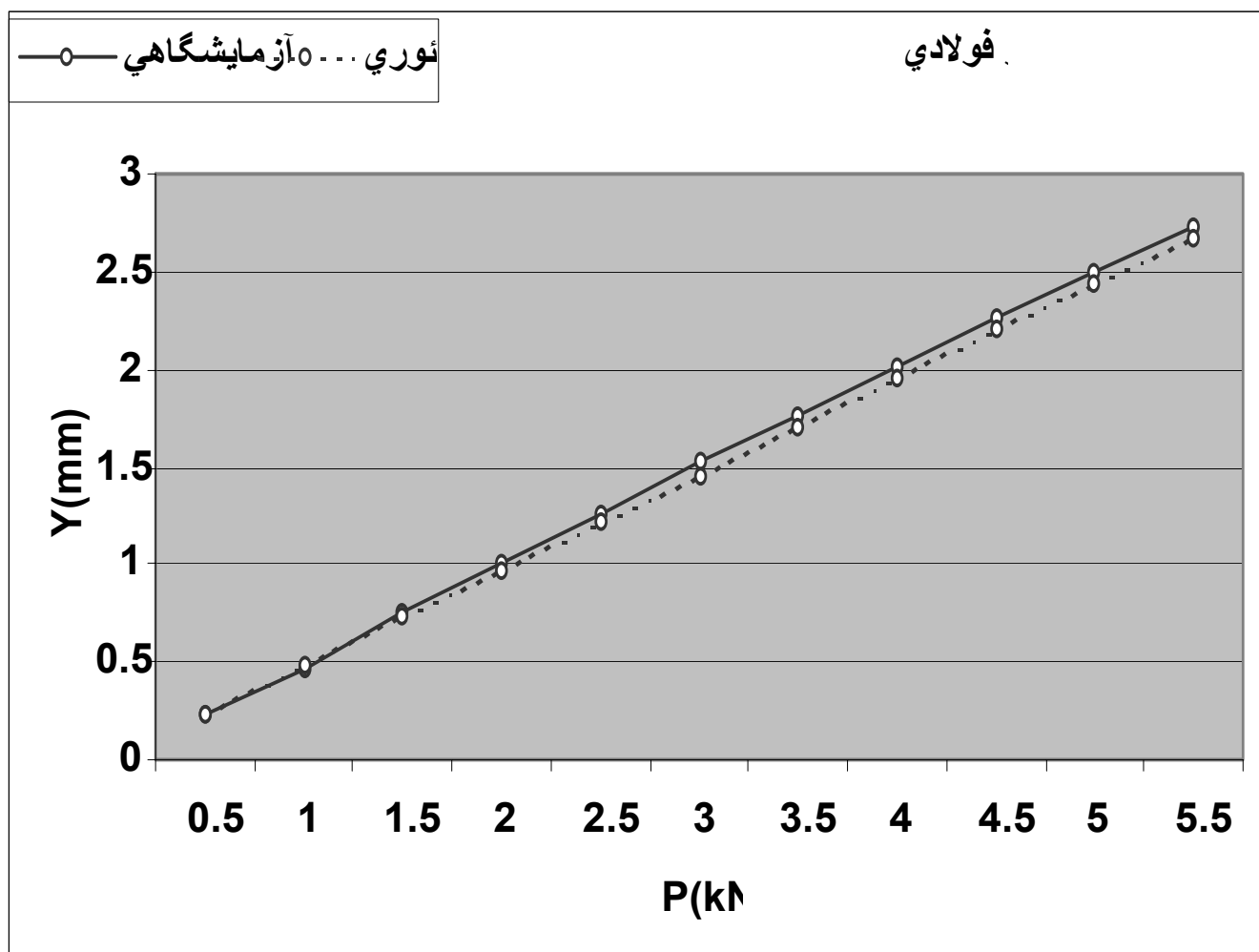
$$E=PL^3/48YI$$

$E=21229.6193 \text{ Mpa}$  آزمایشگاهی

$E=200 \text{ Gpa}$  تئوری

تیر فولادي :

p	آزمایشگاهی	نئوري
0.5	0.23	0.23
1	0.47	0.48
1.5	0.75	0.73
2	1.01	0.97
2.5	1.26	1.22
3	1.52	1.46
3.5	1.77	1.7
4	2.01	1.95
4.5	2.26	2.2
5	2.49	2.44
5.5	2.72	2.68



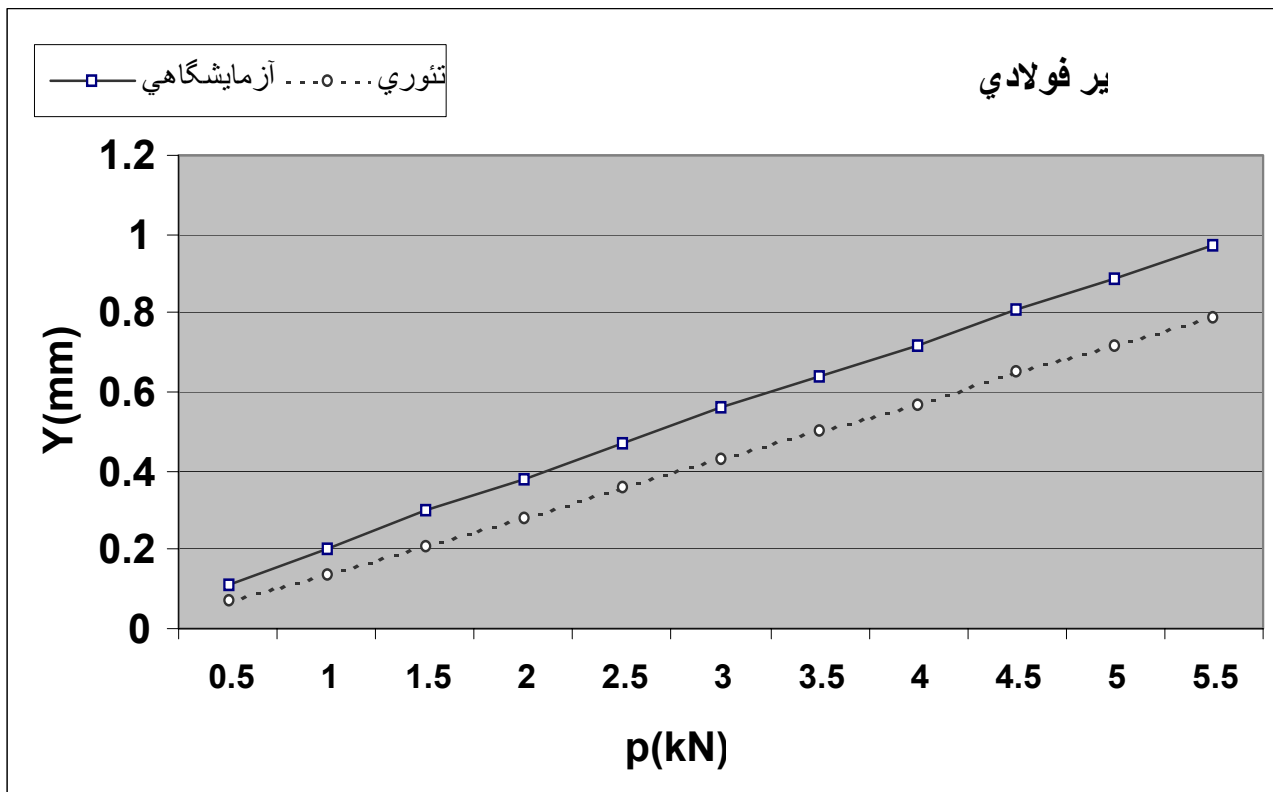


تیر فولادي با مقطع 40\*12cm رادر روي تکیه گاه به فاصله L=20 cm قرار میدهم.

$$E=PL^3/48YI$$

ازمایشگاهی E=13152.3569 Mpa  
تنوري E =200 Gpa

P	ازمایشگاهی	تنوري
0.5	0.11	0.07
1	0.2	0.14
1.5	0.3	0.21
2	0.38	0.28
2.5	0.47	0.36
3	0.56	0.43
3.5	0.64	0.5
4	0.72	0.57
4.5	0.81	0.65
5	0.89	0.72
5.5	0.97	0.79



## نتیجه آزمایش:

از اطلاعات بدست آمده درباره خمش تیر ؛ میتوان تصویر روشنی از تغییر شکل تیر بدست آورد. اما تحلیل و طراحی هر تیر معمولاً مستلزم داشتن اطلاعات کافی و دقیقتری درباره خمش در تیر در نقطه های گوناگون است. آگاهی از خمش ماکزیمم نیز بسیار مهم است.

هدف آزمایش: محاسبه تنش نرمال  
وسایل آزمایش: دستگاه universal – نمونه های برنجی؛ الومینیومی ... - کولیس

### شرح آزمایش:

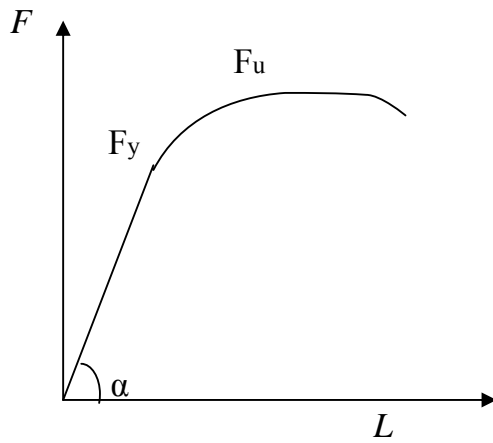
برای بدست آوردن نمودار تنش کرنش یک ماده؛ روی نمونه ای از آن آزمون کشش انجام میشود. نمونه که به دقت توسط کولیس اندازه گیری شده است. در دستگاه قرار میگیرد. میتوان فاصله بین دو فك دستگاه را  $L_0$  بنامیم. با اعمال بار  $P$  طول اولیه افزایش مییابد. فاصله  $L$  روی سنجه عقربهای خوانده میشود و افزایش طول  $\delta = L - L_0$  بازای افزایش بار  $P$  ثبت میشود. با توجه به هر زوج مقدار  $P$  و  $\delta$  مقدار  $\sigma$  از تقسیم  $P$  بر  $A_0$  یعنی سطح مقطع اولیه نمونه و کرنش  $\epsilon$  از تقسیم  $\delta$  بر طول اولیه  $L_0$  بدست میآید. با قرار دادن مقادیر  $\epsilon$  و  $\sigma$  روی محور طولی و عرضی نمودار تنش-کرنش بدست می آید. نمودار تنش-کرنش مواد مختلف تفاوت زیادی با هم دارند و آزمونهایی کشش متفاوتی که روی یک ماده انجام می شود که بسته به دمای نمونه و سرعت بار گذاری نتایج متفاوت بدست می آید. با استفاده از نمودار تنش-کرنش برخی از مشخصه های مواد بدست می آید که با آن میتوان گروههای مختلف مواد را شناخت. و آنها را به دو مقوله وسیع بر مبنای این مشخصه ها تقسیم کرد. مواد شکلپذیر و مواد شکننده.

مواد شکلپذیر که شامل بسیاری از الیازهای فلزات دیگر است؛ با قابلیت تسلیم در دمای عادی مشخص میشوند. در بارگذاری ابتدا طول آن به صورت خطیو با آهنگ کم افزایش می یابد. بنا بر این قسمت اولیه نمودار تنش-کرنش؛ خط راستی با شیب تند است. اما بعد از رسیدن به تنش بحرانی  $\sigma_y$  نمونه با افزایش نسبتاً کوچکی در بار تغییر شکل زیادی میدهد. این تغییر شکل در اثر لغزش ماده در امتداد صفحه های مایل است و بنا بر این اساسا" ناشی از تنش برشی است.

از دیاد طول نمونه بعد از شروع تسلیم میتواند 200 برابر تغییر شکل آن قبل از تسلیم باشد. با افزایش بار قطر بخشی از نمونه بر اثر ناپایداری موضعی شروع به کاهش میکند. این پدیده باریک شدگی نام دارد. بعد از شروع باریک شدگی؛ برای از دیاد طول بیشتر نمونه بارهای نسبتاً کم کافی است تا سرانجام به گسیختگی برسد. گسیختگی در سطح مخروطی شکل رخ میدهد که با سطح اولیه نمونه تقریباً زاویه  $45^\circ$  میسازد. این امر نشان می دهد که در شکست مواد شکلپذیر اساساً" برش نقش دارد و تاییدی است بر این مطلب که در بارگذاری محوری تنش برشی در سطح هایی که با زاویه  $45^\circ$  میسازند بیشترین مقدار است.

در انجام آزمایش میببینیم که مقاومت به میزان کمی از  $F_u$  بالاتر میرود؛ که این ناشی از خاصیتی از ماده به نام کرنش-سختی (سخت شدن در اثر کرنش) است.

روابط مورد نیاز در آزمون کشش به قرار زیر است:



$$\left. \begin{array}{l} \tan \alpha = F / \Delta L \\ \Delta L = FL_0 / EA_0 \end{array} \right\} \Rightarrow \tan \alpha = EA_0 / L_0$$

$$E = \tan \alpha \cdot L_0 / A_0$$

درصد افزایش طول  $\varepsilon = (L - L_0) / L_0$   $\Rightarrow$

$$\varepsilon = (\Delta L / L_0) \cdot 100$$

تنش تسلیم  $\sigma_y = F_y / A_0$

تنش نهایی  $\sigma_u = F_u / A_0$

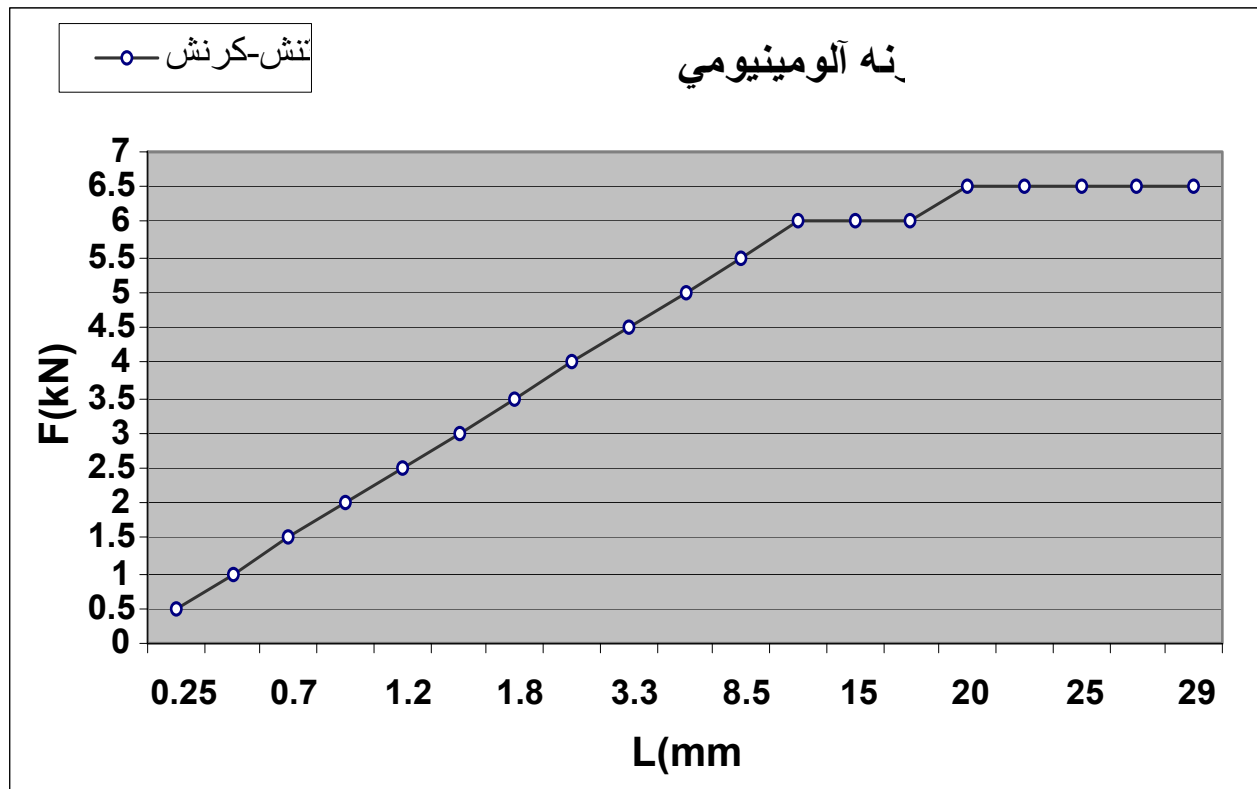
درصد انقباض  $\varphi = (A - A_0) / A_0$

نمونه آلومینیومی استوانه ای شکل با قطر 5.9mm و طول اولیه 42.7 mm که پس از آزمایش قطر محل شکست 5 mm شد.

ذکر این نکته که در آزمایش  $\Delta L$  بر حسب میلیمتر و  $F$  بر حسب کیلو نیوتن است ضروری میباشد.

F (Kn)	L (mm)
0.5	0.25
1	0.45
1.5	0.7
2	1
2.5	1.2
3	1.5
3.5	1.8
4	2.3
4.5	3.3
5	5.3
5.5	8.5
6	12.2
6	15
6	17
6.5	20
6.5	22
6.5	25
6.5	26
6.5	29

$\tan \alpha = 0.2$
$E=10.45$
$\varepsilon=6.791$
$\sigma_y=0.13$
$\sigma_u=0.24$
$\varphi=-0.281$

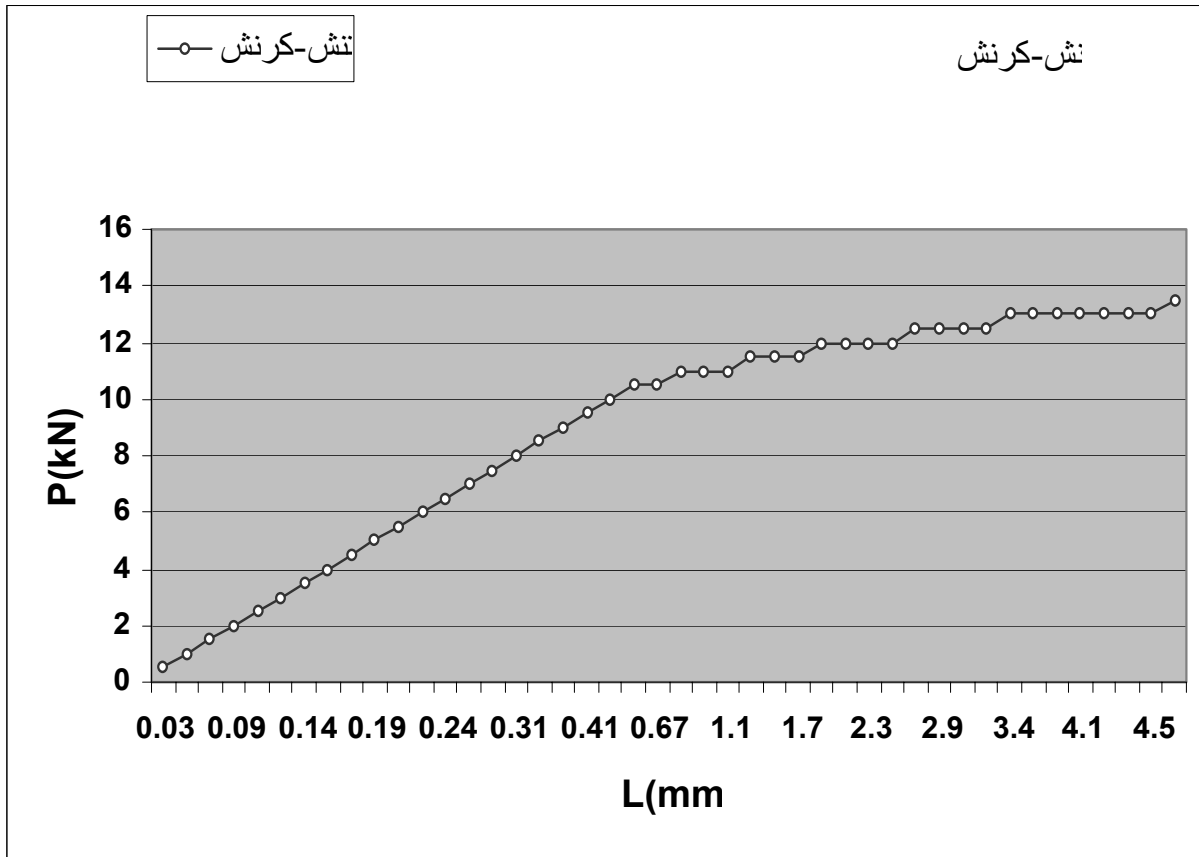


نمونه برنجی با سطح مقطع استوانه ای به طول اولیه 43.9mm و قطر 6 mm که پس از آزمایش قطر محل شکست 5.2mm شد.

ذکر این نکته که در آزمایش  $\Delta L$  بر حسب میلیمتر و  $F$  بر حسب کیلو نیوتن است ضروری میباشد.

P	L
0.5	0.03
1	0.05
1.5	0.07
2	0.09
2.5	0.11
3	0.13
3.5	0.14
4	0.16
4.5	0.17
5	0.19
5.5	0.21
6	0.22
6.5	0.24
7	0.26
7.5	0.29
8	0.31
8.5	0.34
9	0.37
9.5	0.41
10	0.47
10.5	0.58
10.5	0.67
11	0.8
11	0.9
11	1.1
11.5	1.3
11.5	1.5
11.5	1.7
12	1.9
12	2.1
12	2.3
12	2.6
12.5	2.7
12.5	2.9
12.5	3
12.5	3.15
13	3.4
13	3.7
13	3.9
13	4.1
13	4.2
13	4.3
13	4.5
13.5	4.6

$\tan \alpha = 0.25$
$E=0.39$
$\varepsilon=10.47$
$\sigma_y=1.31$
$\sigma_u=0.46$
$\phi=-0.25$



**نتیجه آزمایش:** مشخصه مواد شکننده آن است که گسیختگی بدون تغییر چشمگیر قبلی آهنگ از دیاد طول رخ میدهد. بنابراین در مواد شکننده تفاوتی بین استحکام نهایی و استحکام شکست وجود ندارد. همچنین در زمان گسیختگی کرنش در مواد شکننده خیلی کمتر از مواد شکلپذیر است. در مواد شکننده باریک شدگی وجود ندارد و گسیختگی در سطح عمود بر بار رخ میدهد. از این مطلب نتیجه میگیریم در شکست مواد شکننده اساساً تنش قائم نقش دارد.

نتیجه دیگر آنکه در آلومینیوم و بسیاری از مواد شکلپذیر دیگر؛ آغاز تسلیم با قسمت افقی نمودار تنش-کرنش مشخص نمیشود. اما تنش همچنان افزایش مییابد تا به استحکام نهایی برسیم و در نهایت به گسیختگی میرسد.