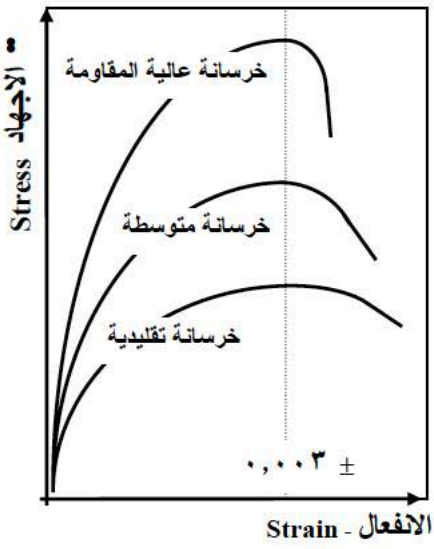
٦- معيار ا لمرونة Modulus of Elasticity

٦-١ تعريف

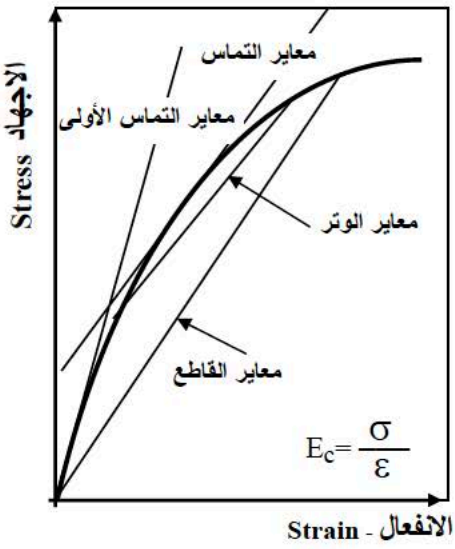
معيارالمرونة هو التغير فى الإجهاد بالنسبة إلى التغير فى الإنفعال المرن. وهو يعبر عن صلابة المادة أى مقاومتها للتشكل.

و معاير المرونة دالة فى مقاومة الخرسانة للضغط (f_c) $E_c = \varphi$ ونظراً لأن الخرسانة المتصلدة مادة ليست مرنه تماماً Elasto-plastic فإن العلاقة بين الإجهاد والإنفعال تكون غالباً منحنى ويقل هذا الإنحناء كلما أرتفعت رتبة الخرسانة أنظر شكل (٣٦) . ويمكن التعبير عن معاير المرونة بأحد الصور الأربعة الآتية والتى يوضحها الشكل (٣٧).

١- معاير التماس الأولى Initial Tangent Modulus
٢- معاير التمـــاس Tangent Modulus
٣- معاير القـاطـع Secant Modulus
٤- معاير الـوتـــر Chord Modulus



شكل (٣٦)العلاقة بين الإجهاد والانفعال.



شكل (٣٧) الصور المختلفة لمعاير المرونة.

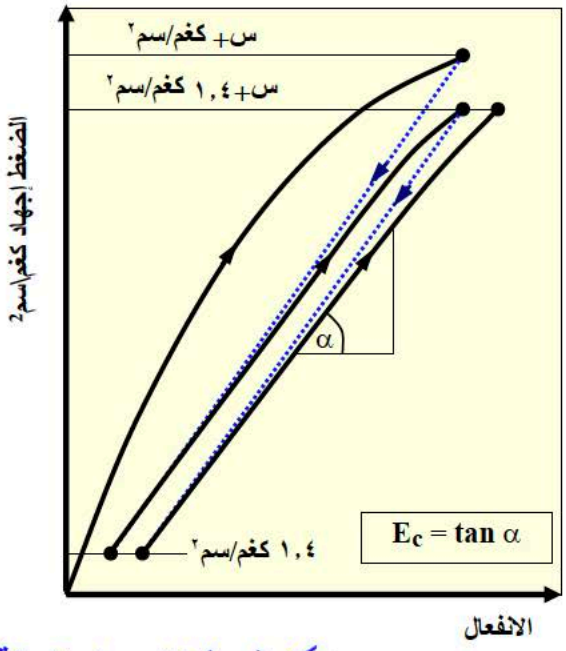
٢-٦ اختبار معاير المرونة فى الضغط Modulus of Elasticity Test

يهدف هذا الإختبار لتعيين معاير المرونة للخرسانة لفائدة ذلك فى معرفة صلابة Stiffness الخرسانة وكذلك لمعرفة قيمة معاير المرونة فى حساب تشكل المنشآت الخرسانية Deformation كما يفيد فى تعيين نسبة معاير مرونة الحديد إلى الخرسانة لأهميتها فى التصميم $n = E_S / E_C$. وفيما يلي شرح لكيفية تعيين معاير المرونة للخرسانة وذلك طبقاً لما جاء بالمواصفات الإنجليزية B.S.S. 1881

❐ طريقة التحميل الإستاتيكى

- تُعمل خلطة خرسانية وفقاً للبيانات المطلوبة وتصب وتدمك هذه الخلطة فى قوالب إما على شكل إسطوانات بقطر ١٥ سم وإرتفاع ٣٠ سم أو منشورات بحيث تكون النسبة بين الإرتفاع إلى العرض لا تقل عن ٢ وتصب من نفس الخلطة عينات للضغط بعد ٢٨ يوما.

- بعد المعالجة لمدة ٢٨ يوماً أو المدة المحددة يثبت مقياسين للإنفعال على سطح العينة وفى مقابل بعضها وموازيين لمحور عينة الإختبار كما في الشكل(٣٨). تحمل العينة بماكنة الإختبار بمعدل ١٤٠كغم/سم٢/دقيقة حتى يصل الإجهاد إلى (س + ٧) كغم/سم٢ حيث س = ثلث متوسط مقاومة الضغط.



شكل (٣٨) قياس معاير المرونة للخرسانة.

- يستمر التحميل بهذا الإجهاد لمدة دقيقة على الأقل ثم يقلل تدريجيا إلى ١,٤ كغم\سم^{٢} ثم تؤخذ قراءات مقياس الإنفعال ثم يعاد التحميل ثانياً وبنفس المعدل إلى أن يصل الإجهاد إلى (١,٤ +س) كغم/سم^{٢} ويستمر التحميل عند هذه القيمة لحين أخذ قراءات الإنفعال ثم يقلل التحميل ثانياً وتدريجيا وتؤخذ القراءات ثانياً عند ١,٤ كغم/سم^{٢}.

- يعاد التحميل مرة ثالثة وتؤخذ ١٠ قراءات لمقياس الإنفعال عند ١٠ زيادات للإجهاد تكون متساوية تقريباً إلى أن يصل الإجهاد إلى (١,٤ + س) كغم\سم^{٢}. يتم مقارنة قيم الإنفعال الكلى الحادث فى حالتى التحميل الثانية والثالثة فإذا كان هناك إختلاف أكثر من ٥% يتم عمل دورة تحميل رابعة وهكذا حتى يصل الفرق بين دورتى تحميل متتاليتين إلى ٥% أو أقل وبذلك يمكن تحديد العلاقة بين الإجهاد والإنفعال الناتج عنه من حالة التحميل الأخيرة ويتم قياس معاير المرونة كما فى الشكل.

- تدون النتائج فى جدول يوضح الزيادة فىالحمل ومقدار التشكل المناظر ثم تحسب قيم الإجهادات والإنفعالات المناظرة ومنها يمكن رسم بيانى يوضح العلاقة بين الإجهاد والإنفعال للخرسانة ثم يعين معاير المرونة للخرسانة والذى يساوى ميل هذا الخط البيانى.

الحمل	قراءة أجهزة قياس الإنفعال			الإجهاد	الإنفعال
كغم	الجهاز الأيمن	الجهاز الأيسر	المتوسط	كغم/سم^{٢}	ملم/ملم

❐ تعيين معاير المرونة بالطريقة الديناميكية

يمكن تحديد معاير المرونة ديناميكياً وذلك بتعريض عينة الخرسانة إلى إهتزازات ترددية وتحديد عدد الدورات فى الثانية الذى يحدث عندما تكون إهتزازات الخرسانة فى حالة رنين ثم حساب معاير المرونة من معادلة معينة ترفق مع جهاز الإختبار.

٣-٦ تعيين معاير المرونة فى الإنحناء

وقد يقاس معاير المرونة للخرسانة من إختبار الإنحناءللعتبةاو الكمرى (شكل ٣٩) وذلك بتعريضعتبة خرسانية لحمل مركز فى منتصفها وقياس الترخيم الحادث ثم حساب قيمة معاير المرونة كما يلي:

$$E_c = \frac{PL^3}{48\Delta I}$$

حيث:

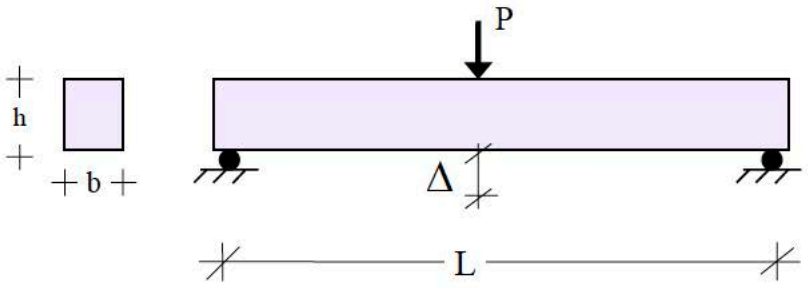
- **P** هو الحمل فى منتصف الكمرة
- **L** هو فضاء الكمرة او العتبة
- **I** هو عزم القصور الذاتى للمقطع المستعرض
- Δ هو الترخيم عند متصف الكمرة **Deflection**

ونظراً لأن النسبة بين الإرتفاع و البحر للكمرة المستخدمة فى هذا الإختبار $(\frac{h}{L})$ تكون كبيرة
نسبياً فيفضل أخذ قيمة الترخيم الناتجة عن تأثير قوى القص فى الإعتبار. وعليه يمكن حساب معاير المرونة من المعادلة الآتية:

$$E_c = \frac{PL^3}{48\Delta I}\left[1+(2.4+1.5\nu)\left(\frac{h}{L}\right)^2-0.84\left(\frac{h}{L}\right)^3\right]$$

حيث:

- **h** هو إرتفاع (عمق) الكمرة
- ν نسبة بواسون (الإنفعال العرضى / الإنفعال الطولى) وهى تتراوح من ٠,١٥ إلى ٠,٢ للخرسانة.



شكل (٣٩)قياس معاير المرونة من إختبار الإنحناء.

٦-٤ العوامل التى تؤثر على قيمة معاير المرونة

تؤثر العوامل المختلفة المؤثرة على مقاومة الضغط غالباً على معاير المرونة بنفس الطريقة تقريباً إلا أنه بمعدل أقل. وأهم هذه العوامل هى كمية الأسمنت ـ نسبة م/س ـ العمر ـ نوع وتدرج الركام ـ حالة المعالجة ـ درجة الرطوبة عند الإختبار ـ معدل التحميل. وهناك عاملان هامان يؤثران على قيمة معاير المرونة وهما:

- ❒ معاير مرونة الركام المستخدم.
- ❒ كثافة الخرسانة .

٦-٥ بعض العلاقات لتعيين معاير المرونة

$$E_c = 0.136\,\gamma^{1.5}\sqrt{f_{cu}} \quad \text{.....} \quad (١)$$

حيث γ كثافة الخرسانة طن/م^3 و E_c , f_{cu} تقاس ب كغم /سم^2.

المعادلة رقم (1) هي معادلة معهد أبحاث الخرسانة الإمريكي ACI وتأخذ كثافة الخرسانة فى الإعتبار وهي قابلة للتطبيق للخرسانة ذات الكثافة من ١٥٠٠ إلى ٢٥٠٠ كغم/م^3

ويعرف معاير المرونة فيها بأنه ميل الخط الواصل من إجهاد قيمته صفر إلى إجهاد قيمته $0.45\,f_c$ (معاير القاطع).

٦-٦ النسبة المعيارية Modular Ratio (n)

وهى النسبة بين معاير المرونة للصلب (E_S) ومعاير المرونة للخرسانة (E_C) وهى مفيدة فى تصميم الخرسانة المسلحة بنظريات المرونة.

أى أن $$n = \frac{E_S}{E_C}$$

و معاير المرونة لصلب التسليح غالباً يتراوح بين ٢٠٠٠ إلى ٢١٠٠ طن/سم٢ أما بالنسبة للخرسانة فنظراً لأنها تتعرض لإجهادات متغيرة أو دائمة وأيضا إلى إجهادات نتيجة الزحف فإن قيمة معاير المرونة غالباً تؤخذ أقل من القيمة المقاسة معملياً. فإذا فرضنا أن معاير مرونة للخرسانة = ١٤٠ طن/سم٢ وللصلب = ٢١٠٠ طن/سم٢ فإن النسبة المعيارية (n) = ٢١٠٠ ÷ ١٤٠ = ١٥ أما فى حالة الخرسانة عالية المقاومة فقد يؤخذ معاير المرونة من ٢٠٠ إلى ٣٥٠ طن/سم٢ أى أن قيمة n قد تصل إلى ١٠ أو أقل.

٦-٧ نسبة بواسون Poisson's Ratio (ν)

هى النسبة بين الإنفعال العرضى الى الإنفعال الطولى عندما يؤثر على الخرسانة إجهاد ضغط فى حدود المرونة. وقيمة نسبة بواسون للخرسانة حوالى ٠,٢٠ فى حالة الحمل المؤثر ببطء أما إذا كان الحمل متزايد فتصل نسبة بواسون إلى حوالى ٠,٢٢ كذلك فإن نسبة بواسون تكون أقل نسبياً فى الخرسانة عالية المقاومة ، ونسبة بواسون لها أهميتها فى التحليل الإنشائى للبلاطات المسطحة والأنفاق ولكنها لا تؤخذ فى الإعتبار فى التصميمات العادية للخرسانة.

$$\nu = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_V}$$

حيث:

ν هى نسبة بواسون

ε_h الإنفعال العرضى

ε_V الإنفعال الطولى

****