



دستور العمل دستگاه آزمون خریا

شرکت طراحی مهندسی سنتام

تهیه و تنظیم: واحد پشتیبانی

پاییز ۱۳۹۴

www.santamco.com

ENG. DESIGN CO. LTD.

کارخانه جدید : تهران ، کیلومتر ۵ جاده قدیم کرج ، خیابان صنایع فلزی ، بلوار ۱۷ شهرپور ، پرسی گاز شمالی ،
نبش کوچه وزین ، شماره ۱

کارخانه قدیم : تهران ، کیلومتر ۵ جاده قدیم کرج ، خیابان صنایع فلزی ، بلوار ۱۷ شهرپور ، روبروی همکار ماشین
، شماره ۱۴۰ و ۱۴۲

صندوق پستی : ۱۳۸۶۵/۴۳۶

۶۶۸۱۴۴۹۸ - ۶۶۸۱۴۴۹۷ - ۶۶۸۰۶۳۹۷ (+۹۸۲۱) : تلفن

۶۶۸۱۶۵۸۱ (+۹۸۲۱) : فاکس

پست الکترونیک

info@santamco.com

وب سایت

www.santamco.com

(فهرست)

فصل اول

- ۱-۱) بخش‌های اصلی دستگاه و شرح دستگاه ۷
- ۱-۱-۱) بخش مکانیکی ۷
- ۱-۱-۲) بخش الکترونیک ۹
- ۱-۱-۳) مشخصات محاسباتی ۹

فصل دوم

- ۱-۲) آزمایش نخست ۱۱
- ۱-۱-۲) تئوری آزمایش ۱۱
- ۱-۱-۲-۱) الف) روش مفاصل ۱۱
- ۱-۱-۲-۲) ب) روش برش زنی ۱۳
- ۲-۲) روش انجام آزمایش ۱۴
- ۱-۲-۲) تنظیم نمایشگر ۱۴
- ۲-۲-۲) نمایشگر نیرو ۱۴
- ۳-۲-۲) نمایشگر کرنش سنج ۱۵
- ۳-۲) آزمایش دوم ۱۸
- ۴-۲) روش انجام آزمایش ۲۰
- ۵-۲) آزمایش سوم ۲۱

۲-۵-۱) محاسبه میزان جابجایی یک نقطه خرپا ۲۱

۲-۵-۲) تئوری آزمون ۲۱

۲-۶) روش به دست آوردن جابجایی تجربی ۲۴

مقدمه

امروزه به کارگیری تجهیزات آزمایشگاهی نقش به‌سزایی در درک بهتر مفاهیم مکانیکی برعهده دارند. لذا این موضوع تولیدکنندگان را برآن داشته تا با طراحی و به کارگیری مناسب این نوع تجهیزات به فرآیند آموزش یاری رسانند. دستگاه آزمون خرپا یکی از این تجهیزات می‌باشد که به کمک آن نحوه توزیع بار در هر عضو خرپا و همچنین امکان بررسی و مقایسه روابط تئوری با تجربی میسر می‌گردد.

در این راهنما روش کار با دستگاه و روش انجام آزمون به طور کامل تشریح شده است. همچنین در انتهای هر بخش چند پرسش در خصوص مقایسه نتایج ارائه شده است. بدیهی است سعی بر آن بوده تا با رعایت خلاصه نویسی، کلیه نکات مورد نیاز دانشجویان ذکر گردد.

فصل اول

(۱-۱) بخش های اصلی و شرح دستگاه

(۱-۱-۱) بخش مکانیکی

این دستگاه دارای ۸ عضو دو نیرویی می باشد که مطابق شکل در ساختمان سازه خرپا به کار رفته است. یکی از تکیه گاه های خرپا دارای دو حالت تکیه گاه لغزنده و تکیه گاه ثابت می باشد، در ضمن نیرو از طریق یک مکانیزم در جهت پایین به خرپا اعمال شده و با توجه به وجود اتصالات پینی و بارگذاری متمرکز در اعضا، نیرو به صورت محوری در هر عضو اعمال می گردد. بخش های مکانیکی دیگر به شرح زیر می باشد:

۱- عضو ۱

۲- عضو ۲

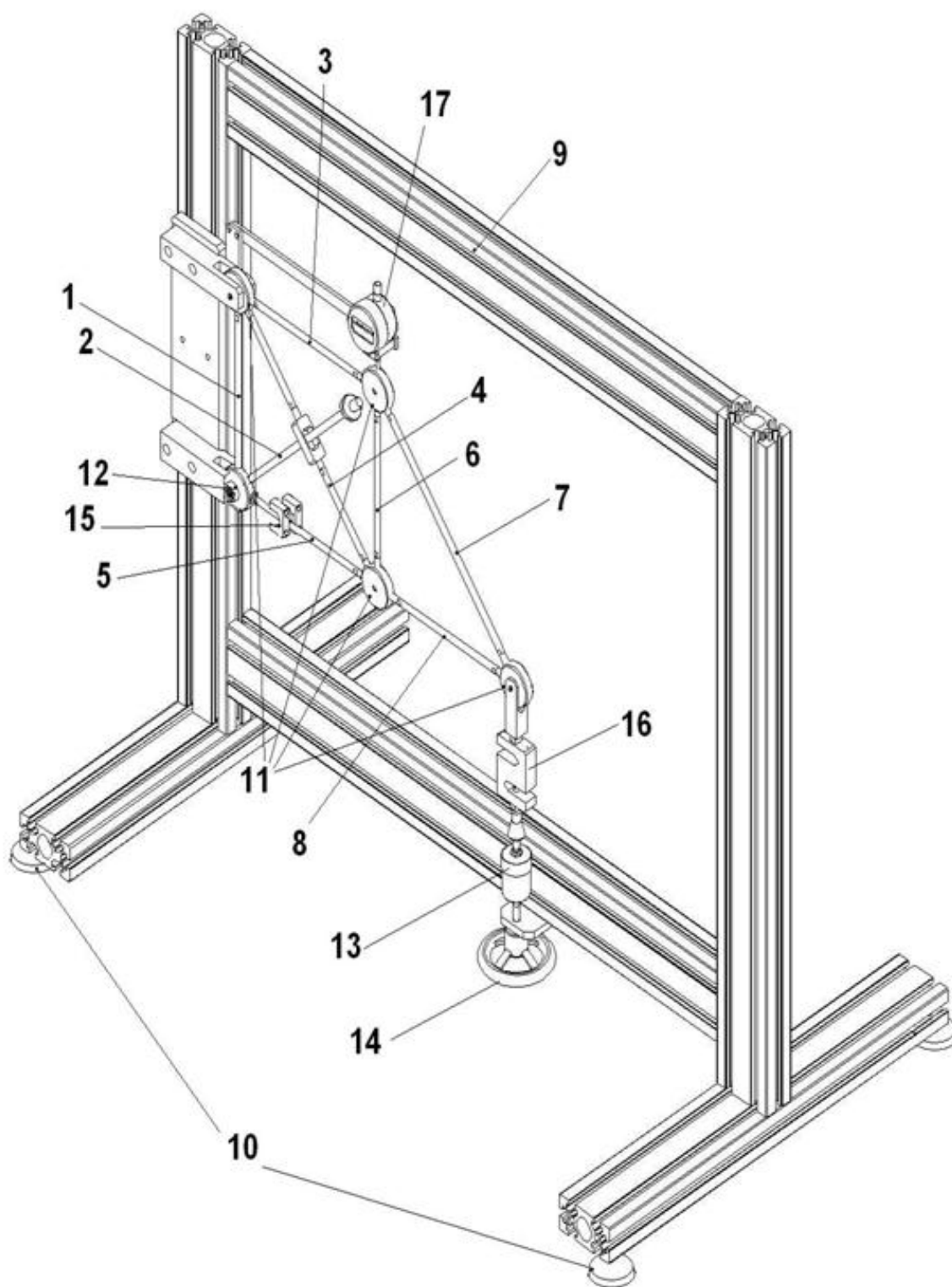
۳- عضو ۳

۴- عضو ۴

۵- عضو ۵

۶- عضو ۶

- ۷- عضو ۷
- ۸- عضو ۸
- ۹- شاسی خرپا
- ۱۰- پایه‌ها
- ۱۱- مفاصل
- ۱۲- مفصل قابل تنظیم
- ۱۳- مکانیزم اعمال نیرو
- ۱۴- فلکه نیرو
- ۱۵- قطعه ثابت کننده تکیه گاه
- ۱۶- لودسل
- ۱۷- دایل گیج



شکل ۱-۱ : نمای کلی دستگاه

۱-۱-۲) بخش الکترونیک

در این بخش ابزارهای زیر جهت نمایش پارامترهای آزمون به کار رفته است:

۱-سوییچر(جهت تغییر کانال نمایشگر برای نمایش کرنش‌های هر عضو)

۲-نمایشگر نیروی لودسل

۳-نمایشگر کرنش هر عضو

۴-سیم و کانکتور کرنش سنج^۱ هر عضو

۱-۱-۳) مشخصات محاسباتی

پارامترها و کمیت‌هایی که برای محاسبات آزمون مورد نیاز است:

قطر هر عضو خرپا = ۸ میلی متر

طول هر عضو(اعضایی که در ضلع مربع واقع شده اند)= ۲۵۰ میلی متر

مدول الاستیسیته = ۲۰۰ گیگا پاسکال

ضریب پواسون = ۰/۲۵

ظرفیت لودسل = ۲۰۰ کیلوگرم

ضریب کرنش سنج = ۲/۰۵

¹ Strain Gauge

فصل دوم

۱-۲) آزمایش نخست

قصد داریم در این آزمایش کرنش و نیروهای وارد بر هر عضو را متناسب با نیروی اعمالی P محاسبه نماییم.

۱-۱-۲) تئوری آزمایش

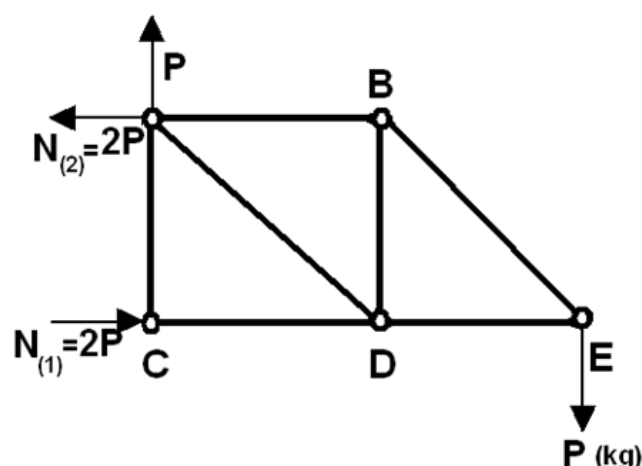
در یک خرپا به دلیل وجود اتصالات پینی و بارگذاری متمرکز بر روی پین‌ها، نیرو در اعضا به صورت محوری اعمال می‌شود و هیچ گونه بار خمشی بر اعضا وارد نمی‌گردد. برای به دست آوردن مقدار و جهت نیرو در هر عضو دو روش به شرح زیر می‌باشد:

۱-۱-۲-۲) روش مفاصل

در این روش نمودار جسم آزاد هر مفصل رسم شده و از آن مقدار نیروی مجهول در تمامی اعضا به دست می‌آید. نخست با نوشتن معادلات تعادل برای نمودار جسم آزاد مجموعه خرپا، نیروهای تکیه گاهی به دست می‌آید. باید توجه داشت که با توجه به این که تکیه گاه مفصلی در نقطه C به گونه ای است که قابلیت تحمل نیرو در راستای قائم را ندارد و به همین دلیل نیروی محوری در نقطه C وجود ندارد. البته این امکان در تکیه گاه وجود دارد که به حالت ثابت تبدیل شود که در این صورت معادلات تعادل به شکل کلی زیر نیست.

$$\sum M_A = 0 \rightarrow 2LP - N_{(1)}L = 0 \rightarrow N_{(1)} = 2P$$

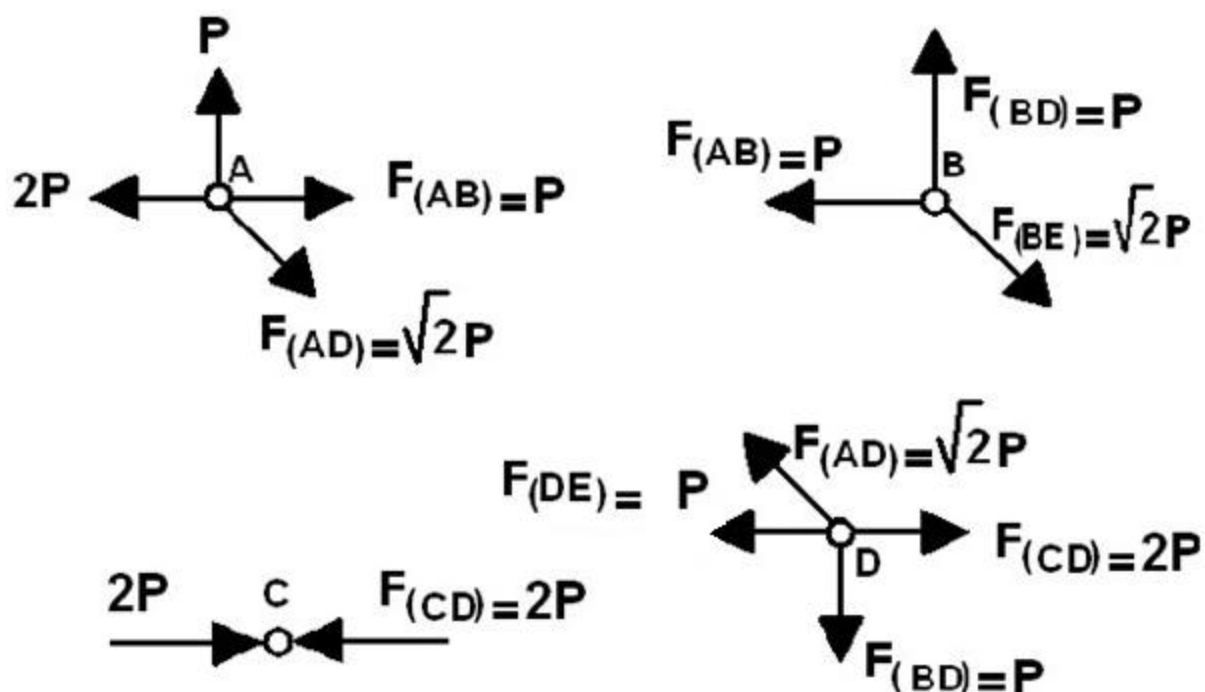
$$\sum F_x = 0 \rightarrow N_{(2)} = 2P$$



شکل (۱-۲) : نمودار جسم آزاد

در این مرحله نمودار جسم آزاد تمامی مفاصل رسم می‌شود و با نوشتن معادله تعادل، نیرو در هر عضو خریا به دست می‌آید.

در نهایت مقدار نیرو و جهت هر عضو تعیین شده مطابق تصویر پایین نمایش می‌یابد.



شکل (۲-۲): نیروهای وارد بر هر مفصل

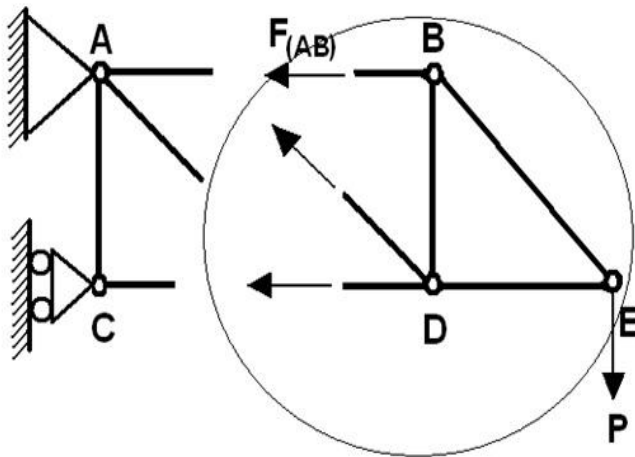
لازم به ذکر است برای نمودار جسم آزاد مفصل‌ها تنها معادلات نیرو در دو جهت x و y به کار می‌رود.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

۲-۱-۱-ب) روش برش زنی

در این روش با انتخاب برش‌هایی مناسب خرپا به دو یا چند بخش تقسیم شده و با حل معادلات تعادل برای هر بخش جدا شده نیروهای هر عضو به دست می‌آید. مانند حالت پایین که در آن خرپا به دو بخش تقسیم می‌شود:



شکل (۲-۳): برش زدن اعضا برای یافتن نیروها

با گشتاورگیری از بخش سمت راست حول نقطه D خواهیم داشت:

$$\sum M_D = 0 \rightarrow F_{(AB)}L - PL = 0 \rightarrow F_{(AB)} = P$$

۲-۲) روش انجام آزمایش

برای راه اندازی دستگاه نیاز است نخست کانکتورهای هر عضو خرپا مطابق شماره خودش به پورت های سویچر وصل شود و همین طور کابل سویچر جهت نمایش سیگنال هر عضو به نمایشگر کرنش متصل شود. در گام دیگر نمایشگر نیرو به کابل لودسل متصل می شود. در ضمن کابل برق آداپتور نمایشگرها می بایست به پریز برق وصل شود.

۲-۲-۱) تنظیم نمایشگر

هر نمایشگر دارای سه دکمه Zero، Enter، Mode می باشد که برای انجام تنظیمات به کار می روند. برای وارد شدن به تنظیمات لازم است دکمه Mode به مدت ۵ ثانیه نگه داشته شود و وارد بخش Menu نمایشگر شوید. حال با زدن دکمه Mode می بایست مطابق کمیت های زیر هر پارامتر مقداردهی گردد. لازم به ذکر است برای اصلاح مقدار هر پارامتر دکمه Enter زده می شود و سپس به کمک دکمه Zero مقدار اصلاح می گردد و دوباره با زدن Enter مقدار اصلاح شده تثبیت می گردد. در پایان با چندین بار زدن دکمه Mode بر روی گزینه ی یازده، Save setting، رفته و با نگه داشتن دکمه Enter مقادیر جدید ذخیره می گردد.

۲-۲-۲) نمایشگر نیرو

۱-Ro = مقدار روی لیبل لودسل می بایست وارد شود.

۲-Capacity = مقدار روی لیبل لودسل می بایست وارد شود.

۳-Force = Param Title

۴-Max Channel = ۱

۵-kgf = Unit (واحد نمایش نیرو را می توان تعیین نمود)

۶-Point = ۲ (تعداد رقم های اعشاری قابل نمایش را مشخص می کند)

۷-Average = ۲۰ (تعداد دفعات داده برداری در ثانیه را برای نمایش عدد میانگین آن ها را مشخص می نماید)

۸-A/D Filter = ۲۰۴۸

۹-A/D Gain(mV) = ۲۰

۱۰-A/D Exc Mode:Ac

۱۱-Save Setting (ذخیره تنظیمات)

۱۲-Factory Set (تنظیمات اولیه دستگاه را بازآوری می نماید)

۲-۲-۳) نمایشگر کرنش سنج

$$۳ = Ro-۱$$

$$۳ = Capacity-۲$$

$$strain = Param Title-۳$$

$$۸ = Max Channel-۴$$

$$mv/v=Unit-۵$$

$$۴ = Point-۶ \text{ (تعداد رقم های اعشاری قابل نمایش را مشخص می کند)}$$

$$۲۰ = Average-۷ \text{ (تعداد دفعات داده برداری در ثانیه را برای نمایش عدد میانگین آن ها را مشخص می نماید)}$$

$$۲۰۴۸=A/D Filter-۸$$

$$۲۰=A/D Gain(mV)-۹$$

$$A/D Exc Mode:Ac-۱۰$$

۱۱-Save Setting (ذخیره تنظیمات)

۱۲-Factory Set (تنظیمات اولیه دستگاه را بازآوری می نماید)

برای داده برداری از دستگاه ابتدا نمایشگرهای لودسل و کرنش سنج روشن می گردد و با پیچاندن فلکه نیرو پیش باری در حدود ۵ کیلوگرم بر انتهای خرپا اعمال می گردد که البته مقدار آن بر روی نمایشگر نیرو قابل مشاهده می باشد. لازم به ذکر است مقدار هر عضو می بایست پیش از بارگذاری صفر گردد.

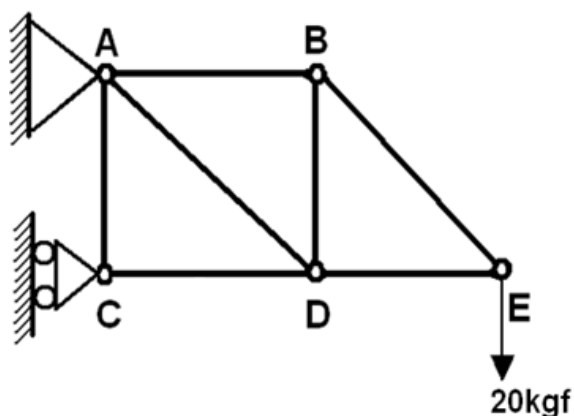
در این جا پیش از آغاز آزمون مقدار سیگنال هر عضو از نمایشگر کرنش و همینطور مقدار نیروی نمایشگر نیرو با فشردن دکمه Zero صفر می گردد.

حال با پیچاندن فلکه نیرو در هر مرحله ۱۰Kgf نیرو به خرپا وارد می شود و مطابق جدول پایین مقادیر هر کانال از روی نمایشگر کرنش قرائت شده و ثبت می گردد.

Force (Kgf)	Channel1	Channel2	Channel3	Channel4	Channel5	Channel6	Channel7	Channel8
10								
20								
30								

بنابراین با نسبت دادن مقدار سیگنال در کانال ۸ نمایشگر کرنش به مقدار نیرو نمایش یافته نمایشگر لودسل، می‌توان مقدار نیرو را در هر عضو (یا هر کانال) به دست آورد.

به عنوان مثال اگر مطابق شکل پایین نیروی ۲۰ Kgf به خرپا وارد شود، به ترتیب ۲۰ Kgf در نمایشگر نیرو مشاهده و همین طور مقادیر سیگنال اعضای مختلف مانند جدول پایین در نمایشگر کرنش (در هر کانال) مشاهده می‌شود.



شکل (۲-۴) : وارد کردن نیرو با چرخاندن فلکه

Force (Kgf)	Channel1 عضو ۱	Channel2 عضو ۲	Channel3 عضو ۳	Channel4 عضو ۴	Channel5 عضو ۵	Channel6 عضو ۶	Channel7 عضو ۷	Channel8 عضو ۸
10	0.01	0	0.260	0.367	0.518	0.259	0.365	0.256

برای به دست آوردن نیروی واقعی در اعضا خواهیم داشت:

با رعایت نسبت تناسب 0.256 mv/v به ازای هر ۲۰ Kgf داریم:

$$\text{for member 3 : } \frac{0.256}{0.260} = \frac{20\text{kgf}}{F_4} \rightarrow F_4 = 20.3\text{kgf}$$

$$\text{for member 5 : } \frac{0.256}{0.518} = \frac{20\text{kgf}}{F_5} \rightarrow F_5 = 40.4\text{kgf}$$

for member 7 : $\frac{0.256}{0.365} = \frac{20\text{kgf}}{F_7} \rightarrow F_7 = 28.5\text{kgf}$

به همین ترتیب می‌توان مابقی نیروهای تجربی اعضای خرپا را به دست آورد.

پرسش‌ها:

۱- مقدار نیروی تئوری با مقادیر تجربی به دست آمده از نمایشگر مقایسه شود.

۲- با افزایش نیرو بر روی خرپا، نسبت افزایش بار در هر عضو چقدر می‌باشد و آیا این رابطه برای همه اعضا خطی می‌باشد؟

۳- نتایج آزمون را با بستن قطعه ثابت کننده تیکه گاه بر روی مفصل غلطکی خرپا به دست آورید. (در این حالت مفصل C گیر دار میشود)

۳-۲) آزمایش دوم

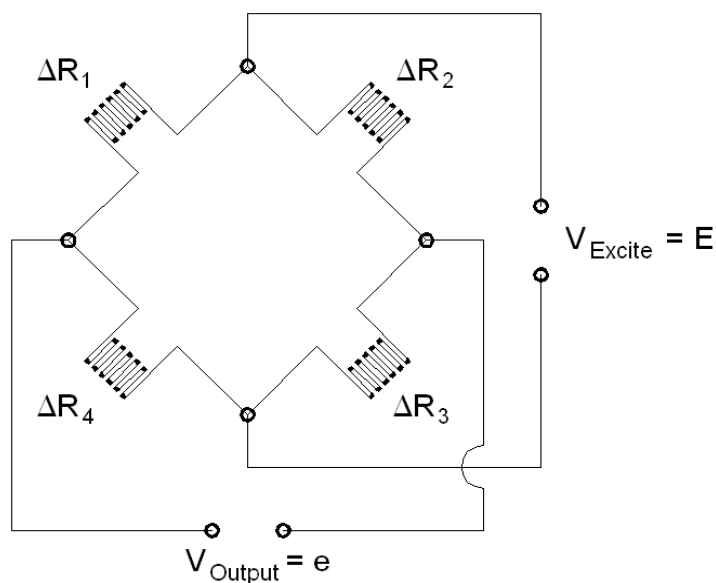
محاسبه مقدار سیگنال عضو خرابا به صورت تئوری:

برای کرنش رابطه زیر را داریم:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \varepsilon \quad (۱)$$

که در آن K ضریب کرنش سنج، R مقاومت اولیه کرنش سنج و ΔR تغییرات مقاومت کرنش سنج می باشد.

با توجه به آنکه مقاومت اولیه کرنش سنج ها یکی می باشد و همچنین بر روی هر عضو خرابا چهار عدد کرنش سنج تشکیل یک مدار پل وتستون (شکل ۵-۲) را می دهند، بنابراین با حل معادلات مدار خواهیم داشت:



شکل (۵-۲): مدار پل وتستون

$$\text{if } R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad (۲)$$

$$\frac{V_{\text{output}}}{V_{\text{excite}}} = \frac{e}{E} = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4}{\sum_{i=1}^4 R_i} \rightarrow \frac{e}{E} = \frac{\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4}{4R} \quad (۳)$$

با جاگذاری معادله های (۱) و (۲) در رابطه (۳) داریم (ضمناً واحد $\frac{e}{E}$ بر حسب میلی ولت بر ولت یا $\left(\frac{mV}{V}\right)$ می باشد):

$$\frac{e}{E} = K \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)}{4} \quad (۴)$$

با توجه به آنکه دو عدد از کرنش سنج ها به صورت عرضی بر روی عضو خرپا نصب شده است بنابراین می بایست کرنش آنها توسط ضریب پواسون محاسبه گردد. البته با توجه به روابط زیر در مدار پل وتستون علامت تمامی کرنشها در رابطه (۴) مثبت می گردد و خواهیم داشت:

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_4, \varepsilon_1 = \varepsilon_3, \varepsilon_2 = -\nu \varepsilon_1 \quad (۵)$$

با جایگزاری رابطه (۵) در (۴) :

$$\frac{e}{E} = K \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 + \varepsilon_4)}{4} \rightarrow \frac{e}{E} = K \frac{(\varepsilon_1 + \nu \varepsilon_1)}{2} \quad (۶)$$

در رابطه (۷)، F نیرو در هر عضو و A سطح مقطع عضو خرپا می باشد:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (۷)$$

حال با جایگزاری σ و E (مدول الاستیک) در رابطه (۷)، ε_1 به شکل زیر محاسبه می گردد:

$$\sigma = E \varepsilon_1 \quad (۸)$$

و در پایان با جایگزاری ε_1 در رابطه (6) مقدار سیگنال تئوری (e/E) به دست می آید.

۲-۴) روش انجام آزمایش :

مانند مراحل گذشته برای داده برداری از دستگاه ابتدا نمایشگرهای لودسل و کرنش سنج روشن می گردد و با پیچاندن فلکه نیرو پیش باری در حدود ۵ کیلوگرم بر انتهای خرپا اعمال می گردد که البته مقدار آن بر روی نمایشگر نیرو قابل مشاهده می باشد. لازم بذکر است مقدار هر عضو می بایست پیش از بارگذاری صفر گردد. برای این کار دکمه Enter نمایشگر کرنش هر بار زده می شود تا کانال مربوط تغییر کرده و مقدار سیگنال هر عضو نمایش یابد. در اینجا پیش از آغاز آزمون مقدار سیگنال هر عضو از نمایشگر کرنش و همینطور مقدار نیروی نمایشگر نیرو با فشردن دکمه Zero صفر می گردد.

حال با پیچاندن فلکه نیرو در هر مرحله ۱۰ Kgf به خرپا نیرو وارد می شود و مطابق جدول پایین مقادیر هر کانال از روی نمایشگر کرنش قرائت شده و ثبت می گردد.

Force (Kgf)	Channel1 (تجربی)	Channel2 (تجربی)	Channel3 (تجربی)	Channel4 (تجربی)	Channel5 (تجربی)	Channel6 (تجربی)	Channel7 (تجربی)	Channel8 (تجربی)
10								
20								
30								

در قدم بعد مقادیر تئوری سیگنال هر عضو محاسبه می شود و مانند جدول پایین لیست می گردد .

Force (Kgf)	Channel1 (تئوری)	Channel2 (تئوری)	Channel3 (تئوری)	Channel4 (تئوری)	Channel5 (تئوری)	Channel6 (تئوری)	Channel7 (تئوری)	Channel8 (تئوری)
10								
20								
30								

به عنوان مثال اگر نیروی ۲۰ کیلوگرم به خرپا وارد شود در نمایشگر کرنش مقدار ۰.۰۲۵۶ به عنوان مقدار تجربی مشاهده می شود. برای محاسبه تئوری سیگنال داریم:

$$\sigma = \frac{F}{A} \rightarrow \sigma = \frac{20 * 9.81}{3.14 * 4 * 4} \rightarrow \sigma = 3.905 \text{ Mpa}$$

$$\sigma = E \varepsilon_1 \rightarrow \varepsilon_1 = 1.9527e^{-5}$$

برای $v=0.25$ ، $K=2.05$ و با توجه رابطه (6):

$$\frac{e}{E} = K \frac{(\varepsilon_1 + v\varepsilon_1)}{2} = 2.05 * \frac{1.9527e^{-5} * 1.25}{2} = 2.5e^{-5} \frac{V}{V} = 0.0250 \frac{mV}{V}$$

که در اینجا باید مقدار تئوری با مقدار تجربی برای هر عضو مقایسه گردد .

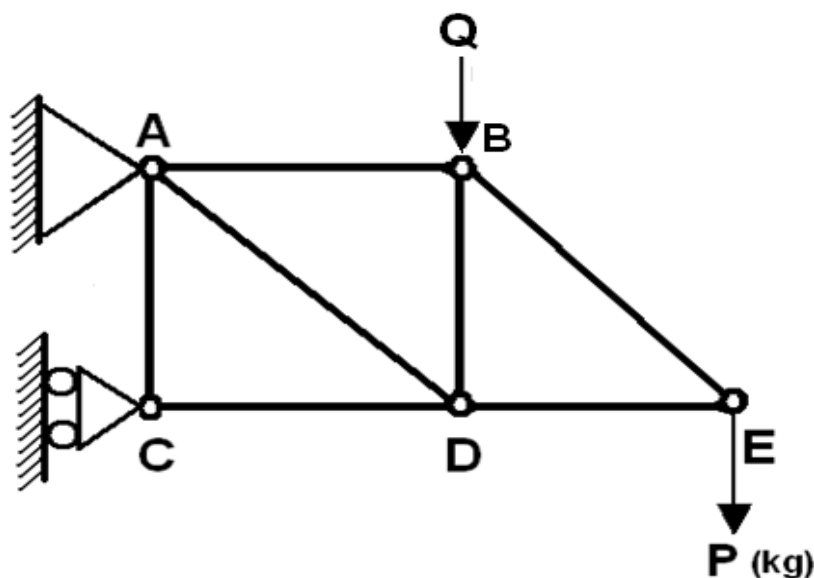
۲-۵) آزمایش سوم

۲-۵-۱) محاسبه ی میزان جابجایی یک نقطه ی خرپا

۲-۵-۲) تئوری آزمون

برای به دست آوردن جابجایی نقطه ای از خرپا (مانند B) نیاز است نخست یک نیروی غیر واقعی (مانند Q) بر نقطه مورد نظر اعمال گردد (شکل ۲-۶). سپس با نوشتن معادلات کاستیگلیانو برای هر عضو، مقدار انرژی کرنشی کل خرپا محاسبه شود. سپس با دیفرانسیل گیری نسبت به نیروی غیر واقعی Q و قرار دادن صفر به جای Q ، میزان جابجایی آن نقطه بدست می آید.

برای محاسبه انرژی نیاز است نیرو در اعضای خرپا با اعمال بار فرضی Q محاسبه شود. سپس نیروی اعضا در معادلات انرژی جاگذاری شود.



شکل (۲-۶): اعمال نیروی فرضی برای محاسبه جابجایی

برای محاسبه جابجایی نقطه $B(Y_B)$ باید جدول زیر تکمیل گردد .

اعضا	F_i	$\frac{\partial F_i}{\partial Q}$	L_i	A_i	$(\frac{F_i L_i}{A_i}) \frac{\partial F_i}{\partial Q}$
AB					
AC					
AD					
CD					
BD					
BE					
DE					
CB					

زمانیکه تئوری کاستیگلیانو برای تمامی اعضا خرپا نوشته شود، خواهیم داشت :

(البته در این رابطه F نیرو ، L طول عضو خرپا ، A سطح مقطع عضو و E مدول الاستیک می باشد)

$$Y_B = \sum (\frac{F_i L_i}{A_i E}) \frac{\partial F_i}{\partial Q} = \frac{1}{E} \sum (\frac{F_i L_i}{A_i}) \frac{\partial F_i}{\partial Q} \quad (9)$$

با جایگذاری مقادیر در فرمول بالا جابجایی تئوری نقطه ی B مشخص می گردد.

۶-۲) روش به دست آوردن جابجایی تجربی خرپا

برای اندازه‌گیری جابجایی خرپا نیاز است نخست مقدار دایل گیج دستگاه پیش از بار گذاری صفر گردد. سپس مانند آزمون پیشین بارگذاری انجام شود و میزان جابجایی نقطه مورد نظر مطابق جدول زیر برای هر بارگذاری ثبت گردد. لازم به ذکر است دقت دایل گیج دستگاه در حد میکرومتر می‌باشد و هر دور کامل آن از ۰ تا ۱۰۰ مدرج شده است که در نهایت یک دور ۰.۲ میلیمتر را نمایش می‌دهد. در پایان اندازه‌گیری، مقدار تجربی جابجایی خرپا با مقدار تئوری مقایسه می‌شود و در جدول زیر تنظیم می‌گردد.

خیز تجربی $Y_{B'}$	خیز تئوری Y_B	نیروی اعمالی F_i

پرسش‌ها:

۱- مقدار اختلاف و خطای جابجایی تئوری با مقدار تجربی به دست آمده از دایل گیج مقایسه شود.

۲- نتایج آزمون را با بستن قطعه ثابت کننده تیکه گاه بر روی مفصل غلطکی خرپا بدست آورید. (در این حالت مفصل C گیر دار می‌شود)

شرایط نگهداری دستگاه :

درجه حرارت مناسب ($^{\circ}\text{C}$ ۴۰ تا $^{\circ}\text{C}$ ۱۵)

رطوبت ۹۰ تا ۱۰ بدون تقطیر

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

عدم وجود گرد و غبار

عدم تابش مستقیم نور خورشید

عدم رطوبت زیاد و محیط خورنده

عدم وجود باد