



راهنمای دستگاه تنش-کرنش (SST-20)

شرکت طراحی مهندسی سنتام

تهیه و تنظیم: واحد پشتیبانی

تابستان ۹۷

www.santamco.com

فهرست

- ۱) مقدمه ۳
- ۲) تاریخچه پل وتسون ۳
- ۳) ساختمان مدار پل وتسون ۳
- ۴) کاربرد مدار پل وتسون ۴
- ۵) روش کار با ایندیکتور ۵
- ۶) قسمت های مختلف ایندیکتور و تنظیم آن ۶
- ۷) هدف آزمایش ۸
- ۸) آزمایش کشش ۹
- ۹) آزمایش پیچش ۱۰
- ۱۰) آزمایش خمش ۱۲
- ۱۱) نکاتی در خصوص کار با دستگاه و نگهداری از آن ۱۳

(۱) مقدمه

کرنش سنج^۱ ابزاری برای اندازه‌گیری کرنش در اجسام مختلف است. این ابزار در سال ۱۹۸۳ توسط ادوارد سیمونز^۲ و آرتور روگ^۳ ابداع شد. کرنش سنج را با استفاده از چسبنده‌های مخصوصی روی قطعه می‌چسبانند. کرنش قطعه سبب تغییر مقاومت الکتریکی کرنش سنج می‌شود.

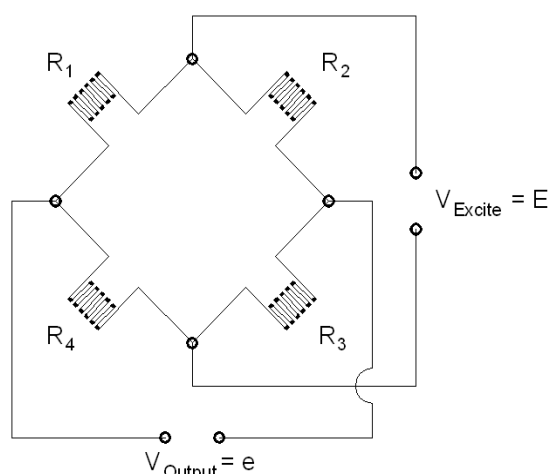
هدف از طراحی این دستگاه آشنایی با طرز کار کرنش سنج می‌باشد. کرنش سنج بر اساس قانون پل وتسون^۴ کار می‌کند که در ادامه به شرح کار این ابزار و دستگاه می‌پردازیم.

(۲) تاریخچه پل وتستون :

آنچه امروز به نام مدار پل وتستون معروف است، نخستین بار در سال ۱۸۳۳ توسط ساموئل هانتز کریستی توصیف شد، اما کاربردهای زیاد این مدار توسط کارلز وتستون اختراع شد، به همین خاطر این مدار عموماً به نام پل وتستون معروف شد.

(۳) ساختمان مدار پل وتستون :

همانگونه که در شکل (۱) دیده می‌شود، مدار پل وتستون از چهار مقاومت R_1 ، R_2 ، R_3 ، R_4 تشکیل شده است. اساس کار مدار پل وتستون اینگونه است که ولتاژ ورودی به دو قسمت تقسیم می‌شود. جریان خروجی از هر دو ولتاژ تقسیم شده تشکیل می‌گردد. در فرم کلاسیک مدار پل وتستون، یک گالوانومتر (ماده بسیار حساس به جریان مستقیم) در بین ورودی و خروجی ولتاژ نصب می‌شود.



شکل (۱): ساختمان مدار پل وتسون

¹ Strain Gauge

² Edward E. Simmons

³ Arthur C. Ruge

⁴ Wheatstone Bridge

(۴) کاربرد مدار پل وتستون :

پل وتستون دارای کاربردهای بسیار زیادی است. امروز یکی از کاربردهای عمومی مدار پل وتستون در صنعت، استفاده از آن در حسگرهای بسیار دقیق است .

در این دستگاهها مقاومت درونی بر اساس سطحی از کرنش (یا فشار یا دما و ...) تغییر می کند و به عنوان مقاومت نا معلوم R_x عمل می کند. همچنین به جای این که با تغییر دادن مقاومت R_2 در مدار تعادل ایجاد شود، از گالوانومتری که می تواند میزان عدم تعادل در پل را بر اساس تغییر کرنش یا شرایط دیگر اعمال شده بر حسگر کالیبره کند، استفاده می شود.

در این دستگاه کرنش ایجاد شده در آزمایش های خمش^۱، پیچش^۲ و کشش^۳ در اثر اعمال نیرو به کرنش سنج چسبانده شده بر روی نمونه اندازه گیری می شود و بر روی نمایشگر کرنش بر حسب mv/v نمایش داده می شود.

در مدار پل وتستون داریم:

$$if: \quad e = 0 \quad \rightarrow \quad \left. \begin{array}{l} i_1 R_1 = i_2 R_2 \\ i_1 R_4 = i_2 R_3 \end{array} \right\} \quad \rightarrow \quad R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$$

$$i = i_1 + i_2$$

$$i_1 = \frac{V}{R_1 + R_4}$$

$$i_2 = \frac{V}{R_2 + R_3}$$

$$V_b - V_a = \frac{V R_1}{R_1 + R_4}$$

$$V_c - V_a = \frac{V R_2}{R_2 + R_3}$$

$$V_{output} = V_c - V_b$$

$$\frac{V_{output}}{V_{excite}} = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} \quad ; \quad R_1 = R_2 = R_4 = R \quad , \quad R_3 = R + \Delta R$$

$$\frac{V_{output}}{V_{excite}} = \frac{R \Delta R}{R(4R + 2\Delta R)} \quad \xrightarrow{R \gg \Delta R} \quad \frac{V_{output}}{V_{excite}} = \frac{1}{4} \Delta R$$

¹ Bending

² Torsion

³ Tensile

فرمول‌های کرنش سنج:

در روابط زیر K ثابت کرنش سنج می‌باشد که اینجا برابر با ۲ است. این ضریب وابسته به جنس کرنش‌سنج می‌باشد.

$$\frac{\Delta R_i}{R_i} = K \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, 3, 4 \quad K = 2$$

از آنجایی که کرنش سنج‌ها یکسان هستند، در نتیجه مقاومت معادل آن‌ها یکسان خواهد بود. از طرف دیگر به دلیل ساختار قرار گرفتن مقاومت‌ها، علامت کرنش متفاوت می‌شود (دو مقاومت تحت فشار و دو مقاومت تحت کشش هستند):

$$\text{if: } R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$$

$$\frac{V_{\text{output}}}{V_{\text{excite}}} = \frac{e}{E} = \frac{1}{4R} (\Delta R_1 - \Delta R_2 + \Delta R_3 - \Delta R_4)$$

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

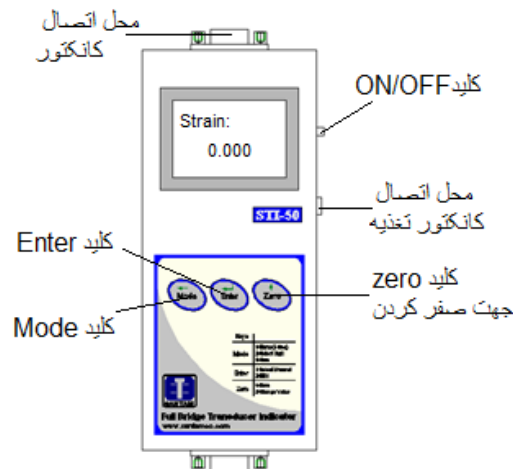
کرنش کمیتی بدون واحد است ولی در اینجا به دلیل اینکه ساختار به دست آمدن کرنش، بر حسب اختلاف ولتاژ تغذیه و خروجی است و اختلاف ولتاژ در حد میلی ولت است در نتیجه واحد $\frac{e}{E}$ بر حسب $\frac{mv}{v}$ خواهد بود.

اکنون به شرح نمایشگر می‌پردازیم :

۵) روش کار با ایندیکیتور (Indicator Full Bridge Transducer) :

دستگاه Indicator برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلفی از قبیل نیرو، فشار و به کار برده می‌شود در اینجا نحوه استفاده از این دستگاه را برای اندازه‌گیری کرنش بر حسب mv/v توضیح می‌دهیم:

۶) قسمت های مختلف Indicator :



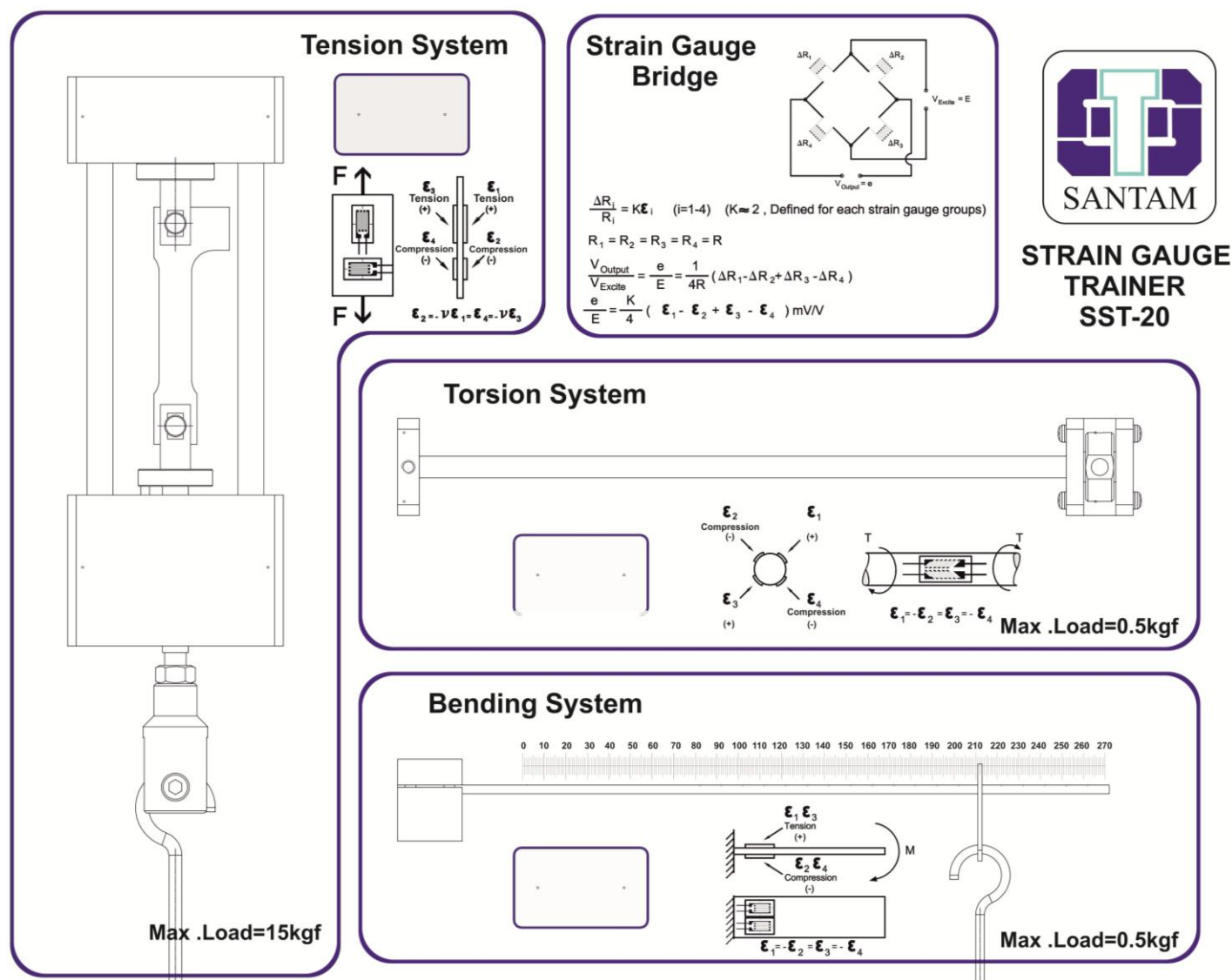
شکل (۲) : نمایشگر

هر نمایشگر دارای سه دکمه Mode، Enter، Zero 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 دکمه 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. مقادیر مربوط به هر کمیت به شرح ذیل می باشد:

- 1-Ro = 3
- 2-Capacity = 3
- 3-Param Title = strain
- 4-Max Channel= 8
- 5- Unit= mv/v
- 6- Point= 4 (تعداد رقم های اعشاری قابل نمایش را مشخص می کند)
- 7- Average= 20 (تعداد دفعات داده برداری در ثانیه را برای نمایش عدد میانگین آن ها را مشخص می نماید)
- 8-A/D Filter= 2048
- 9-A/D Gain(mV)= 20
- 10-A/D Exc Mode: Ac
- 11- Save Setting (ذخیره تنظیمات)
- 12- Factory Set (تنظیمات اولیه دستگاه را بازآوری می نماید)

برای استفاده به ترتیب زیر عمل کنید :

۱. کابل رابط بین نمایشگر و دستگاه را از یک طرف به نمایشگر و از طرف دیگر آن به محل اتصال کانکتور آزمایش مورد نظر (خمش، کرنش، پیچش) بر روی تابلو نصب نمایید.
۲. کانکتور تغذیه را نیز به محل نشان داده شده متصل کرده و آداپتور را به برق بزنید.
۳. با استفاده از کلید ON/OFF دستگاه نمایشگر را روشن کنید.
۴. پس از روشن کردن دستگاه آرم شرکت سنتام روی صفحه نمایش دیده می‌شود و پس از آن عبارت $Cap: 3mv/v$ ظاهر می‌گردد و در نهایت $R.O : xx:xx mv/v$ به نمایش در می‌آید که مقدار کرنش را در اثر اعمال بار نشان می‌دهد. ممکن است نمایشگر عدد خاصی را نشان دهد، دقت کنید قبل از انجام آزمایش و بعد از آویزان کردن قلاب با استفاده از کلید Zero که در شکل (۲) نشان داده شود مقدار عددی نمایشگر را صفر نمایید.



شکل (۳): نمای کلی از دستگاه و اطلاعات مندرج برای هر بخش

۷) هدف آزمایش :

هدف آزمایش آشنایی با کرنش سنج و کاربردهای مختلف آن در صنعت می باشد که ما در اینجا استفاده از کرنش سنج را در اندازه گیری کرنش توضیح می دهیم.

۸) آزمایش کشش^۱:

ابتدا کانکتور نمایشگر را به محل اتصال مربوط به آزمایش کشش بر روی تابلو نصب نموده، سپس قلاب مربوطه را آویزان کنید و نمایشگر را توسط کلید Zero صفر نمایید. سپس با اضافه کردن وزنه خطی بودن کرنش را مشاهده می‌کنید و در نهایت کرنش را در یک بار معلوم از روی نمایشگر قرائت نموده و سپس از روی فرمول‌ها کرنش را و از آنجا بر حسب mv/v به دست آورید و مقدار تئوری را با عملی مقایسه کنید. (جنس نمونه فولاد می‌باشد)

فرمول‌های مورد نیاز:

$$\sigma = \frac{F}{A} = m \cdot \frac{g}{A} \text{ MPa}, \sigma = E\varepsilon$$

برای فولاد داریم:

$$v = 0.3 \quad \text{ضریب پواسون} \quad , \quad E = 200 \text{ GPa} \quad \text{مدول کشسانی}$$

نکته مهم:

برای به دست آوردن تنش در هر مرحله داشتن ابعاد نمونه مورد آزمایش امری اجتناب ناپذیر است، به دلیل وجود تفرانس ابعادی و خطاهای احتمالی در تولید نمونه‌های مذکور، از ذکر ابعاد دقیق آن‌ها اجتناب شده تا دانشجو خود ابعاد را به صورت دقیق اندازه‌گیری و در فرمول‌ها استفاده نماید.

به دلیل نحوه چیدمان کرنش سنج‌ها و زاویه آن‌ها نسبت به یکدیگر داریم:

$$\varepsilon_2 = -v\varepsilon_1 = \varepsilon_4 = -v\varepsilon_3$$

$$\frac{e}{E} = \frac{K}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4) \text{ mv/v}$$

$$\frac{e}{E} = \frac{K}{4} (2\varepsilon_1 + 2v\varepsilon_1) \text{ mv/v}$$

تذکر مهم:

با توجه به ابعاد نمونه، بیشترین وزنی که نمونه در این مقدار تست می‌تواند تحمل کند، ۱۵ کیلوگرم می‌باشد.

سوال:

۱. مقدار عددی را با مقدار فرمولی مقایسه کنید و در صورت وجود خطا علت را توضیح دهید.
۲. نمودار نیرو - کرنش را رسم نمایید.
۳. ضریب پواسون را تعریف نمایید.

¹ Tensile

۹) آزمایش پیچش (Torsion) :

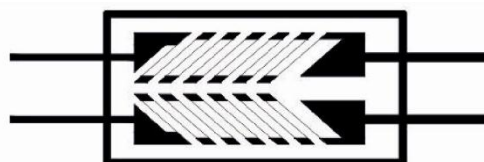
در این آزمایش با ایجاد گشتاور T (N.mm) بر روی نمونه پیچش ایجاد می‌گردد. به این طریق با اضافه کردن وزنه بر روی قلاب خطی بودن کرنش را چک کنید و همچنین در یک بار مشخص میزان کرنش ایجاد شده را توسط نمایشگر اندازه گیری کرده و سپس مانند آزمایش اول کرنش را از طریق فرمول محاسبه نموده و از آنجا e/E بر حسب mv/v را به دست آورده و با مقدار به دست آمده از روش عملی مقایسه کنید.

$$T = m \cdot g \cdot L \quad (N \cdot mm) \quad L = \text{بازوی گشتاور}, m = \text{جرم}$$

$$J = \frac{\pi}{2} * C^4 (mm^4) \quad C = \text{شعاع نمونه}$$

$$\tau_{max} = \frac{TC}{J}$$

کرنش سنج‌های استفاده شده برای این بخش از نوع برشی هستند که نسبت به خط افقی زاویه ۴۵ دارند که در شکل زیر نمایی شماتیک از کرنش سنج‌های برشی نصب شده بر روی نمونه نمایش داده شده است که در واقع هر واحد از آن، از دو کرنش سنج برشی تشکیل شده است. به دلیل اختلاف زاویه ۹۰ درجه بین این دو، در حین اعمال گشتاور یکی از آنها تحت فشار (در راستای تار کرنش سنج) و دیگری تحت کشش (در راستای تار کرنش سنج) قرار می‌گیرد:



شکل (۴): نمایی از کرنش سنج برشی

در این روش نمونه تحت پیچش قرار داده می‌شود، در نتیجه المان کرنش سنج تحت پیچش خالص قرار می‌گیرد که بعد از اعمال روابط دایره مور و انجام محاسبات آن، تنش در راستای تارهای کرنش سنج و عمود بر آنها به دست می‌آید. از این تنش‌ها برای به دست آوردن کرنش تئوری استفاده می‌کنیم.

$$\left. \begin{array}{l} \sigma = \tau_{max} \\ \sigma = \varepsilon E \end{array} \right\} \rightarrow \varepsilon = \frac{\tau_{max}}{E}$$

تغییرات طول که به سبب آن مقاومت در سیم تغییر کرده و نهایتاً باعث اختلاف ولتاژ در خروجی می شود، در دو کرنش سنج مثبت و در دو کرنش سنج منفی خواهد بود. همچنین به دلیل اینکه المان مورد بررسی تحت دو تنش عمودی قرار دارد، جهت محاسبه کرنش از ضریب پواسون بهره می بریم. تنش در راستای تار فشاری و در جهت عمود بر آن کششی و مساوی با تنش برشی ماکزیمم می باشد. در نتیجه داریم:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_3 = \frac{\sigma_a}{E} + \nu \frac{\sigma_b}{E} \quad , \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_4 = \frac{\sigma_a}{E} + \nu \frac{\sigma_b}{E} \quad ; \quad \sigma_2 = -\sigma_1$$

از قبل داشتیم:

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

$$\frac{e}{E} = \frac{K}{4} (2\varepsilon_1 - 2\varepsilon_4) = \frac{K}{4} \times 2 \times \left(\frac{\sigma_1}{E} + \nu \frac{\sigma_1}{E} - \left(-\frac{\sigma_1}{E} - \nu \frac{\sigma_1}{E} \right) \right)$$

$$\frac{e}{E} = \frac{K}{2} \times 2 \times (1 + \nu) \times \left(\frac{\sigma_1}{E} \right)$$

تذکر مهم:

با توجه به ابعاد نمونه، بیشترین وزنی که نمونه در این مدت تست می تواند تحمل کند ۰/۵ کیلو گرم می- باشد.

سوال :

۱. e/E به دست آمده از فرمول را با مقدار خوانده شده از ایندیکیتور مقایسه کنید.

۲. نمودار گشتاور-کرنش را رسم نمایید.

۱۰) آزمایش خمش^۱:

ابتدا کانکتور نمایشگر را به محل اتصال مربوطه آزمایش خمش بر روی تابلو نصب نموده ، سپس قلاب مربوطه را در فاصله مشخصی آویزان کنید و نمایشگر را توسط کلید Zero صفر نمایید. سپس با اضافه کردن وزنه، خطی بودن کرنش را مشاهده می کنید و در نهایت کرنش را در یک بار معلوم از روی نمایشگر قرائت نموده و سپس از روی فرمول‌ها کرنش را و از آنجا e/E بر حسب mv/v به دست آورید و مقدار تئوری را با عملی مقایسه کنید .
(جنس نمونه فولاد می باشد)

فرمول‌های مورد نیاز :

$$\sigma = \frac{MC}{I}$$

$$M = mgL$$

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

$$\sigma = E\varepsilon \rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

$$\varepsilon_2 = -\nu\varepsilon_1 = \varepsilon_4 = -\nu\varepsilon_3$$

تذکر مهم:

با توجه به ابعاد نمونه، بیشترین وزنی که نمونه در این متد می تواند تحمل کند، ۰.۵ کیلو گرم می باشد.

سوال

۱. e/E به دست آمده از فرمول را با مقدار خوانده شده از ایندیکتور مقایسه کنید.

۲. نمودار مماس-کرنش را رسم نمایید.

۱۱) نکاتی در خصوص کار با دستگاه و نگهداری آن:

¹ Bending

برای حفظ و مراقبت از دستگاه و بالا بردن عمر کاری دستگاه رعایت یک سری اصول الزامی است، که این اصول شامل موارد ایمنی و حفاظتی از دستگاه و شرایط محیطی آزمایشگاه می‌باشد که در ادامه به ذکر آن‌ها می‌پردازیم.

نکات ایمنی و حفاظتی دستگاه:

- ۱- کرنش سنج‌ها ابزارهای دقیق، ظریف و حساس به ضربه هستند. از این رو از ضربه زدن، اعمال بارهای ضربه‌ای و رها کردن وزنه بر روی آویز وزنه اجتناب کنید.
- ۲- در بخش مدت تست پیچش، اهرم اعمال گشتاور بعد از انجام تست مربوطه شل شود تا هم برای افراد ایجاد خطر نکند و هم در اثر برخورد احتمالی افراد یا اجسام با آن، به نمونه و میز ضربه وارد نشود.
- ۳- در هنگام حمل و جابجایی از قسمت‌های مورد آزمایش و اتصالات آن‌ها جهت حمل استفاده نشود و از وارد شدن هرگونه ضربه به بخش‌های مختلف اجتناب شود و این کار با احتیاط انجام شود.

شرایط نگهداری دستگاه :

درجه حرارت مناسب (15°C تا 40°C)

رطوبت 10° تا 90° 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