



قسم الهندسة الزراعية والنظم الحيوية

# خواص وإختبار المواد

## TEST OF MATERIALS

لطلاب المستوى الثالث برنامج الهندسة الزراعية  
الفصل الدراسي الأول  
العام الجامعي 2023-2022



إعداد  
الأستاذ الدكتور / محمد علي حسن أبو عميرة  
أستاذ الهندسة الزراعية  
كلية الزراعة - جامعة المنوفية

## تمهيد

أهمية اختبار ودراسة الخواص الميكانيكية للمواد سواء أكانت مواد معدنية او مواد بناء هو الحصول على قيم دقيقة لتلك الخواص ويطلب ذلك معرفة جيدة للمواد الهندسية وتقسيماً لها المختلفة وعادة تستخدم الخواص الميكانيكية لتلك المواد في تصميم المنشآت وأجزاء الماكينات ومن المعروف ان التصميم الهندسى يجب ان يكون ملماً بخواص المواد التي سيتم تصنيع المنشآت أو اجزاء الماكينات منها وكذلك العوامل التي تتعرض لها المادة للأحمال المختلفة ونوع تلك الاحمال وكذلك متطلبات الأمان والضمان الواجب تحقيقها

الأستاذ الدكتور / محمد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسة الزراعية جامعة المنوفية

**توصيف مقرر  
(خواص واختبار المواد هـ 307)**



قسم الهندسة  
الزراعية

**1. المعلومات الأساسية Basic Information**

الثالث	المستوى	307 هـ	الرمز	خواص واختبار المواد
3	مجموع	2	نظري	عدد الوحدات الدراسية
عملی				التخصص الهندسة الزراعية

**المعلومات المهنية Professional Information**

**2. الأهداف العامة للمقرر Overall Aims of Course**

1-1	دراسة خطوات إجراء اختبار الشد والضغط والانحناء الكمرى
2-1	دراسة كيفية استخدام الأجهزة المختلفة لقياس الإنفعال
3-1	دراسة إجراء اختبار القص والالتواء الاستاتيكي
4-1	دراسة الإجراءات المعملية للتدرج الحبيبي لمواد البناء
5-1	دراسة التقسيمات المختلفة لركام الخرسانة وكيفية اختبارها

**1. مخرجات التعليم المستهدفة (ILO's)**  
**A- المعرفة والفهم Knowledge and Understanding**

التوافق مع مخرجات	بنهاية دراسة هذا المقرر يكون الطالب قادراً على معرفة وفهم:
أ 15	التقسيمات المختلفة لعينات اختبار الضغط الاستاتيكي المحوري
أ 17	أجهزة اختبار الشد الاستاتيكي
أ 15	الخواص الميكانيكية للمعادن تحت اختبارات الشد والضغط
أ 15	اشتقاق الخواص الميكانيكية تحت اختبار الإجهاد الحقيقي
أ 17	اجراء اختبار الاستطالة تحت إجهاد شد محوري

**(ب) المهارات الذهنية Intellectual Skills**

التوافق مع مخرجات	بنهاية دراسة هذا المقرر يكون الطالب قادرًا على أن:
ب 1/3	يشتق الخواص الميكانيكية لمواد الهندسة من واقع منحنى
ب 2/1	يحل مخرجات جهاز قياس الانفعال عند دراسة الاستطالة
ب 7	يشتق الخواص الميكانيكية للصلب عالي المقاومة
ب 2/3	يحسب التدرج الحبيبي لركام الخرسانة
ب 4	يستربط المعايير الخاصة بالركام الخليط من مواد البناء

**(ح) المهارات المهنية والعملية Professional and Practical Skills**

التوافق مع مخرجات	نهاية دراسة هذا المقرر يكون الطالب قادرًا على أن:
25 ج	يحرى اختبارات الشد والضغط والانحناء 1
25 ج	يستخدم أجهزة قياس الانفعال 2
11 ج	يكتب الدقة عند إجراء اختبارات الشد والضغط والانحناء 3
17 ج	يجري التدرج الحبيبي لمواد البناء وركام الخرسانة 4
18 ج	يحلل المعايير الجيدة الخاصة بركام الخرسانة 5

**(د) المهارات العامة ومهارات الاتصال General and Transferable Skills**

التوافق مع مخرجات	نهاية دراسة هذا المقرر يكون الطالب قادرًا على أن:
1 د	يعرض المعلومات وتفسير الحصول على قيم مختلفة للخواص 1
3 د	يستخدم الوسائل السمعية والبصرية في عرض منحنيات 2
8 د	يستخدم تكنولوجيا المعلومات في الحصول على البيانات المطلوبة 3
9 د	يظهر قدرات التعليم الذاتي والمهارات العلمية لطالب الدراسات 4

**1-محتويات المقرر Contents**

**أولاً: الدروس النظرية**

الاسبوع	الموضوع	عدد الساعات
1	الخواص الميكانيكية للمعادن تحت اختبار الشد	2
2	إجراء اختبار الشد لدراسة الاستطالة	2
3	إجراء اختبار الشد لعينة من الصلب على المقاومة	2
4	إجراء اختبار الشد لعينة من الصلب على المقاومة	2
5	استنتاج العلاقة من الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي	2
6	استنتاج العلاقة من الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي	2
7	عينات اختبار الضغط القياسية	2
8	سلوك المعادن تحت اختبار الشد	2
9	سلوك المعادن تحت اختبار الضغط	2
10	إجراء اختبار الانحناء الكمرى	2
11	الخواص الميكانيكية تحت اختبار الانحناء الكمرى	2
12	التقسيمات المختلفة لركام الخرسانة وخصائصها	2
13	إجراء اختبار التدرج الحبيبي لركام	2
14	طلب اوراق بحثية	2
أجمالي عدد الساعات النظرية:		28

**ثانياً: الدروس العملية**

الاسبوع	الموضوع	عدد الساعات
1	تطبيقات على الخواص الميكانيكية للمعادن تحت اختبار الشد	2
2	تطبيقات على إجراء اختبار الشد لدراسة الاستطالة	2
3	تطبيقات على إجراء اختبار الشد لعينة من الصلب على المقاومة	2
4	تطبيقات على إجراء اختبار الشد لعينة من الصلب على المقاومة	2
5	تطبيقات على استنتاج العلاقة من الإجهاد الحقيقي والانفعال	2
6	تطبيقات على استنتاج العلاقة من الإجهاد الحقيقي والانفعال	2
7	امتحان منتصف الترم	2
8	تطبيقات على عينات اختبار الضغط القياسية	2
9	تطبيقات على سلوك المعادن تحت اختبار الشد	2
10	تطبيقات على سلوك المعادن تحت اختبار الضغط	2
11	تطبيقات على إجراء اختبار الانحناء الكمرى	2
12	تطبيقات على الخواص الميكانيكية تحت اختبار الإنحناء الكمرى	2
13	تطبيقات على التقسيمات المختلفة لرکام الخرسانة و خواصها	2
14	امتحان شفوي	2
أجمالي عدد الساعات العملية:	28	

**3-أساليب وطرق التعليم والتعلم**

الأسلوب (الطريقة)	م
المحاضرة	1-3
الدروس العملية	2-3
التمارين والتقارير	3-3
المناقشات والحوارات	4-3

**4-أساليب وطرق التعليم والتعلم لذوى القدرات المحدودة**

الأسلوب (الطريقة)	م
دراسة الحالة	1-4
العصف الذهني	2-4
المناقشة	3-4
حل المشكلات	4-4

### 5-تقويم الطلاب Time Schedule and Weighting of Assessment

السلسل	الأسلوب (الطريقة)	أسبوع إجراء التقييم	الدرجة
1-5	التمارين والتقارير	خلال الفصل الدراسي	5
2-5	امتحان نصف الترم	7	5
3-5	الامتحان الشفهي	14	10
4-5	الامتحان العملي	15	20
5-5	الامتحان النظري	16	60
	إجمالي الدرجة		100

### 6-قائمة المراجع List of References

1-6	مذكرات ومحاضرات للأستاذ الدكتور / مجد على حسن ابو عميرة في خواص المواد		
2-6	1-المواد الهندسية و مقاومتها و اختبار المواد د/ عبد الكريم عطا ، د/ أحمد على العريان (1975) دار النشر: عالم الكتاب القاهرة 2- خواص المادة ، د. ابراهيم محمد عبد الوهاب ، د. محي فناوى (1997) النشر : دار المعارف - الإسكندرية	كتب عربية	
3-6	Mikhail V. Zhernokletov (2007) "Material Properties under Intensive Dynamic Loading (Shock Wave and High Pressure Phenomena)" Springer. ISBN: 3540368442. 435 pages	كتب أجنبية	
4-6	American Society of Agricultural and Biological Engineers	دوريات ونشرات	
5-6	Material Properties and Testing <a href="http://www.megaenglib.com">www.megaenglib.com</a>	موقع على شبكة الانترنت	

منسق المقرر	رئيس القسم
أ.د/ مجد علي حسن ابو عميرة د/ سعيد فتحي السيسى	أ.د/ أيمن حافظ عيسى

## محتويات الكتاب

### أولاً : اختبار المواد المعدنية

#### رقم الصفحة

#### الموضوع

##### الفصل الأول خواص المواد الهندسية

11-----	أهداف و مخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الأول
11-----	تقسيم المواد الهندسية
14-----	الشكل والانفعال
15-----	منحنى الأجهاد والانفعال
18-----	تعريف الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية
20-----	أسئلة و تدريبات على الفصل الأول

##### الفصل الثاني ماكينات اختبار خواص المواد ومعايرتها

21-----	أهداف و مخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الثاني
22-----	ماكينة الاختبار الميكانيكية
24-----	ماكينة الاختبار الهيدروليكيه
25-----	طرق تثبيت العينة في ماكينة الاختبار
28-----	معاييرة ماكينات اختبار المواد
29-----	حافة المعايرة
33-----	أسئلة و تدريبات على الفصل الثاني

##### الفصل الثالث مقاييس الانفعال

34-----	أهداف و مخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الثالث
34-----	مقاييس الانفعال الميكانيكية
37-----	أسئلة و تدريبات على الفصل الثالث

##### الفصل الرابع الشد الأستاتيكي المحوري الخواص الميكانيكية تحت حمل الشد الأستاتيكي المحوري

38-----	أهداف و مخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الرابع
38-----	سلوك المواد المعدنية تحت تأثير حمل الشد الأستاتيكي المحوري
41-----	الخواص الميكانيكية في المنطقة المرنة تحت تأثير حمل الشد الأستاتيكي المحوري
47-----	الخواص الميكانيكية فوق حدود المرنة تحت تأثير حمل الشد الأستاتيكي المحوري
48-----	أنشطة اضافية (درس عملي)

54-----	أسئلة و تدريبات على الفصل الرابع
---------	----------------------------------

##### الفصل الخامس الشد الأستاتيكي المحوري ( اختبار الشد لدراسة الاستطالة Elongation )

55-----	أهداف و مخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الخامس
57-----	توزيع الاستطالة على طول القياس
57-----	العلاقة بين طول القياس والاستطالة

60	أنشطة اضافية (درس عمل)
62	أسئلة وتدريبات وأنشطة اضافية علي الفصل الخامس
66	<b>الفصل السادس الشد الأستاتيكي المحوري (الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى )</b>
66	أهداف ومخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل السادس
67	الأجهاد الحقيقى
67	الأنفعال الحقيقى
71	علاقة الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى بالأجهاد العادى والأنفعال العادى
74	أنشطة اضافية (درس عمل)
79	أسئلة وتدريبات وأنشطة اضافية علي الفصل السادس
82	<b>الفصل السابع الشد الأستاتيكي المحوري (حساب أجهاد الضمان لعينة من الصلب عالي المقاومة )</b>
82	أهداف ومخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل السابع
83	تعيين الخواص الميكانيكية للصلب عالي المقاومة
84	أنشطة اضافية (درس عمل)
86	أسئلة وتدريبات وأنشطة اضافية علي الفصل السابع
89	<b>الفصل الثامن الضغط الأستاتيكي</b>
89	أهداف ومخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الثامن
90	عينات اختبار الضغط القياسية
94	سلوك المواد المعدنية تحت اختبار الضغط
96	أسئلة وتدريبات وأنشطة اضافية علي الفصل الثامن
98	<b>الفصل التاسع اختبار الانحناء الكمرى Static bending</b>
98	أهداف ومخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل التاسع
100	معادلة الانحناء في حدود المرونة
104	الخواص الميكانيكية في الانحناء
105	المقاومة المرنة في الانحناء
105	الصلابة في الانحناء
106	الرجوية في الانحناء
106	المثانة في الانحناء
107	أنشطة اضافية (درس عمل)
110	أسئلة وتدريبات وأنشطة اضافية علي الفصل التاسع

## **ثانيا: اختبار المواد غير المعدنية**

112	<b>الفصل العاشر مواد البناء (ركام الخرسانة)</b>
112	أهداف ومخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل العاشر
112	التقسيمات المختلفة لركام الخرسانة

113	العلاقه بين الركام المستعمل وخواص الخرسانه
115	التدرج الحبيبي
115	المناخل القياسية
115	الغرض من التدرج الحبيبي
118	الرسم البياني للتدرج الحبيبي
118	الطريقة الحسابية
118	الطريقة اللوغاريتمية
119	حدود التدرج الحبيبي
122	معايير النعومة
122	التدرج الحبيبي للركام الشامل
122	المقاس الأعتباري الأكبر
125	أسئلة وتدريبات على الفصل العاشر
129	أسئلة امتحانات سابقة
143	قائمة بالمراجع

الأستاذ الدكتور / مجد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسه الزراعية جامعة المنوفية

### رؤى الكلية VISION

تتمثل رؤى الكلية في أن تكون كلية الزراعة  
جامعة المنوفية من الكليات المتميزة والمعتمدة  
محلياً واقليمياً في مجال التعليم الزراعي  
والبحث العلمي ونقل التكنولوجيا بما يخدم  
اهداف التنمية الزراعية والريفية المستدامة

### رسالة الكلية MISSION

تهدف كلية الزراعة جامعة المنوفية في إطار  
تحقيق رؤيتها إلى إعداد خريجين قادرين على  
المنافسة محلياً واقليمياً في مختلف مجالات  
الزراعة بالإضافة إلى خدمة المجتمع وحل مشكلة  
الاقتصادية والاجتماعية والبيئية وذلك من خلال  
تقديم برامج دراسية متميزة لطلاب مرحلة  
البكالوريوس والدراسات العليا ودعم وتشجيع  
البحث العلمي الزراعي وتوفير البرامج الأرشادية  
والأستشارية الزراعية وتنطلق رسالة الكلية من  
قاعدتها أساسها الرتقاء بجودة الموارد البشرية  
والمادية المتاحة بالكلية والتوظيف الأمثل لها  
وتحقيق التكامل بين مختلف قطاعات الكلية

## الفصل الأول (1) خواص المواد الهندسية

### أهداف ومحرّجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الأول

يسْتَهْدِفُ هَذَا الْفَصْلُ التَّعْرِفَ عَلَى التَّقْسِيمِ الْهَنْدَسِيِّ لِلْمَوَادِ الْهَنْدَسِيَّةِ بِالْأَضْافَةِ إِلَى التَّعْرِيفِ الدَّقِيقِ لِلْخَواصِ الْمِيكَانِيَّكِيَّةِ لِلْمَوَادِ الْهَنْدَسِيَّةِ وَدِرْسَةِ حِيدَةِ لِمُعَادَلَاتِ حِسَابِ تِلْكَ الْخَواصِ وَتَمَثِيلِ مُحرَّجَاتِ التَّعْلِمِ لِهَذَا الْفَصْلِ فِي اسْتِخْدَامِ قِيمَةِ تِلْكَ الْخَواصِ الْمِيكَانِيَّكِيَّةِ فِي تَصْمِيمِ الْمَنْشَآتِ وَأَجْزَاءِ الْمَاكِيَّنِ.

### مقدمة

السبب الرئيسي لدراسة المواد الهندسية هو معرفة خواص الميكانيكيّة لتلك المواد ومن ثم استغلال هذه الخواص في تصميم المنشآت وأجزاء الماكينات ويجب أن يأخذ التصميم الهندسي في الحسبان الظروف والعوامل التي تتعرض لها المادة من ناحية الاحمال ونوع تلك الاحمال وكذلك عوامل الأمان والضمان الواجب تحقيقها وعلى ذلك فإن أي خاصية ميكانيكيّة من خواص المواد تؤثر على واحد أو أكثر من تلك العوامل هي خاصية هندسيّة

### تقسيم المواد الهندسية

تنقسم المواد الهندسية إلى:

#### (1) مواد معدنية Metallic

وهذه المواد المعدنية تنقسم إلى:

##### (a) معادن حديدية ferrous metals

مثل الحديد المطاوع

Steel

والحديد الـزـهـرـ Cast iron

##### (b) معادن غير حديدية Nonferrous metals

ومنها : \* المعادن الثقيلة مثل النحاس Copper والنحيل Nickel

\* معادن خفيفة مثل الألومنيوم Aluminum

\* معادن طرية مثل الرصاص lead والقصدير Tin

## (2) مواد غير معدنية Nonmetallic

وهذه المواد تنقسم الى: \* مواد البناء مثل الأحجار والرمل والزلط والأسمنت والجير والجبس والأخشاب

\* مواد متنوعة مثل المطاط والفلين والبلاستيك

\* مواد الغرض منها توليد الطاقة مثل المياه والوقود -----الخ

### الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية

هى تلك الخواص التى لها علاقة بتأثير الأحمال الخارجية أو القوى المؤثرة على المادة ولذلك يلزم تعريف كل خاصية على حده ولكن قبل الدخول في تعريف تلك الخواص يجب دراسة تأثير القوى الخارجية على المواد

### الأحمال والأجهادات (a) Loads and Stresses

عندما يتعرض أى جزء من المنشآت إلى أحمال أو قوى خارجية فإنه نتيجة لهذه الأحمال تتولد قوى مقاومه في داخله لتلك الأحمال وتسمى كثافة هذه القوى الداخلية في أى جزء من المنشأ بالاجهاد Stress والمعروف مسبقا أنواع الأجهادات التي يمكن أن يتعرض لها المنشآت وهي:

#### (1) اجهاد الشد tensile stress

و فيه يكون الحمل المؤثر محوريًا وعموديا على مساحة المقطع

#### (2) اجهاد الضغط compressive stress

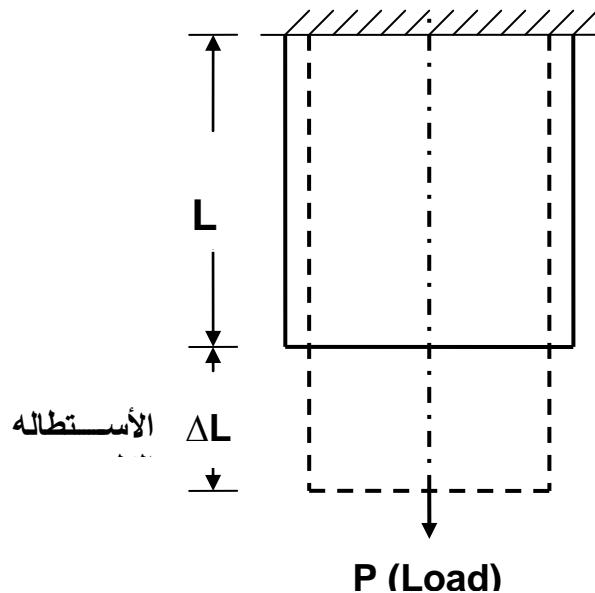
و فيه يكون الحمل المؤثر محوريًا وعموديا على مساحة المقطع

#### (3) اجهاد القص shear stress

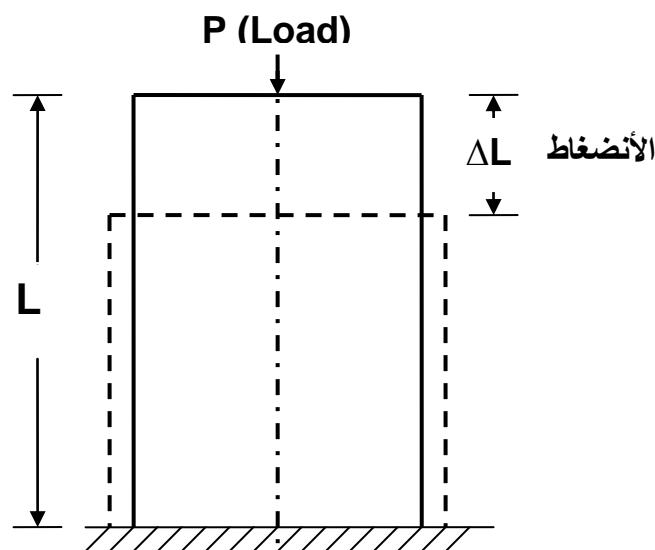
و فيه يكون الحمل المؤثر موازيًا للمقطع

و وحدات هذه الأجهادات (P.S.I) أو ( $kg/cm^2$ )

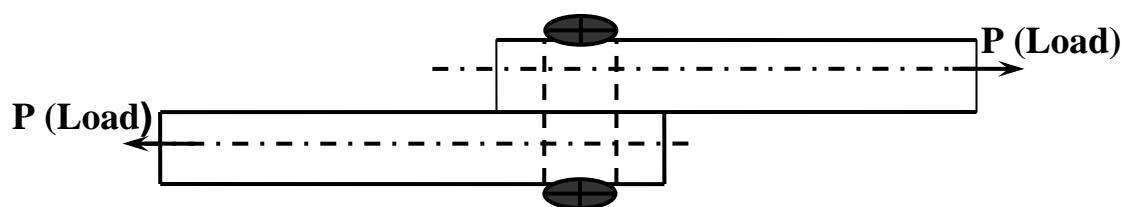
والشكل رقم (1.1,1.2,&1.3) يوضح أمثله لأنواع الثلاث لهذه الأجهادات



شكل(1.1) : اجهاد الشد



شكل(1.2) : اجهاد الضغط



شكل(1.3) : اجهاد القص

### حساب اجهادات الضغط والشد والقص

اجهاد الشد أو الضغط يرمز لهما بالرمز ( $F$ ) اما اجهاد القص فيرمز له بالرمز ( $q$ ) وعليه

فان كل من اجهاد الشد او الضغط يحسب من المعادله الآتية:

$$F = \frac{P}{A} \quad \text{--- (1.1)}$$

و ايضا يحسب اجهاد القص من المعادلة الآتية:

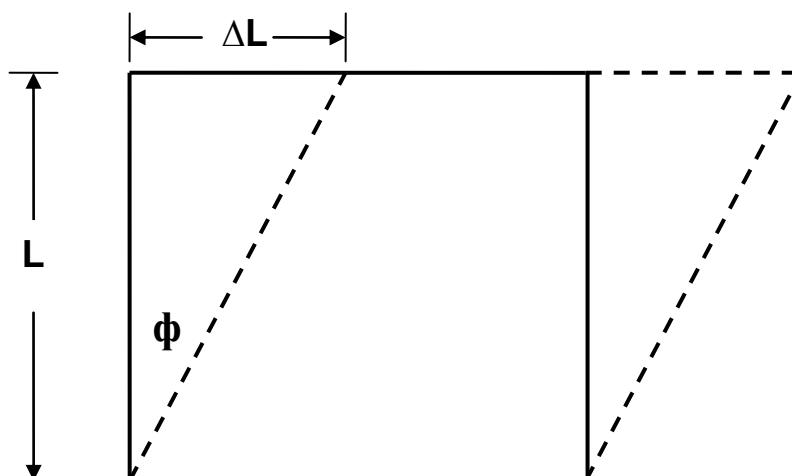
$$q = \frac{P}{A} \quad \text{--- (1.2)}$$

حيث  $A$  هي مساحة المقطع المستعرض  
و يجب ملاحظة انه فى حالة اجهاد الشد أو الضغط فان الحمل المؤثر فى الاجهادين يكون عموديا على المقطع المستعرض للجزء الذى تحت التحميل

### (b) التشکل و الانفعال Deformation and Strain

عندما تؤثر قوى خارجية على منشأ ما فانه يتسبب عن ذلك تغير فى شكل هذا الجزء و يسمى التغير فى أي بعد طولى للمنشأ بالتشکل Deformation أما الانفعال فهو وحدة التشکل أو التغير لكل وحدة من الابعاد الطولية للمنشأ و هذا الانفعال هو نسبة و لكن دائما يعبر عنها  $\text{cm/cm}$  أو  $\text{inch/inch}$  أو  $(\text{بوصة}/\text{بوصة})$  أو  $(\text{سم}/\text{سم})$  و يرمز لانفعال الشد او الضغط بالرمز  $e$  و هو من الاشكال (1.2&1.1) يحسب من المعادله الآتية:

$$e = \frac{\Delta L}{L} \quad \text{--- (1.3)}$$



شكل (1.4): انفعال القص Shear strain

اما انفعال القص فيرمز له بالرمز  $e_s$  وهو الموضع بالشكل رقم (1.4) ، ويحسب انفعال القص  $e_s$  من المعادلة الآتية:

$$e_s = \frac{\Delta L}{L} = \tan\Phi \quad \text{--- (1.4)}$$

### (c) المرونة واللدونة Elasticity and Plasticity

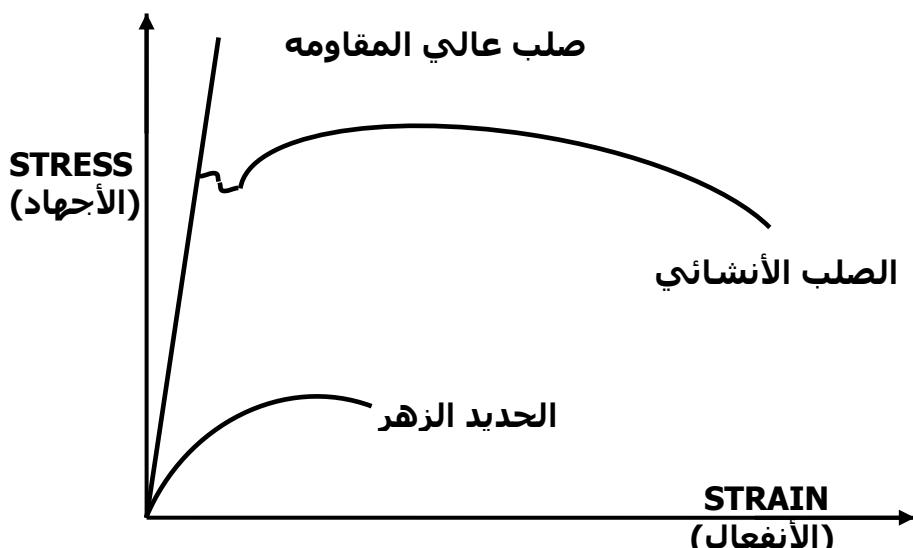
المرونة هى خاصية الأجسام التى تعطى لها القدرة على الرجوع إلى شكلها وأبعادها الأصليةين بعد رفع تأثير الحمل الذى أدى إلى تشكيلها وبالتالي فالمادة المرنة لا تهتفظ بتشكيلها بعد رفع الحمل المؤثر

اللدونة فهي تلك الخاصية التي تجعل الجسم محتفظاً بتشكيله بعد تأثير الأحمال ورفعها . ومن تعريف كل من المرونة واللدونة نجد أن المرونة عكس اللدونة . وليس هناك مادة مرنة تماماً أو لدنة تماماً فبعض المواد مثل المطاط يمكن أن تأخذ تشكلاً كبيراً ولكنها يعود إلى أبعاده الأصلية بعد رفع الحمل المؤثر عليه وهناك مواد لها مرونة عالية في حدود مدى معين من الأجهادات وبعد تصبح لدنة لدرجة ما ومن أمثلة ذلك

الصلب

### (d) منحنى الأجهاد والانفعال Stress Strain Diagram

هو منحنى يمثل العلاقة بين الأجهاد (على المحور الرأسى) والانفعال (على المحور الأفقي) ويختلف هذا المنحنى اختلافاً بينما تبعاً لنوع المادة وتحميلها فإذا تعرضت أغلب المواد الانشائية إلى أحمال في حدود التشغيل فإنها تتشكل بمعدل ثابت أو بمعنى آخر فإن الأجهاد يتناسب مع الانفعال وهو ما يسمى بقانون هوك (Hook's-Law) لتتناسب الأجهاد والانفعال وهذا الكلام صحيح لمواد كثيرة مثل الصلب الطرفي وسبائك الألومنيوم وغير صحيح لبعض المواد غير المعدنية مثل الطوب والخشب والخرسانة والشكل رقم (1.5) يوضح منحنيات الأجهاد والانفعال لثلاث أنواع من المواد الحديدية وهي الصلب الانشائى والصلب عالي المقاومة والحديد الزهر



شكل (1.5) : منحنى الأجهاد والأنفعال

### Modulus of Elasticity (e)

يعرف معايير المرونة بأنه هو قيمة الزيادة في الأجهاد مقسومه على الزيادة في الانفعال لجزء الخط المستقيم من منحنى الأجهاد والانفعال حيث يتاسب كل من الأجهاد والأنفعال لهذا الخط

ويتساوى كل من معايير المرونة في الشد والضغط تقريباً لاغلب المعادن اما معايير المرونة في القص ف تكون قيمته أقل عن معايير المرونة في الشد والضغط والمعادلة الآتية تستخدم في حساب معايير المرونة وتسمى بمعادلة هوك:

$$E = \frac{f}{e} \quad (1.5)$$

حيث:

$E$  = معايير المرونة في الشد والضغط ووحداته (كجم/ سم<sup>2</sup>) أو (رطل / بوصة<sup>2</sup>)

$f$  = اجهاد الشد او الضغط (cm/cm<sup>2</sup>) &  $e$  = انفعال الشد او الضغط (kg/cm<sup>2</sup>)

اما معايير المرونة في القص فيسمى معايير الجسأة Modulus of Rigidity

و يرمز لمعايير الجسأة بالرمز  $G$  و هو ايضاً عبارة عن اجهاد القص مقسوماً على انفعال القص والجدول التالي يوضح القيم التقريرية لمعاييرات المرونة و الجسأة لبعض المواد الهندسية

**جدول (1.1): قيم معايير المرونة (E) ومعايير الجسأءة (G) لبعض المواد الهندسية الشائعة**

معايير الجسأءة (G) Modulus of Rigidity		معايير المرونة (E) Modulus of Elasticity		المادة
Ib / in <sup>2</sup>  x  10 <sup>6</sup>  (رطل / بوصة <sup>2</sup> )	Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup>  x  10 <sup>6</sup>  (كجم/ سم <sup>2</sup> )	Ib / in <sup>2</sup>  x  10 <sup>6</sup>  (رطل / بوصة <sup>2</sup> )	Kg <sub>f</sub> / cm <sup>2</sup>  x  10 <sup>6</sup>  (كجم/ سم <sup>2</sup> )	
3.44	0.243	10.1	0.71	الومنيوم
5.12	0.36	13.1	0.92	نحاس أصفر
6.14	0.432	18.6 ~ 17.5	1.31	نحاس مجلن
-----	-----	14 ~ 12	0.985 ~ 0.845	حديد زهر
3.8 ~ 4.7	0.267 ~ 0.33	11.3 ~ 9.5	0.795 ~ 0.668	زجاج
0.78	0.55	2.13 ~ 2.42	0.15 ~ 0.17	رصاص
10.24 ~ 10.95	0.721 ~ 0.77	29 ~ 31	2.04 ~ 2.108	نيكل
11.76	0.827	29	2.04	صلب مخمر
2.43	0.17	2.69 ~ 7.82	0.4 ~ 0.55	قصدير

## تعريف الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية

دراسة الخواص الميكانيكية للمواد الهندسية تحت تأثير اجهادات الشد والضغط والانحناء تعتبر على درجه عاليه من الأهميه عند تصميم المنشآت واختيار المواد الهندسية الملائمه لتنفيذ هذا التصميم وتغير هذه الخواص له علاقة بتأثير الأحمال الخارجية أو القوى المؤثرة على المادة ولذلك فمن الضروري تعريف كل خاصيه على حده قبل دراسة تأثير القوى الخارجية على المواد

### (1) الصلايه Stiffness

تعرف الصلايه بأنها مقاومه المواد للتشكل تحت تأثير الأحمال . ويكون للماده صلايه عاليه عندما يكون تشكيلها في المنطقة المرنة صغير وتفيد خاصية الصلايه في حساب انحراف الكمرات والأعمدة والذي يعتمد انحرافها على حجم المنشأ وشكله ونوع التحميل وصلابه مادته

### (2) نسبة بواسون Poisson's ratio

عندما يتعرض اي جسم الى اجهاد فانه لا يتشكل فقط فى اتجاه ذلك الاجهاد ولكنه يتشكل أيضا في اتجاه عمودي على الاجهاد. فمثلا اذا كان الاجهاد هو اجهاد شد فان الأبعاد المستعرضة للجسم تنقص أما اذا كان الاجهاد هو اجهاد ضغط فان تلك الأبعاد تزيد. لذلك فهناك نوعين من الأنفعال هما : الأنفعال الجانبي Lateral strain والأنفعال الطولى Longitudinal strain

والنسبة بين الأنفعال الجانبي والأنفعال الطولى تسمى بنسبة بواسون وتحسب من العلاقة الآتية :

$$\text{Poissonratio} = \frac{\text{lateralstrain}}{\text{Longitudinalstrain}} \quad (1.6)$$

نسبة بواسون = (الأنفعال الجانبي ÷ الأنفعال الطولى)

### (3) المقاومه Strength

تعرف مقاومه جسم ما بأنها عباره عن قدره الجسم على مقاومة الأحمال أو الأجهادات ويعبر عن مقاومة الماده دائما بدلاله الأجهاد

### (4) الرجوعيه Resilience

الرجوعيه المرنه للماده هي كمية الطاقة الممتصه لاجهاد المادة الى حد مقاومتها المرنه او هي كمية الطاقة التي يمكن أن تسترجع عند اجهاد المادة الى حد مقاومتها المرنه ورفع الأجهاد

#### **(5) المتانه Toughness**

هي قدرة المادة على امتصاص الطاقة خلال تحميلاها حتى الكسر وهذه الخاصية تعتمد على مقاومة المادة والمتانه خاصية هامه في حالة المنشآت التي تتعرض للصدمات

#### **(6) الصلاده Hardness**

هي قدرة المادة على مقاومه الخدش أو القطع أو التاكل بالأحتكاك وتقاس صلادة بعض المواد غير المعدنية مثل الحجاره والزلط بحساب مقاومتها للتاكل نتيجة الأحتكاك

#### **(7)المطروقه Malleability**

هي قدرة المادة على التشكيل بالطرق Hammering بدون كسر

---

أسئلة وتدريبات  
الفصل الأول  
خواص المواد الهندسية

أجب عن الأسئلة الآتية

(1) تكلم عن تقسيم الواد الهندسية

(2) عرف كل من الخواص الميكانيكية الآتية:

- (a) الصلابه
- (b) المثانه
- (c) الصلاده
- (d) المطروقيه
- (e) الرجوعيه
- (f) نسبة بواسون

(3) ارسم رسمًا تخطيطيًا لمحننى الأجهاد والأنفعال لكل من الصلب الأنثائى والصلب  
عالي المقاومه والحديد الزهر

(4) تكلم عن أنواع الأجهادات التي يمكن أن يتعرض لها المنشآء مع تعريف كل منها وارسم  
رسمًا تخطيطيًا لكل نوع من تلك الأجهادات

(5) عرف الانفعال أووحدة التشكل واكتب معادلة حسابية ووضح رسمًا يمثل الانفعال في  
حالتي اجهاد الشد واجهاد الضغط ومعادلة حساب قيمة انفعال القص موضحا اجابتك  
بالرسم

نهاية الفصل الأول  
الأستاذ الدكتور / مجد على أبو عميرة  
أستاذ الهندسة الزراعية جامعة المنوفية

## الفصل الثاني (2) ماكينات اختبار خواص المواد ومعايرتها

### أهداف ومحرّجات التعلم المستعدّة من دراسة الفصل الثاني

في هذا الفصل يتعرّف الطالب على التقييمات المختلفة للكائنات المستخدمة في إجراء اختبار المواد للحصول على خواصها الميكانيكية وأيضاً تركيب هذه الكائنات وطبيعة معايرتها بحقيقة إجراء الاختبار من ناحية كمية التأثير بالحمل وكيفية قياس هذا الحمل

#### مقدمة

يلزم للحصول على الخواص الميكانيكية للمادة استعمال ماكينات اختبار خاصة يمكن بواسطتها إجراء الاختبارات المختلفة على عينات قياسية من هذه المادة وتحمّلها بأحمال تزداد بالتدريج حتى الكسر وتسجّل هذه الأحمال

#### تقسيم ماكينات اختبار المواد

تقسم ماكينات اختبار المواد إلى :

(أ) ماكينات اختبار تستعمل لعمل اختبار الشد أو اختبار الضغط أو اختبار الأنحاء ولا يمكن للكائنة إلا القيام بنوع واحد فقط من هذه الاختبارات

#### (ب) ماكينات الاختبار العامة Universal testing machines

وهي ماكينات صممت بحيث يمكنها القيام بإجراء أي اختبار من اختبارات الشد والضغط والأنحاء

#### (ج) ماكينات الاختبار الخاص Special testing machines

وصممت لإجراء الاختبارات الخاصة مثل اختبار Torsion أو اختبار الصلاة Impact Hardness أو التصادم

#### (د) ماكينات اختبار رأسية Vertical testing machines

وهي هذا النوع من الكائنات يتم تحميل عينات الأنحصار بواسطة رأس ماكينة اختبار ثابت ورأس ماكينة اختبار آخر متحرك في اتجاه رأسى ويمكن لهذا النوع من الكائنات القيام بإجراء الاختبارات على الأعمدة الطويلة

#### (ه) ماكينات اختبار أفقية **Horizontal testing machines**

وهذه الماكينات تستعمل في إجراء اختبارات لعينات من الحبال والسلال ذات طول كبير والذي من الصعب إجراء الاختبارات لها بواسطة الماكينات الرئيسية

(و) ماكينات الأختبار عند درجات الحرارة العالية والمنخفضة وتستعمل هذه الماكينات لدراسة سلوك المواد عند درجات الحرارة المختلفة

#### ماكينات الأختبار العامة

#### Universal testing machines

في هذه الماكينات يجب أن يتواجد بها شرطان رئيسيان للاختبار هما:

الشرط الأول: يجب أن تكون هناك طريقة ما يمكن بواسطتها تحمل عينة الأختبار

الشرط الثاني: يجب أن تتوافر بها طريقة ما يمكن بواسطتها قياس الحمل على عينة الأختبار

وهذه الماكينات تقسم إلى نوعين تبعاً لهذين الشرطين الرئيسيين هما:

(أ) ماكينة الأختبار الميكانيكية

(ب) ماكينة الأختبار الهيدروليكي

#### ماكينة الأختبار الميكانيكية

#### Mechanical testing machine

#### نركب ماكينة الأختبار الميكانيكية

تتركب هذه الماكينة من رأسين ثابتين يصل بينهما ذراع رأسية كما هو موضح بالشكل رقم (2.1) ورأسين آخرين متحركين يصل بينهما ذراع رأسية ومتصل بالأطراف المتحركة للماكينة Screw متصل بترس Gear يقوم بادارته محرك

ويتصل الأطراف الثابتة للماكينة برافعة مدرجة ترتكز على مرتکز ذو حد سكيني مناسب لها ويتحرك على ذراع الرافعة ثقل راكب يتحرك ليقوم بعمل اتزان على الرافعة وجعلها في وضع افقي وهذا يساعد على تثبيت رأس ماكينة الأختبار الثابت

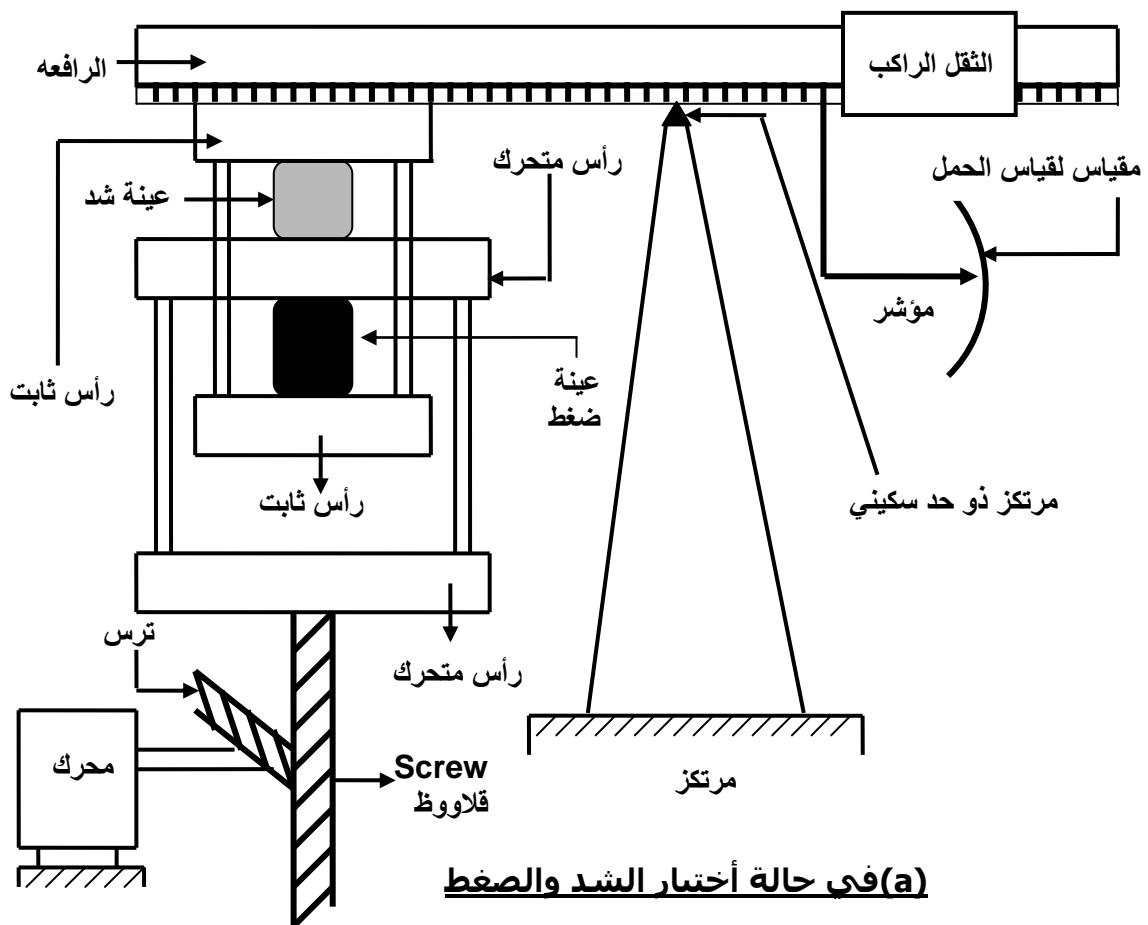
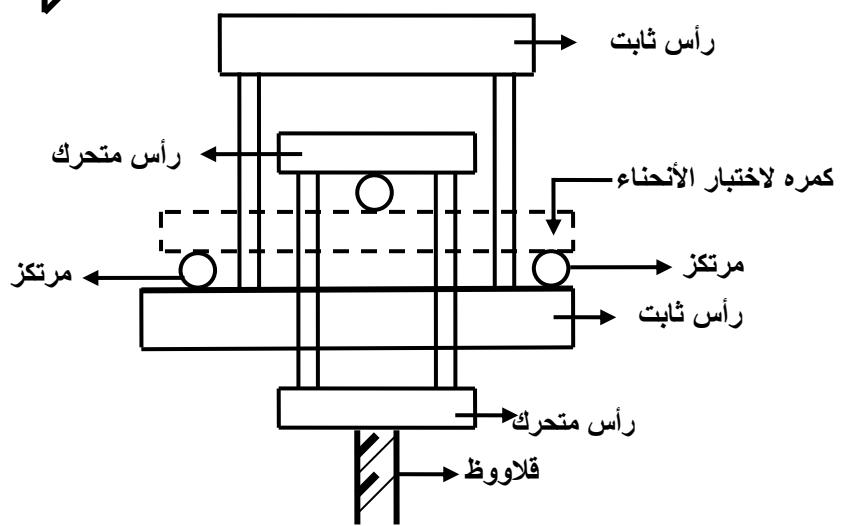
#### ثبت عينة الأختبار

ثبتت عينة اختبار الشد أو الضغط كما هو موضح بالشكل رقم (2.1a) وتثبت عينة

اختبار الأنحاء الكمرى كما هو موضح بالشكل رقم (2.1b)

**طريقة العمل:**

عند ادارة محرك الماكينة يدور الترس الذى بدوره يعمل على حركة screw وتحريك رأس الماكينة المتحرك الى أسفل وبذلك يتم تحمل العينة الموجودة أعلى لعمل اختبار الشد أو تحمل العينة الموجودة أسفله لعمل اختبار الضغط

**(a) في حالة اختبار الشد والضغط****(b) في حالة اختبار الانحناء**

شكل (2.1): ماكينة الاختبار الميكانيكية في حالات اختبار الشد والضغط والانحناء  
Mechanical testing machine

### قياس الحمل

تقاس قيمة الحمل المؤثر على عينة الاختبار عن طريق تحريك الثقل الراكب على ذراع الرافعة حتى تأخذ الرافعه وضعها أفقيا وبذلك يتم موازنة الحمل المؤثر على العينة والرافعة مدرجة بحيث يمكن أن تعطى القيمة الموجودة عليها أمام الثقل الراكب وهي في وضع اتزان سعة الماكينة تتراوح من حمل 5 طن الى 50 طن وقد تصل الى 100 طن

### عيوب ماكينة الاختبار الميكانيكية

- من عيوب هذه الماكينه: (1) صعوبة تجهيز نقطة ارتكاز ذات حد سكيني مناسب للرافعة
- (2) تشغيل مساحة كبيرة نسبيا من أرض المعمل
- (3) نأكل نقط الأرتكاز ذات الحد السكيني مع الزمن يقلل من دقة قراءة الماكينة

### ماكينة الاختبار الهيدروليكية

#### Hydraulic testing machine

### تركيب ماكينة الاختبار الهيدروليكية

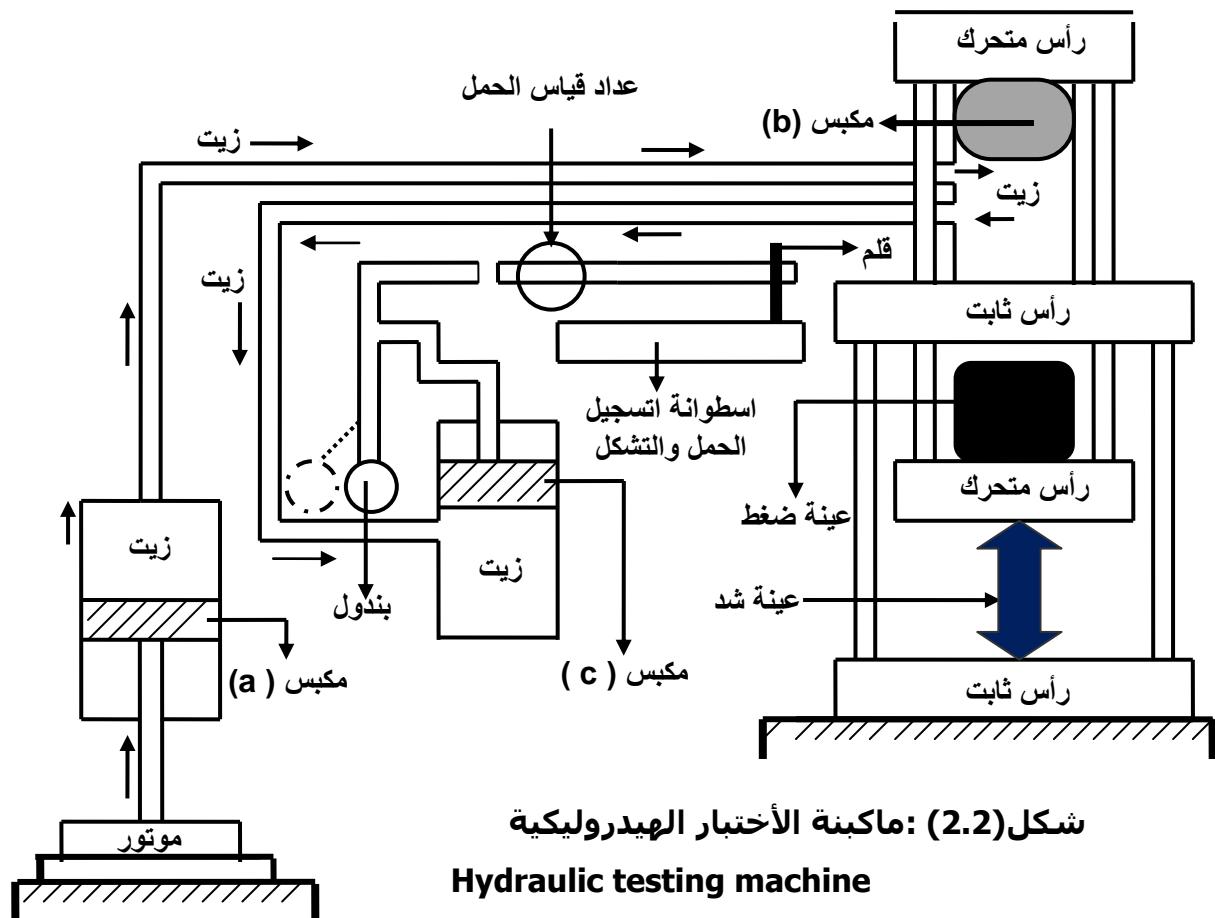
تتركب الماكينة من رأسين ثابتين يصل بينهما ذراعين رأسين كما هو موضح بالشكل رقم (2.2) وأحد هذين الراسين مثبت بأرض المعمل وللماكينة أيضا رأسين متحركين يصل بينهما ذراعين رأسين

### طريقة العمل

يمكن التحكم في حركة الرأسين المتحركين عن طريق الضغط الهيدروليكي للزيت الذي يقوم بدفع المكبس (b) فعندما يتحرك المотор الكهربائي يرتفع المكبس (a) ويضغط الزيت فيرتفع المكبس (b) ويعلم على حركة رأس الماكينة المتحرك الى أعلى فيسبب شدآ على عينة الاختبار المثبتة بين الجزء الثابت من الماكينة أو ضغطا أو انحصار على عينة الاختبار الموجودة اعلاه

### قياس الحمل

لقياس الحمل المؤثر على عينة الاختبار ينقل ضغط الزيت الموجود في الاسطوانه بواسطه ماسوره أخرى الى اسطوانه أخرى صغيره ويكون نتيجة هذا الضغط أن يتحرك المكبس (c) فيؤثر العمود المتصل به مباشره على البندول الذي ينقل حرکته الى المؤشر الذي يتحرك على مقاييس مدرج ليبيين مقدار الحمل الواقع على عينة الاختبار وماكينة الاختبار الهيدروليكيه ذات سعه كبيره في التحميل تتراوح من 20 الى 4000 طن

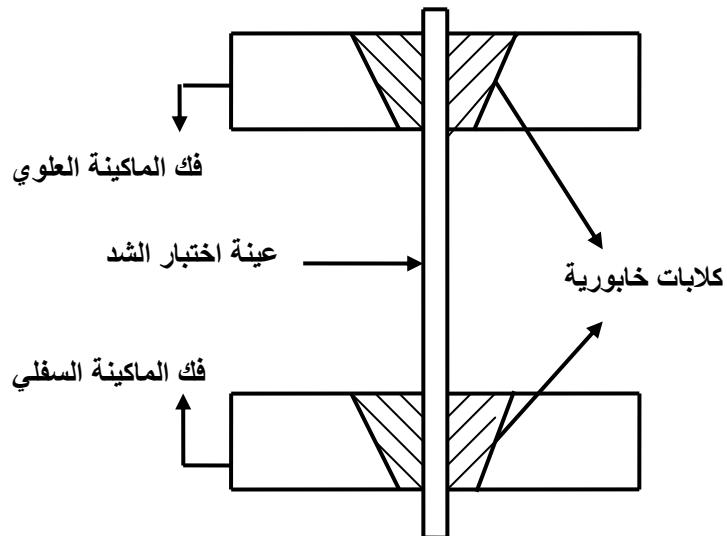


**شكل(2.2): ماكينة الاختبار الهيدروليكيه**  
**Hydraulic testing machine**

### **طرق تشتت وضع العينة بـماكينة الاختبار**

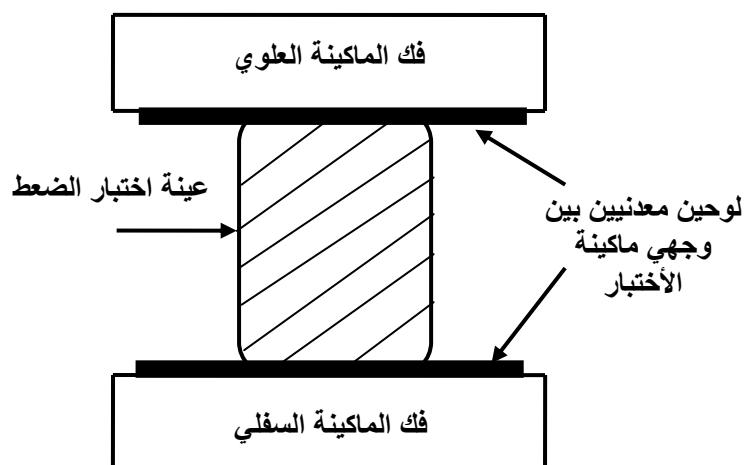
ثبتت العينة المختبرة في ماكينة الاختبار طبقا لحالة التحميل وشكل ونوع العينة ففى حالة اختبار الشد تستخدم كلابات خابورية أو ماسكات لثبيت العينة كما هو موضح بالشكل رقم (2.3) (a) وفي حالة اختبار الضغط توضع العينة بين لوحين معذنيين وذلك بين وجهي ماكينة الاختبار كما هو موضح بالشكل رقم (2.3) (b) وفي حالة اختبار الانحناء الكمرى توضع العينة في ماكينة الاختبار على مركزين مثبتين بالفك السفلى لماكينة الاختبار وتحمل الكمرة في المنتصف أو في نقطتين كما هو موضح بالشكل رقم (2.3) (c) بواسطة جزء اسطواني مركب بالفك العلوي للماكينة

أولاً: تثبيت العينة تحت اختبار الشد



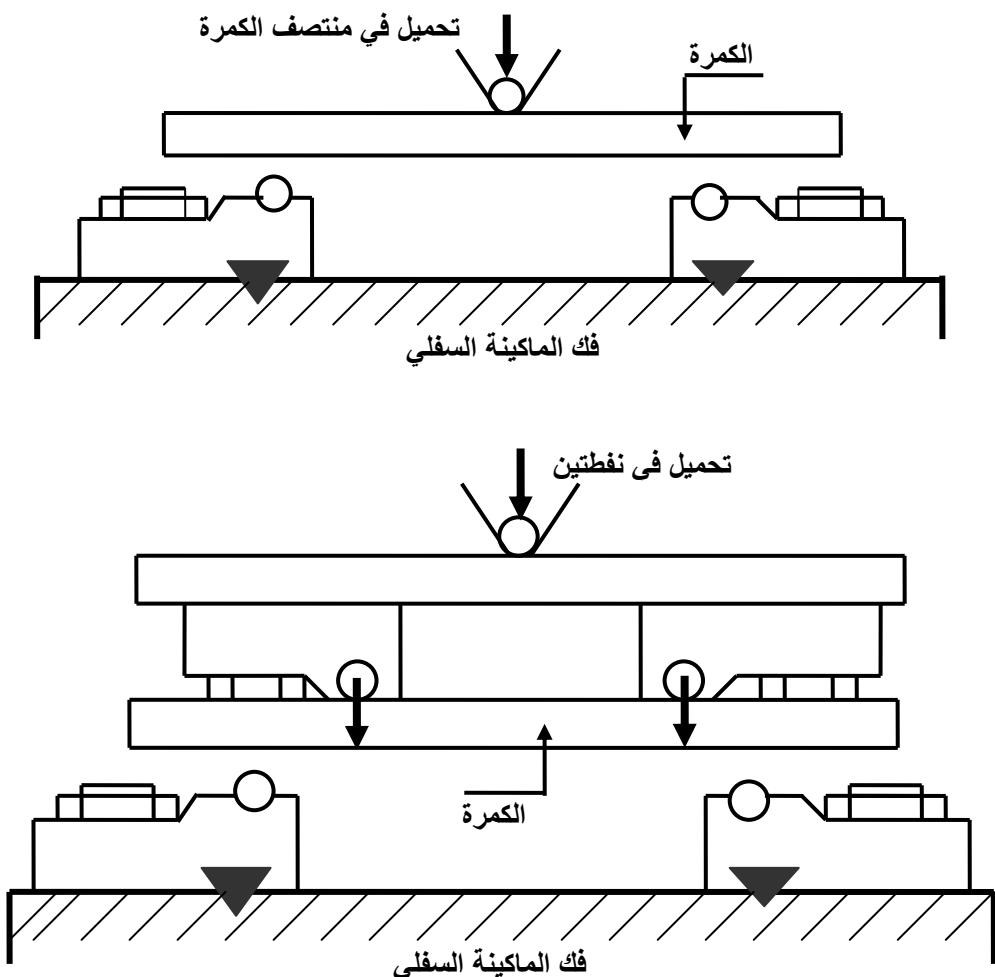
شكل (2.3a) تثبيت عينة تحت اختبار الشد بواسطة  
كلابات خابورية

ثانياً: تثبيت العينة تحت اختبار الضغط



شكل (2.3b) تثبيت عينة تحت اختبار  
الضغط

### ثالثاً: تثبيت العينة تحت اختبار الانحناء



شكل (2.3c) تثبيت عينة اختبار الانحناء الكمرى  
في حالتي التحميل في منتصف الكمرة والتحميل في نقطتين

#### الشروط الواجب مراعاتها في مكائنات الاختبار

- (1) يجب أن تكون الماكينة دقيقة في قياس الحمل المؤثر على عينة الاختبار وأن لا يتعدى الخطأ في قيمة نسبة تتراوح بين  $1.0\%$  &  $0.5\%$ .
- (2) يجب أن تكون الماكينة ذات حساسية عالية تمكّنها من قياس التغييرات الصغيرة على الأحمال.
- (3) يجب أن يكون كلاً من فكي الماكينة العلوي والسفلي على استقامة واحدة.
- (4) يجب عدم السماح لرأسى الماكينة المتحركين بالدوران أو الالتواء جانبًا حتى لا تتغير حالة الحمل المؤثر على العينة.

(5) يجب أن تكون الماكينة خالية من الأهتزازات ويمكنها امتصاص الصدمات الناتجة عن كسر العينة فجأة

(6) يجب أن تكون هناك سهولة في عمل التغيرات اللازمة والخاصة بـ ماكينة الاختبار وتركيب العينات لها

### **معاييرة ماكينات اختبار خواص المواد**

#### **Calibration of testing machines**

معاييرة ماكينات الاختبار هي عبارة عن اختبار مدى دقة قراءات الأحمال التي يعطيها مؤشر الماكينة أثناء استعمالها في إجراء الاختبارات ويجب معايرة ماكينات الاختبار العامة على فترات لا تتعدي عامين أو عند نقل الماكينة من مكان إلى آخر أو عند استعمالها لأول مرة للتأكد من أن القراءات التي تعطيها تمثل القيمة الحقيقية المؤثر بها على العينات المختبرة وتستخدم أجهزة مختلفة تبين قيمة الحمل الصحيح ثم نسجل قراءات الماكينة المقابلة لهذا الحمل ويتم رسم منحنى يمثل العلاقة بين النسبة المئوية للخطأ والحمل ويسمى هذا المنحنى بـ معايرة وتحسب النسبة المئوية للخطأ من المعادلة الآتية:

$$\text{النسبة المئوية للخطأ} = \frac{(\text{قراءة ماكينة الاختبار} - \text{قراءة جهاز المعايرة})}{(\text{قراءة ماكينة الاختبار})} \times 100 \quad (3.1)$$

#### **حلقة المعايرة**

#### **Calibration ring**

من أشهر الأجهزة المستخدمة في معايرة ماكينات الاختبار هي حلقة المعايرة والموضح رسم تخطيطي لها بالشكل رقم (3.1)

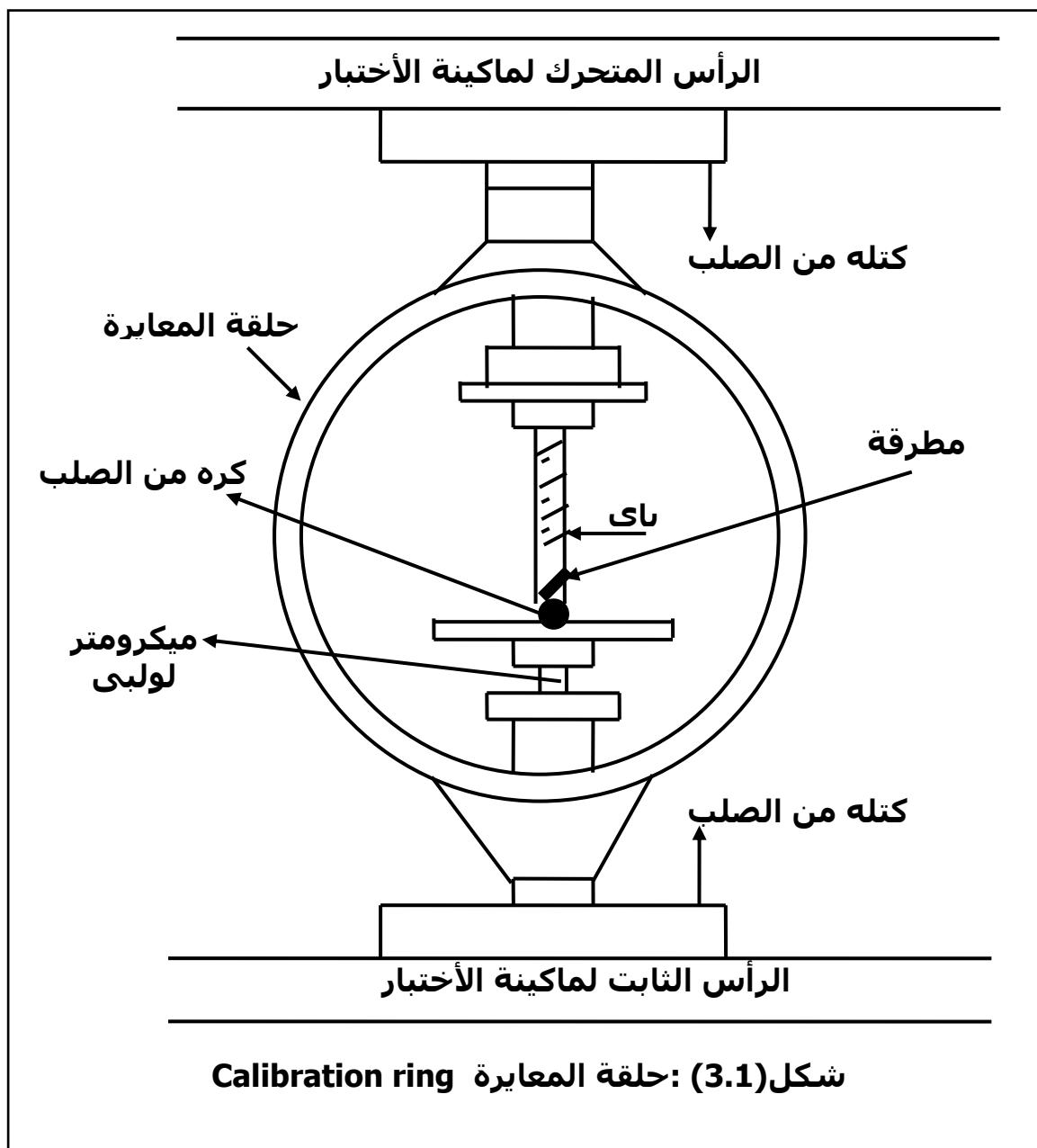
#### **تركيب حلقة المعايرة**

تتركب من ميكرومتر لولي يحمل قرص مدرج ويوجد في وسط القرص كرة من الصلب ويتدلى من الطرف العلوي للحلقة يأى يحمل في طرفة السفل مطرقة

#### **طريقة العمل**

عند إجراء المعايرة توضع حلقة المعايرة بـ ماكينة الاختبار بحيث تكون المطرقة ملامسة للكرة **ففي حالة احراء اختبار الشد** ثم تسجل قراءة الميكرومتر وتحمل حلقة المعايرة ويدار القرص يدويا حتى تلامس المطرقة الكرة وتسجل قراءة الميكرومتر ثانية ثم نقوم بحساب الفرق بين قراءتي الميكرومتر فيكون هو التشكيل المرن الحادث بالحلقة **اما في حالة احراء اختبار الصفع** فيدار القرص حتى تلامس المطرقة الكرة وتؤخذ قراءة الميكرومتر ثم تبعد المطرقة عن الكرة بمقدار كافى وتحمل حلقة

المعايير وبعد التحميل يدار القرص حتى تلامس المطرقة الكرة وتسجل قراءة الميكرومتر ثانية ثم نقوم بحساب الفرق بين قراءاتي الميكرومتر فيكون هو التشكل المرن الحادث بالحلقة نتيجة الضغط ومن رسومات بيانية خاصة بالحلقة تبين العلاقة بين قراءة الماكينة وقيمة الحمل الحقيقي يمكن تعين الحمل الحقيقي ومقارنته بحمل الماكينة



**مثال (1)**

أجرى اختبار معايرة لـ ماكينة اختبار عامة حمولة 10 طن باستخدام حلقة المعايرة وكانت القراءات التالية بينتها ماكينة الاختبار والقراءات المقابلة التي بينتها حلقة المعايرة كما هي موضحة بالجدول الآتي:

قراءة ماكينة الاختبار(طن)														
قراءة حلقة المعايرة(طن)														
10.0	8.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.5	1.0	0.5			
9.7	8.8	8.0	7.0	6.2	5.0	3.8	2.95	2.0	1.55	1.1	0.6			

والمطلوب رسم منحنى المعايرة لـ ماكينة الاختبار مبيناً عليه مناطق التحميل التي يمكن اعتبار ماكينة الاختبار غير دقيقة في بياناتها وذلك باعتبار ان النسبة المئوية للخطأ المسموح به في قراءات ماكينة الاختبار هو بحد أقصى  $\pm 1\%$

**الحل**

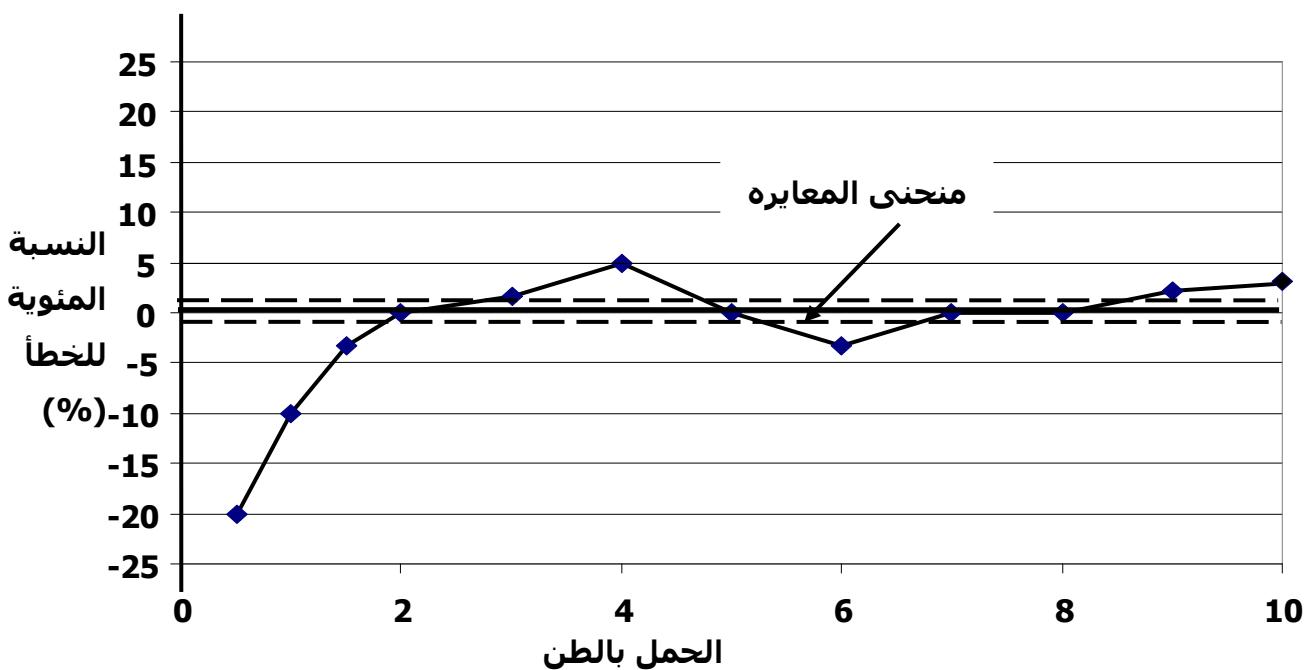
يتم حساب النسبة المئوية للخطأ عند كل حمل من أحصار الماكينة من المعادلة الآتية:

$$\text{النسبة المئوية للخطأ} = \left[ \frac{\text{قراءة الماكينة} - \text{قراءة جهاز المعايرة}}{\text{قراءة الماكينة}} \right] \times 100$$

وتوضح البيانات في الجدول الآتي:

النسبة المئوية للخطأ (%)	الحمل بالطن
-20.00	0.50
-10.00	1.00
-3.30	1.50
0.00	2.00
1.67	3.00
5.00	4.00
0.00	5.00
-3.30	6.00
0.00	7.00
0.00	8.00
2.20	9.00
3.00	10.00

من البيانات الواردة بالجدول السابق نقوم برسم العلاقة بين الحمل والنسبة المئوية للخطأ نحصل على منحنى المعايرة



العلاقه بين الحمل والنسبه المئويه للخطأ

أسئلة وتدريبات  
الفصل الثاني  
ماكينات اختبار خواص المواد ومعاييرها

أجب عن الأسئلة الآتية

- (1) ارسم رسمًا تخطيطيًّا لـماكينة الاختبار الهيدروليكيه موضحا طريقة التأثير بالحمل  
وطريقة قياس هذا الحمل
- (2) ارسم رسمًا تخطيطيًّا لـماكينة الميكانيكيه موضحا طريقة التأثير بالحمل  
وطريقة قياس هذا الحمل
- (3) وضح بالرسم فقط طرق تثبيت العينه بماكينة الاختبار في حالات اختبار الشد والضغط  
والأنحناء
- (4) أذكر الشروط الواجب مراعاتها في ماكينات الاختبار
- (5) تكلم عن تقسيم ماكينات اختبار خواص المواد
- (6) ماهما الشرطان الرئيسيان التي يجب توافرهما في ماكينات الاختبار لكي يمكن استخدامها في اجراء الاختبار
- (7) عرف النسبة المئوية للخطأ وادرك متى يتم معايرة ماكينات الاختبار
- (8) وضح بالرسم فقط تركيب حلقة المعايره
- (9) اشرح طريقة استخدام حلقة المعايره في معايرة ماكينات الاختبار في حالته اختبار  
الشد واحتبار الضغط
- (10) اكتب معادلة حساب النسبة المئوية للخطأ عند معايرة ماكينات اختبار خواص المواد

(11) أجري اختبار معايرة ل ماكينة اختبار عامة حمولة 12 طن باستخدام حلقة المعايرة وكانت القراءات التي بينتها ماكينة الاختبار والقراءات المقابلة التي بينتها حلقة المعايرة كما هي موضحة بالجدول الآتي:

قراءة ماكينة الاختبار (الحمل بالطن)	قراءة حلقة المعايرة (الحمل بالطن)												
12.0	10.65	9.25	8.1	6.85	5.6	4.80	3.50	2.85	2.0	1.00	0.80		
12.0	10.85	9.25	8.1	7.15	5.0	5.05	3.65	3.00	1.8	1.05	0.75		

والمطلوب رسم منحنى المعايرة ل ماكينة الاختبار مبينا عليه مناطق التحميل التي يمكن اعتبار ماكينة الاختبار غير دقيقة في بياناتها وذلك باعتبار ان النسبة المئوية للخطأ المسماوح به في قراءات ماكينة الاختبار هو بحد اقصى  $\pm 1\%$

---

نهاية الفصل الثاني  
أ.د/ مجد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسة الزراعية  
كلية الزراعة - جامعة المنوفية

### الفصل الثالث(3)

#### مقاييس الأنفعال

#### **STRAIN GAUGES**

#### أهداف ومحرّجات التعلم المستعدّة من دراسة الفصل الثالث

من أهم أهداف هذا الفصل التعرّف على كيفية معايير ماكينات اختبار خواص المواد قبل اجراء اختبار المواد ودراسة أهم الاجهزة المستخدمة في معايير ماكينات الاختبار والتي تعتبر من الأهمية بمكان لكي يتعلم الطالب أهمية الحصول على نتائج دقيقة للاختبار وبالتالي دقة الخواص الميكانيكية التي تم قياسها العناصر الداخلة في حساب قيمة هذه الخواص

#### مقدمة

عند تحميل أي منشأ أو ماكينة أو أي عيّنة اختبار يحدث تغير في طول القياس المحدد بها وكما هو معروف فإن النسبة بين التغير في طول القياس إلى طول القياس تسمى الأنفعال (Strain) ونظراً لأن التغير في ابعاد عينات الاختبار نتيجة التحميل صغير جداً فانه من الطبيعي لقياس الأنفعالات الصغيرة تصميم أجهزة معينة لتثبيت تلك الأنفعالات ثم قياسها وهذه الأجهزة تسمى بأجهزة قياس الأنفعال (Strain-gauges) وهي تقوم بتثبيت التشكيل الطولي ثم قياسه

#### أنواع مقاييس الأنفعال

توجد ثلاثة أنواع لمقاييس الأنفعال هي :

- (1) مقاييس انفعال ميكانيكية
- (2) مقاييس انفعال ضوئية
- (3) مقاييس انفعال كهربائية

#### مقاييس الانفعال الميكانيكية

#### Mechanical strain gauges

#### Huggenberger instrument for strain

من أهم مقاييس الأنفعال الميكانيكية وأشهرها مقاييس التكبير بالروافع الميكانيكية المعروفة باسم مقاييس هوجنبرجر لقياس الأنفعال وهو جهاز خفيف لا يحتاج إلى

اجزاء مساعدة وهو الموضع بالشكل رقم (4.1) ويستعمل الجهاز لقياس التغير فى طول القياس بالعينة فى مدى يتراوح بين 1 سم الى 2 سم بعد تكبير هذه الأسطالة ويترابع معامل تكبيره بين 300 & 2000

#### تركيب الجهاز:

يتكون من مجموعه من الأذرع ويوجد بأسفل الجهاز حد سكيني ثابت (a) وحد سكيني اخر (b) يمكنه الدوران حول محور ارتكاز (k)

#### طريقة القياس:

عند تعرض العينة لقوة شد مثلا يزداد طول القياس بمقدار  $\Delta L$  ويلف الحد السكيني (b) حول المحور (k) ويميل الذراع المتصل به من الوضع  $m/k$  الى الوضع  $mk$  وبذلك يتم تكبير التغير فى طول القياس  $L$  ليصبح  $\Delta S$  ومن الشكل رقم (3.2) يمكننا استنتاج أن:

$$\Delta S = \Delta L \times \frac{V_2}{V_1} \quad \text{--- (4.1)}$$

وتنقل هذه الحركة الى الذراع og بواسطة ذراع اخر افقي حيث يتم تكثير المسافة  $\Delta S$  الى  $\Delta L'$  والتى يمكن قراءتها على مقياس مدرج موجود عند نهاية الذراع og ومن الشكل أيضا يمكن استنتاج أن:

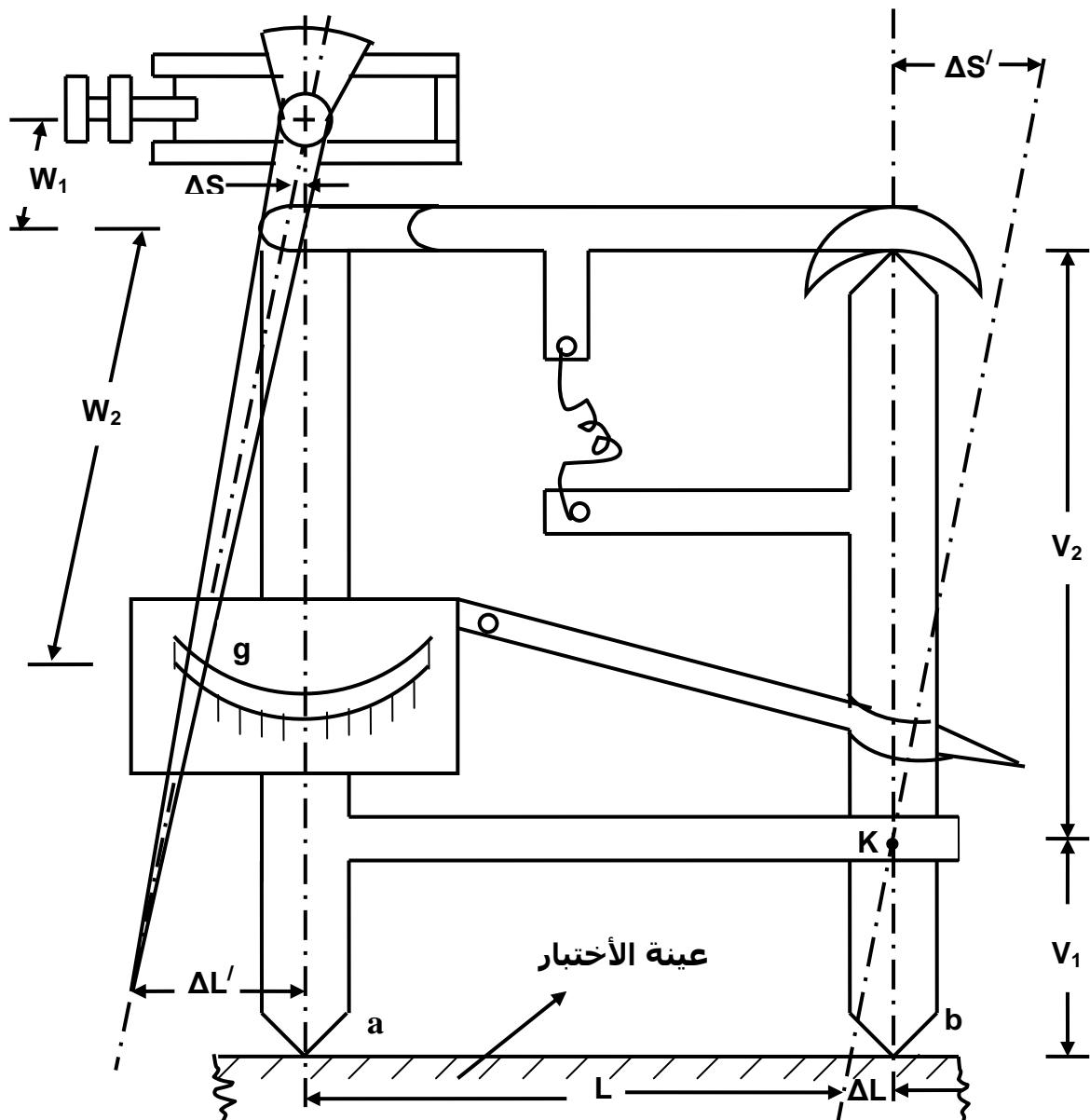
$$\Delta L' = \Delta S \times \frac{(W_1 + W_2)}{W_1} \quad \text{--- (4.2)}$$

ومن المعادلتين السابقتين وبالتعويض عن قيمة  $\Delta S$  نحصل على:

$$\Delta L' = \Delta L \times \frac{V_2}{V_1} \times \frac{(W_1 + W_2)}{W_1} \quad \text{--- (4.3)}$$

من المعادلة الأخيرة وبمعرفة أطوال الأذرع  $V_1, V_2, W_1 \& W_2$  وبمعرفة قراءة المؤشر  $\Delta L'$  يمكننا الحصول على قيمة الأسطالة الحادثة  $\Delta L$  المقدار الاتى يسمى معامل التكبير:

$$\frac{V_2}{V_1} \times \frac{(W_1 + W_2)}{W_1} \quad \text{--- (4.4)}$$



شكل (4.1) : جهاز هوحنبرجر لقياس الانفعال

Huggenberger instrument for strain

أسئلة وتدريبات  
الفصل الثالث  
مقاييس الأنفعال  
**STRAIN GAUGES**

أجب عن الأسئلة الآتية :

- (1) ماهى أنواع مقاييس الأنفعال ارسم رسمما تخطيطيا لجهاز هوحنبرجر لقياس الأنفعال
- 
- (2) استنتج معادلة حساب معامل التكبير لجهاز هوحنبرجر لقياس الأنفعال
- 
- (3) اشرح مع التوضيح بالرسم طريقة قياس الأستطالة بجهاز هوحنبرجر لعينة تعرضت لحمل شد استاتيكي
- 
- (4) أذكر مدى التغير في طول القياس بالعينة لجهاز هوحنبرجر بعد تكبير هذ التغير وما هي قيمة معامل تكبيره
- 

نهاية الفصل الثالث  
أ.د/ مجد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسة الزراعية  
كلية الزراعة - جامعة المنوفية

## الفصل الرابع (4)

### الشد الأستاتيكي المحوري

#### Axial static tension

##### أولاً: سلوك المواد المعدنية تحت تأثير حمل الشد الأستاتيكي المحوري

#### أهداف ومحرّجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الرابع

يسْتَهْدِفُ هَذَا الْفَصْلُ دَرَاسَةً كِيفِيَّةً اِحْتِبَارِ الشَّدِّ الْأَسْتَاتِيكِيِّ الْمُحُورِيِّ لِعِينَةٍ مِّنَ الْمَعْدَنِ لِرَسَمِ الْعَلَاقَةِ بَيْنِ الْحَمْلِ وَالْأَسْطَالَةِ وَالْعِرْفِ عَلَى مَنَاطِقِ التَّحْمِيلِ الْمُتَلَاثِ لِعِينَةِ الْاِحْتِبَارِ وَهِيَ مَنْطَقَةُ الْمَرْوَنَةِ وَمَنْطَقَةُ الْلَّدُونَةِ الْمَرْنَةِ وَمَنْطَقَةُ الْلَّدُونَةِ ثُمَّ حَسَابِ الْقِيمِ الْمُخْتَلِفَةِ لِخَواصِ الْمِيكَانِيَّكِيَّةِ لِعِينَةِ الْمَعْدَنِ الْمُخْبَرَةِ وَاِكْسَابِ الطَّالِبِ مَهَارَةً مَنَاقِشَةَ قِيمِ هَذِهِ الْخَواصِ وَتَفْسِيرِهَا جِيدًا وَبِدْفَةِ

#### مقدمة

الشَّدِّ الْأَسْتَاتِيكِيِّ الْمُحُورِيِّ لِعِينَةٍ يَعْنِي شَدُّهَا بِحَمْلٍ فِي اِتِّجَاهِ مَحُورِهَا ، تَزَادُ قِيمَةُ هَذَا الْحَمْلِ بِالْتَّدْرِيجِ مِنَ الصَّفَرِ حَتَّىِ الْكَسْرِ وَيَتَمُّ ذَلِكُ فِي اِحْتِبَارِ الشَّدِّ بَعْدِ تَثْبِيتِ العِينَةِ مِنْ طَرْفِيهَا فِي مَاكِيَّةِ الْاِحْتِبَارِ بِوَاسِطَةِ كَلَابَاتٍ مَنَاسِبَةٍ لِنَوْعِ الْمَعْدَنِ ، وَالْعِينَةُ قَدْ تَكُونُ اسْطَوَانِيَّةً ذَاتِ مَقْطَعٍ دَائِرِيًّا أَوْ مَنْشُورِيَّةً ذَاتِ مَقْطَعٍ مَرْبَعِيًّا أَوْ مَسْتَطِيلِيًّا وَيَعْتَبَرُ اِحْتِبَارُ الشَّدِّ الْأَسْتَاتِيكِيِّ الْمُحُورِيِّ لِلْمَعْدَنِ مِنَ أَهْمِ الْاِحْتِبَاراتِ الَّتِي يَسْتَخْدِمُهَا الْمَهْنَدِسُ لِلْتَّحْكِيمِ فِي جُودَةِ الْمَوَادِ الْمَعْدِنِيَّةِ وَلِإِجَادَةِ خَواصِ الْمِيكَانِيَّكِيَّةِ لَهَا مَثَلًا إِجَادَةِ حَدِّ التَّنَاسُبِ ، إِجَادَةِ الْخَضْوعِ ، أَقْصَى مَقاوِمَةِ الشَّدِّ ، مَعَيْرِ الْمَرْوَنَةِ وَالرَّجُوِيَّةِ وَالْمَتَانَةِ -----

#### الخواص الميكانيكية للمعادن تحت حمل الشد الأستاتيكي المحوري

إِذَا تَعَرَّضَ قَضِيبٌ مِّنَ الْمَعْدَنِ اسْطَوَانِيًّا أَوْ مَنْشُورِيًّا بَعْدِ تَثْبِيتِهِ فِي مَاكِيَّةِ الْاِحْتِبَارِ لِحَمْلِ شَدِّ اسْتَاتِيكِيِّ مُحُورِيِّ يَتَزايدُ تَدْرِيجِيًّا حَتَّىِ الْكَسْرِ تَحْدُثُ اِسْطَالَةٌ بِالْقَضِيبِ تَزَادُ هَذِهِ اِسْطَالَةٌ بِزِيادةِ الْحَمْلِ.

فَإِذَا افْتَرَضْنَا أَنَّ مَسَاحَةَ مَقْطَعِ القَضِيبِ عَنْدَ أَىِّ قَطْاعٍ ثَابِتَةً وَقِيمَتَهَا ( $A$ ) وَأَنَّ طَولَ الْقِيَاسِ عَلَىِ القَضِيبِ هُوَ ( $L$ ) وَأَنَّهُ عَنْدَ أَىِّ مَرْحلَةٍ مِّنَ التَّحْمِيلِ كَانَتْ قِيمَةُ الْحَمْلِ ( $P$ ) وَالْأَسْطَالَةُ الْمُنَاظِرَةُ لِهَذَا الْحَمْلِ ( $\Delta L$ )

فإن قيمة الأجهاد ( $F$ ) عند هذا الحمل هي

$$F = \frac{P}{A} \quad (5.1)$$

وأن هذا الأجهاد ( $F$ ) موزع توزيعاً منتظاماً  
وأن قيمة الأنفعال الحادث ( $e$ ) تحسب من العلاقة الآتية :

$$e = \frac{\Delta L}{L} \quad (5.2)$$

العلاقة بين الأجهاد والأنفعال للمعدن المطيل (الصلب الطرى) توضح أن المنحنى الممثل لهذه العلاقة يتم تقسيمه إلى ثلاثة مناطق :

#### المنطقة الأولى

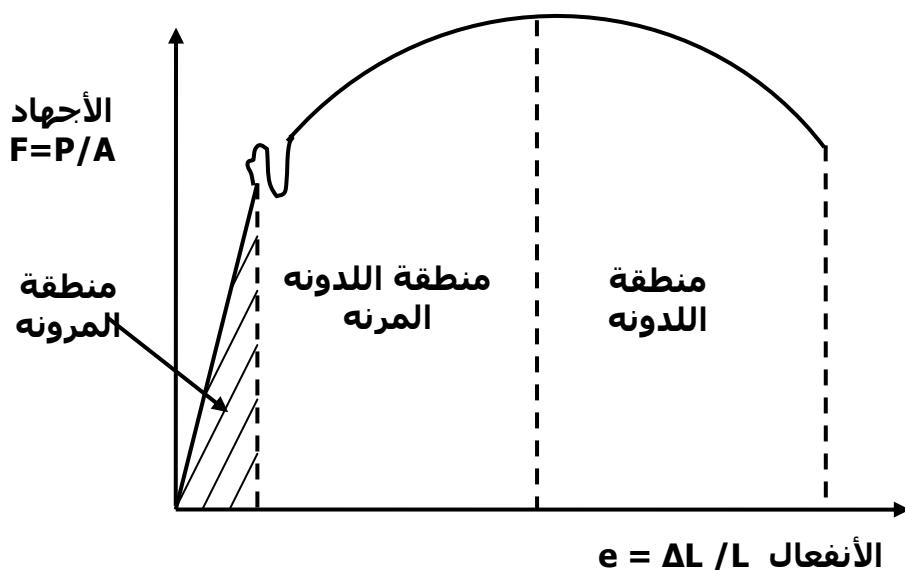
وتسمى بالمنطقة المرنة والتي يتناسب فيها الأنفعال مع الأجهاد وهذه المنطقة تنتهي بنهاية الخط المستقيم كما هو موضح بالشكل

#### المنطقة الثانية

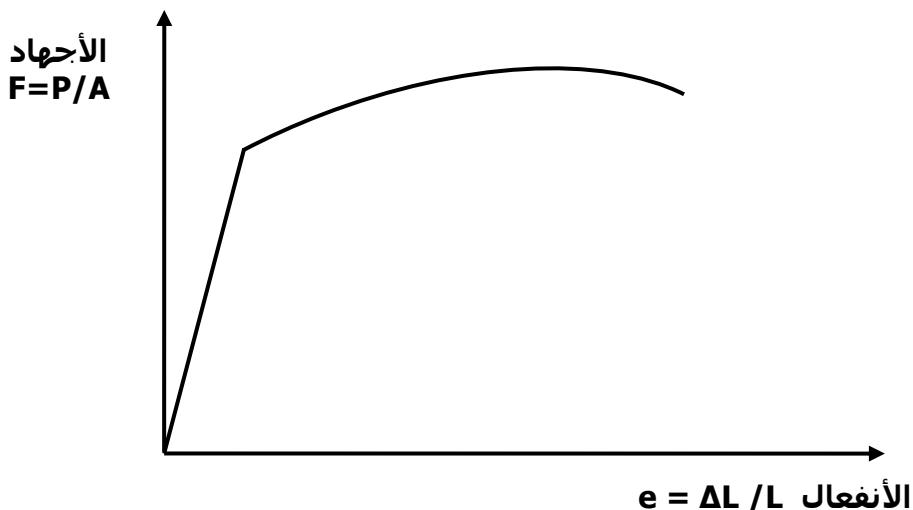
وتسمى منطقة اللدونة المرنة وتبعد من نهاية الخط المستقيم وتنتهي عند أقصى أجهاد

#### المنطقة الثالثة

فتبدأ من أقصى أجهاد وحتى نهاية المنحنى أى حتى كسر العينة وتسمى منطقة اللدونة



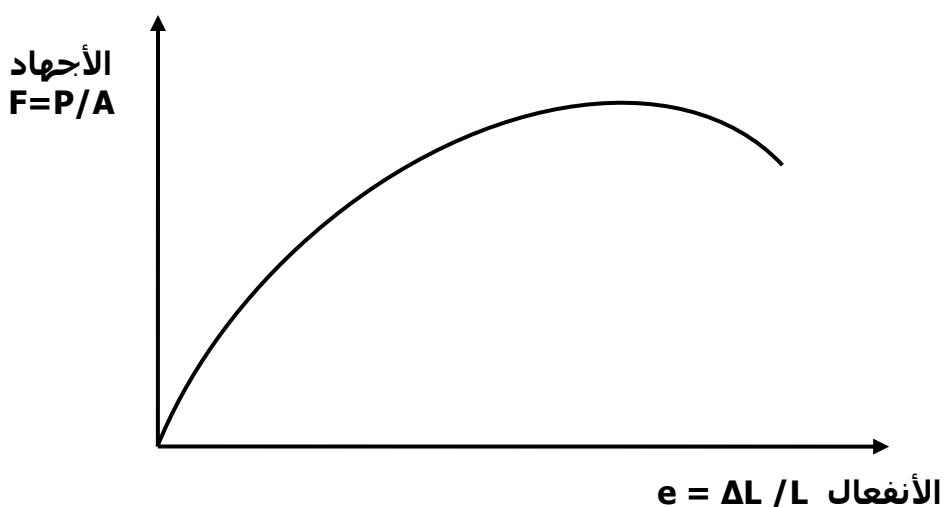
شكل (5.1): منحنى الأجهاد والأنفعال لمعدن مطيل  
(الصلب الطرى)



شكل (5.2): منحنى الأجهاد والانفعال لمعدن نصف مطيل  
(النحاس)

والعلاقة بين الأجهاد ( $F$ ) والأنفعال ( $e$ ) تختلف بحسب نوع المواد فالشكل (5.1) يبين العلاقة بين الأنفعال والأجهاد لمعدن مطيل ( وهي المواد التي يحدث بها تشكيل كبير قبل حدوث الكسر )

أما الشكل رقم (5.2) فيبيّن العلاقة بين الأجهاد ( $F$ ) والأنفعال ( $e$ ) لمعدن نصف مطيل ( وهي المواد التي يحدث بها تشكيل بسيط (متوسط) قبل حدوث الكسر )



شكل (5.3): منحنى الأجهاد والانفعال لمعدن قصيف  
( الحديد الذهبي )

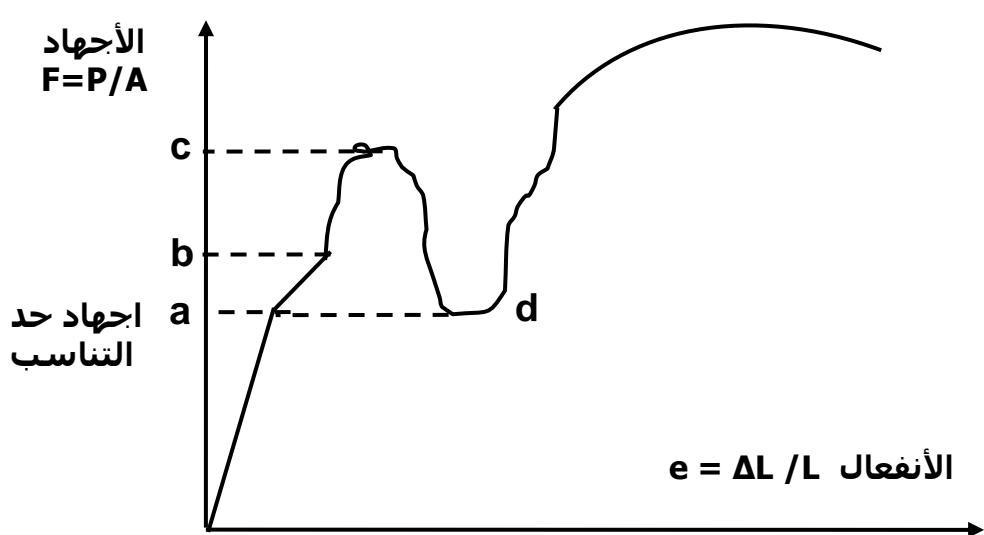
والشكل رقم (5.3) يعطى العلاقة بين الأجهاد ( $F$ ) والأنفعال ( $e$ ) لمعدن قصف (المواد القصبة هي المواد التي يحدث بها تشكيل صغير قبل حدوث الكسر )

### الخواص الميكانيكية في المنطقة المرنة تحت حمل الشد الأستاتيكي المحوري

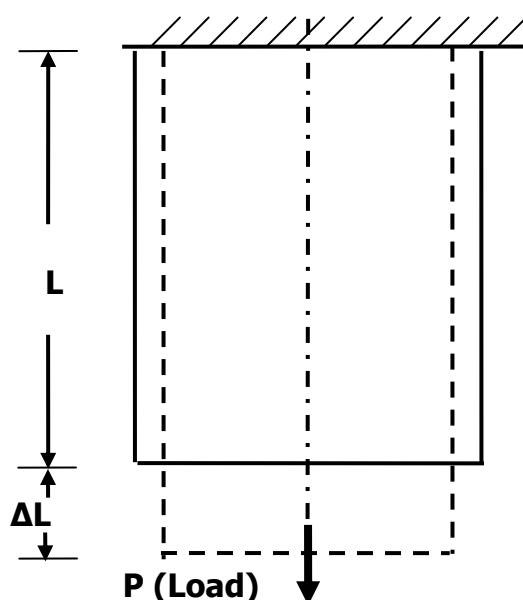
#### Mechanical performance in elastic region

##### (1) اجهاد حد النسب **Proportional limit stress**

هو الأجهاد الذي تبدأ المادة عنده في التحول من المنطقة المرنة إلى المنطقة اللزجية أى أنه عبارة عن أكبر اجهاد يكون عنده الأنفعال والأجهاد متناسبان وهو في المنحنى يتحدد بنهاية الخط المستقيم وتمثله النقطة (a) بالشكل رقم (5.4)



شكل (5.4): المنطقة المرنة في الشد



شكل (5.5): عينة تحت اختبار الشد الأستاتيكي المحوري

### (2) اجهاد حد المرونة Elastic limit stress

هو اقصى اجهاد يمكن للمعدن ان يتحمله مع عدم بقاء اي انفعال لدن دائم بعد ازالة هذا الاجهاد (وهو المحدد على المنحنى بالنقطه (b) بالشكل رقم (5.4) ) ومن الوجه العمليه يصعب التفرقه بين اجهاد حد الناسب واجهاد حد المرونه لانهما متقاربان

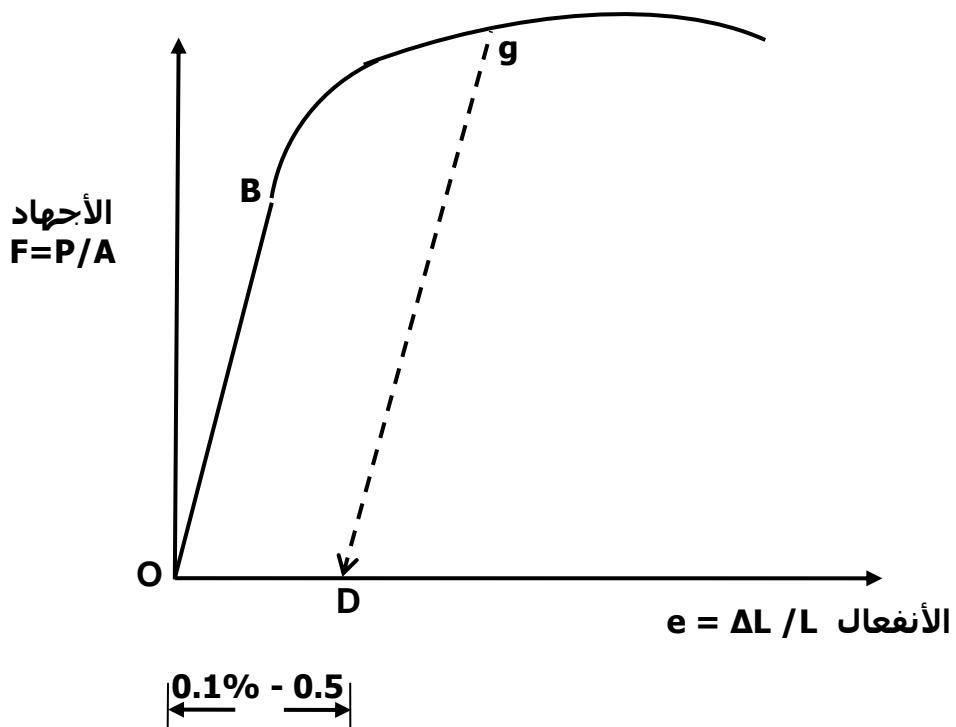
### (3) اجهاد الخضوع Yield stress

اجهاد الخضوع هو الاجهاد الذي تحدث عنده زيادة ملحوظه فى الانفعال بدون زيادة تذكر فى الاجهاد ويوجد بمنطقة الخضوع اجهاد خضوع اقصى ( وهو المحدد على المنحنى بالنقطة (c) بالشكل رقم (4.4)) وقيمه غير ثابته وتتوقف على سرعة التحميل أثناء الاختبار واجهاد خضوع ادنى ( وهو المحدد على المنحنى بالنقطة (d) بالشكل رقم (5.4) ) وقيمه ثابته ولا تتوقف على سرعة التحميل ويطلق عليه اجهاد الخضوع للمعدن ويستخدم للتعبير عن مقاومة المعدن للشد في المنطقة المرنة

### (4) اجهاد الضمان Guarantee stress

هو الاجهاد الذي يحدث في عينة الاختبار أثناء تحميلها استطالة لا تناسبية مساوية نسبة مئوية محددة من طول القياس وتترواح من 0.1% الى 0.5% حسب مواصفات المعدن ولا بد من ذكر هذه النسبة المئوية عند ذكر اجهاد الضمان في قال مثلاً 0.1% اجهاد ضمان

ويعين اجهاد الضمان من منحنى الاجهاد والانفعال كما بالشكل رقم (5.6) وذلك بأن نأخذ القيمة OD على محور الانفعال والتى تساوى القيمة المذكورة 0.005 - 0.001 حسب نوع المعدن ثم يتم رسم الخط Dg موازياً للخط OB ليقطع منحنى الاجهاد والانفعال في النقطة g ويكون الأجهاد عند هذه النقطه هو اجهاد الضمان



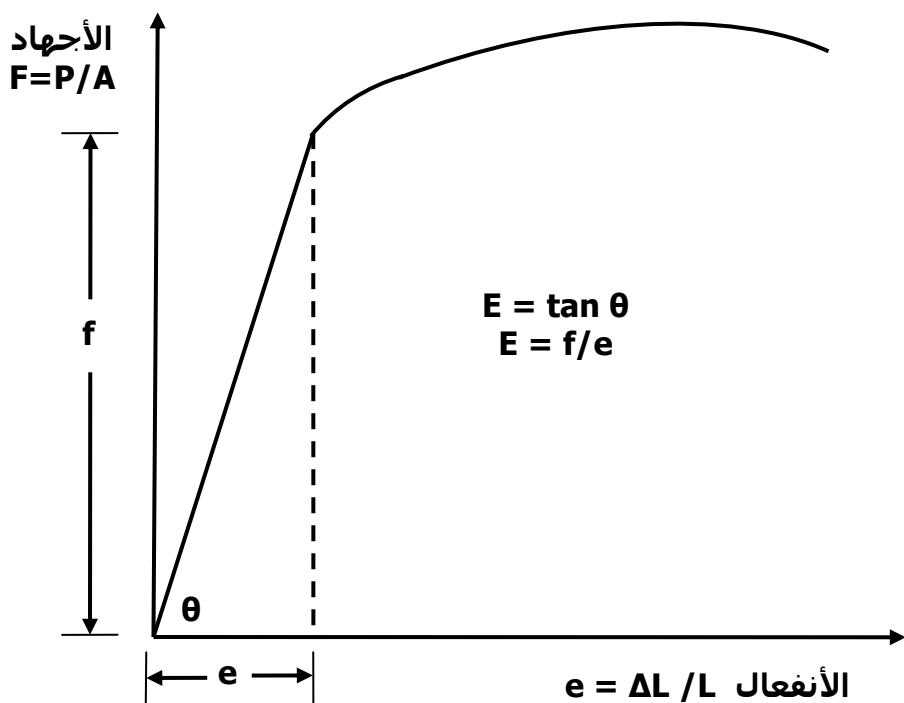
شكل (5.6): منحنى الأجهاد والانفعال وطريقة تعين اجهاد الضمان

#### (5) الصلاه

الصلاه قى اختبار الشد هى مقاومه المعدن للتغير فى الطول ويكون للماده صلاه عاليه عندما يكون تشكيلها فى المنطقه المرنة صغير وتقاس صلاه المعدن فى حالة وجود خط مستقيم بمنحنى الأجهاد والانفعال بميل هذا الخط فى حدود المرونه كما

بالشكل رقم (5.7)

ويطلق على ميل هذا الخط معاير المرونه ويرمز له بالرمز (  $E$  )



شكل (5.7): منحنى الأجهاد والأنفعال وطريقة تعين معاير المرونة (الصلابة)

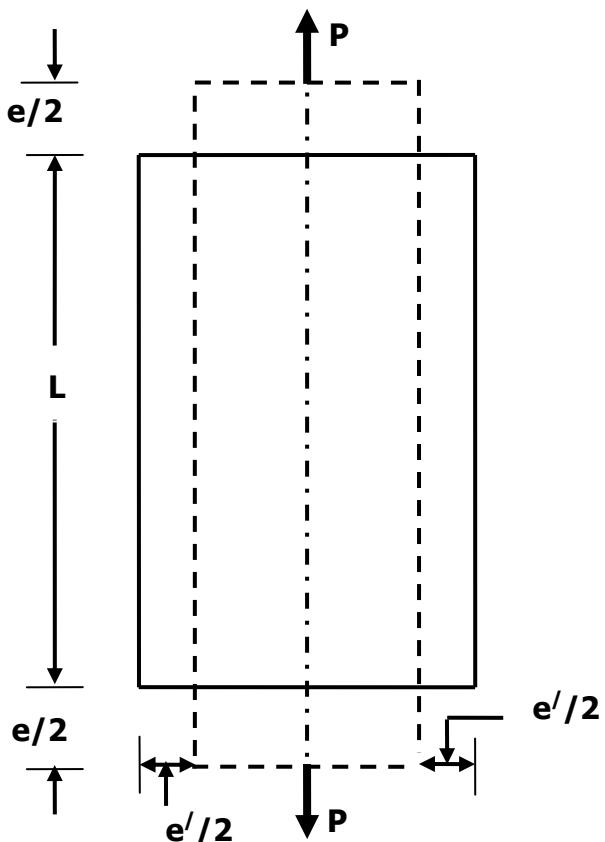
#### (6) نسبة بواسون Poisson's ration

اذا اتنزنت قوة شد محورية قيمتها  $P$  على عينة عبارة عن قضيب معدني مثلاله طول قياسي  $L$  فان ذلك يؤدي الى حدوث استطاله فى اتجاه المحور قيمتها  $\Delta L$  ينتج عنها انفعال طولى مقداره  $e = \Delta L / L$  وأيضا يؤدي ذلك الى حدوث نقص فى العرض ينتج عنه أيضا انفعال فى اتجاه العرض (انفعال جانبي) قيمته  $e'$  والموضحة بالشكل التالي

وعلى ذلك فان النسبة بين الانفعال الجانبي والانفعال الطولى تسمى نسبة بواسون ويرمز لها بالرمز  $n$  أى أن:

$$\text{نسبة بواسون} = \frac{\text{الانفعال الجانبي}}{\text{الانفعال الطولى}}$$

$$n = \frac{e'}{e} \quad \text{---(5.3)}$$



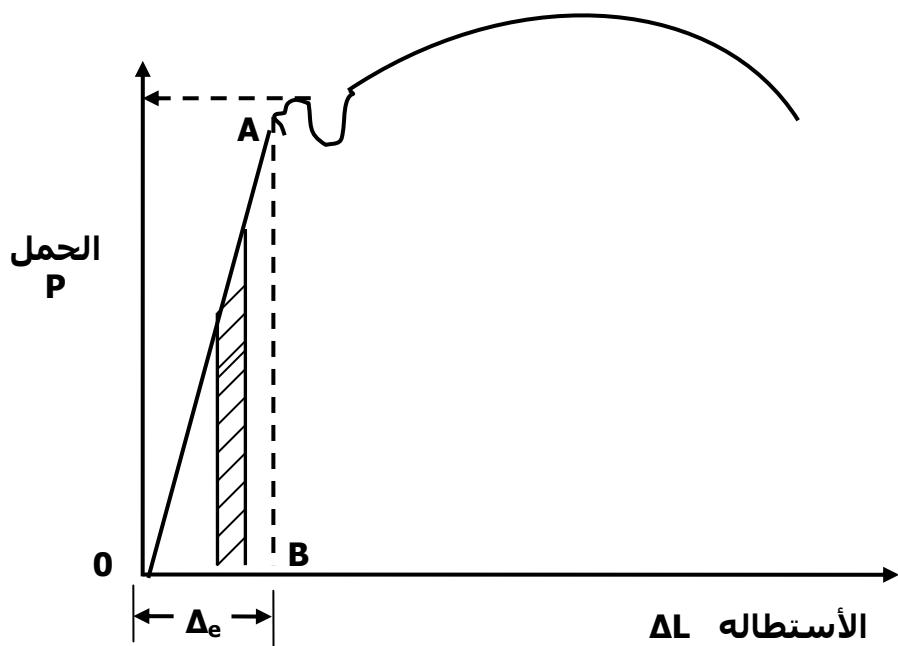
#### (7) الرجوعية Resilience

تعرف الرجوعية والتى يرمز لها بالرمز  $R$  على أنها الطاقة التى يمكن للمعدن أن يخزنها عند التحميل ثم يرجعها ثانية بعد ازالة الحمل فى حدود المرونة فقط والمنحنى المقابل يوضح كيفية حساب الرجوعية من منحنى الحمل والأسطالة

$$R = \int P \times \Delta L = \frac{1}{2} P_e \times \Delta e \quad \dots \quad (5.4)$$

حيث :

$$\begin{aligned} & P_e = \text{حمل حد التناوب} \\ & \Delta e = \text{الأسطالة المناظرة لحمل حد التناوب} \end{aligned}$$



يتضح من الشكل السابق أن الرجوعية يمثلها مساحة المثلث  $OAB$  أي أنها تمثل المساحة تحت الخط المستقيم لمنحنى الحمل والأستطاله أما معاير الرجوعية **Modulus of resilience** والذي يرمز لها بالرمز  $MR$  فيتم الحصول عليه من منحنى الأجهاد والأنفعال ويسحب من المعادلة الآتية :

$$MR = \int f \cdot de = \frac{1}{2} f_e \times e_e \quad \text{--- (5.5)}$$

حيث :

$f_e$  = أجهاد حد التاسب

$e_e$  = الأنفعال المناظر لأجهاد حد التاسب

وهو أيضا = المساحة تحت الخط المستقيم لمنحنى الأجهاد والأنفعال

## ثانياً : الخواص الميكانيكية فوق حدود المرنه تحت حمل الشد الأستاتيكي المحوري

### Mechanical performance over the elastic region

#### (1) مقاومة الشد القصوى

تقاس مقاومة المادة اللذة في الشد بمقاومتها عند أقصى حمل يمكن للمادة أن تتحمله وتعتبر مقاومة الشد القصوى للمادة هي مقاومة الكسر لها بالنسبة للمواد القصبة والنصف مطيلة

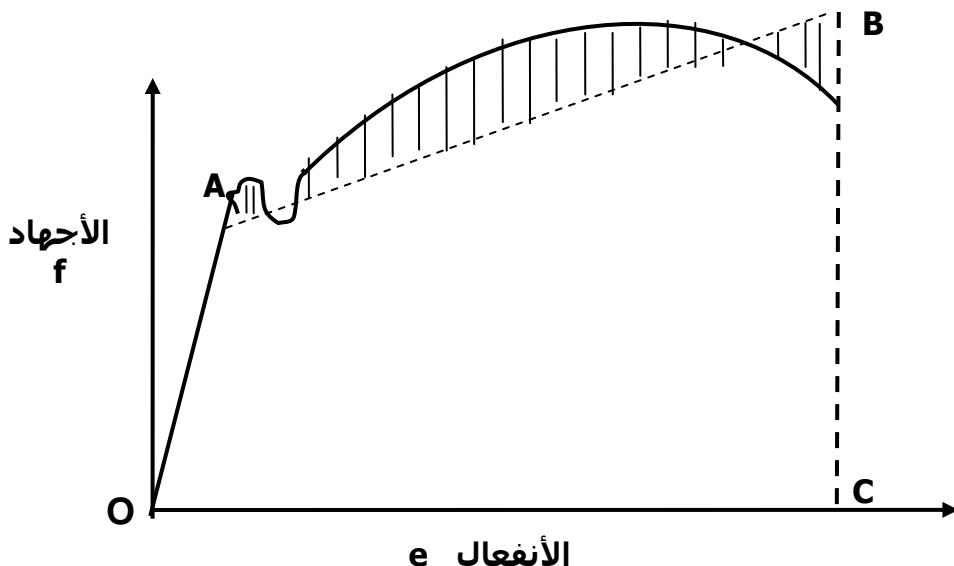
أما في حالة المواد المطيله فان مقاومة الكسر لها أقل من مقاومة الشد القصوى وغالباً تسمى مقاومة الشد القصوى للمادة بـ مقاومة الشد وتحسب من العلاقة الآتية :

$$(5.6) \quad \text{اللذة} = \frac{\text{أقصى حمل}}{\text{مساحة المقطع الأصلي}}$$

#### (2) معاير المتانة Modulus of toughness

يعرف معاير المتانة على أنه عبارة عن الطاقة المبذولة في تحمل وحدة الحجوم من المادة بالشد حتى الكسر وهذه الطاقة تمثلها المساحة تحت المنحنى البياني للاجهاد والأنفعال كله

وفيها يحول جزء من المنحنى البياني إلى شكل هندسى معروف يمكن حساب مساحته ثم تحسب المساحة تحت الجزء المنحنى وبجمع المساحتين يمكن تقدير معاير المتانة ففى الشكل المرفق يمكن أولاً حساب مساحة الشكل الرباعي OABC ثم بعد ذلك نقوم بحساب المساحة تحت الجزء المنحنى



### (3) الممطولية Ductility

هي قدرة المعادن على التشكيل Deformation وتقاس ممطولية المعادن تحت تأثير حمل الشد بحسب النسبة المئوية للاستطاله كما يمكن أيضا قياسها بحسب النسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع كما توضحه المعادلتين الآتىتين:

#### (a) النسبة المئوية للاستطاله

$$\frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 = \text{النسبة المئوية للاستطاله} \quad (5.7)$$

حيث:

$L_0$  = طول القياس الأصلى للعينة

$L_f$  = طول القياس بعد الكسر

#### (b) النسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع

$$\frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100 = \text{النسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع} \quad (5.8)$$

حيث:

$A_0$  = مساحة المقطع الأصلى للعينة

$A_f$  = مساحة مقطع العينة بعد الكسر

## أنشطة اضافية على الفصل الرابع

### درس عملى

الشد الأستاتيكى المحورى

Axial static tension

تجربة اختبار الشد لعينه من الصلب الطرى

للحصول على الرسم التلقائى لمنحنى الحمل

والأسططاله

### الغرض من التجربة

رسم المنحنى البيانى للحمل والأسططاله لعينه من الصلب الطرى محمله بحمل شد محورى تلقائيا بواسطه ماكينة اختبار هيدروليكيه ثم تحديد الخواص الميكانيكية فى الشد

### الأجهزه المستعمله

- (1) ماكينة اختبار هيدروليكيه
- (2) جهاز قياس الأسططاله
- (3) ميكرومتر
- (4) مسطره

### خطوات الاختبار

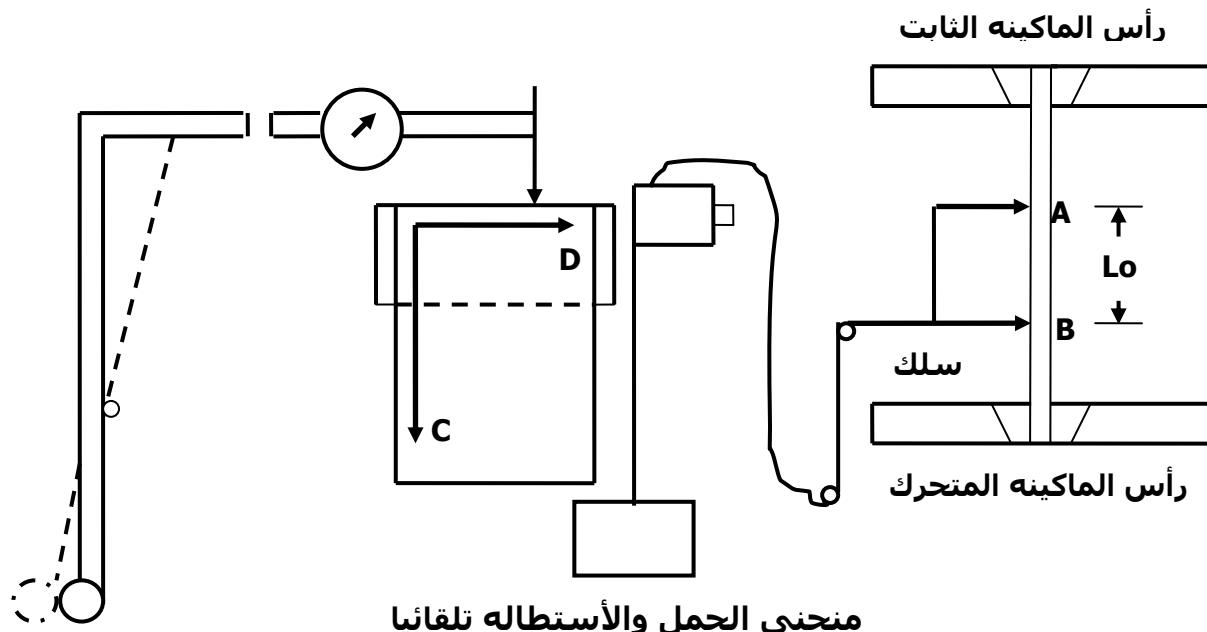
(1) يقاس بواسطة الميكرومتر أقل قطر لعينة الاختبار وليكن  $d$  ثم تثبت العينه بين فكى ماكينة الاختبار الهيدروليكيه لأجزاء اختبار الشد والذى يوضحه الشكل الآتى

(2) يحدد طول القياس على العينه ويثبت جهاز قياس الأسططاله مع طول القياس AB بعد توصيله باسطوانة موجوده بماكينة الاختبار بواسطة حبل أو سلك يمر على بكره ويثبت بنهايته ثقل ويلف على هذه الأسطوانه ورقة رسم بياني ويثبت فى نهاية الذراع الأفقي للماكينه والذى يتحرك أفقيا عند التحميل قلم رصاص يلامس الورقه المثبته على الأسطوانه

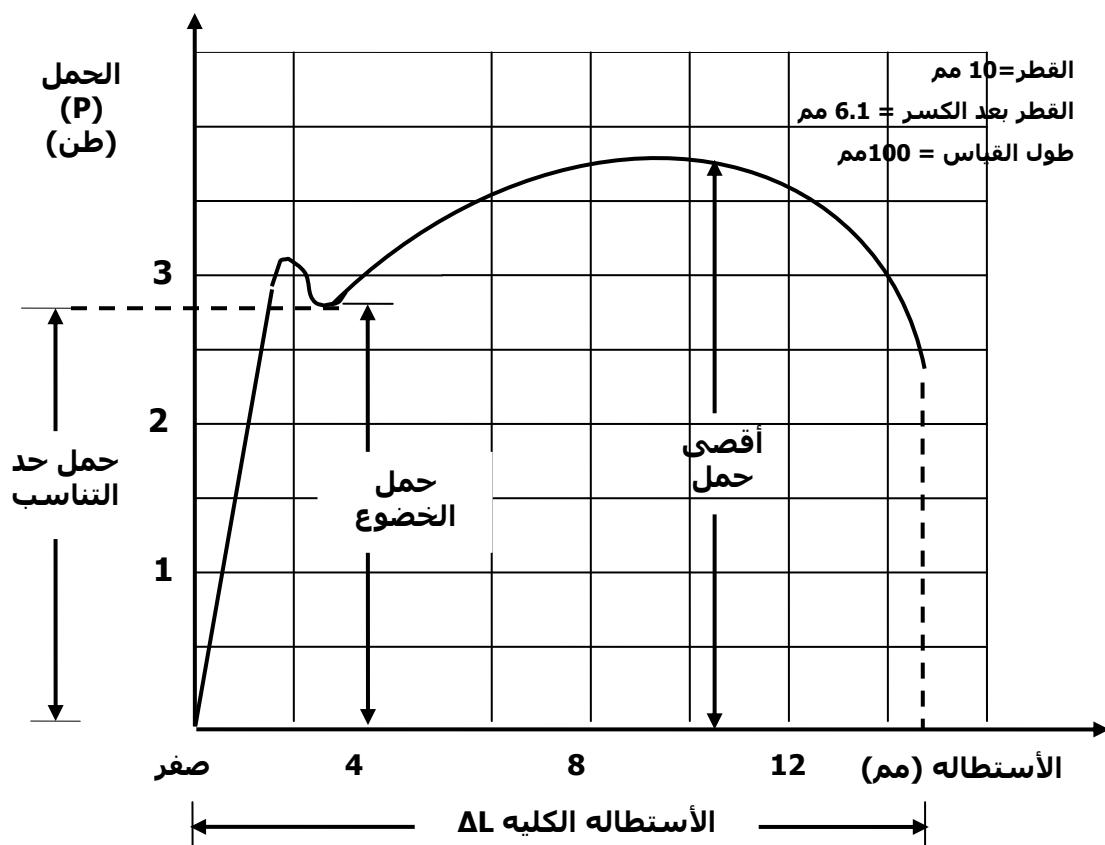
(3) عند تحميل العينه بحمل شد يزداد طول القياس AB ويرخي الحبل أو السلك نتيجة تحرك فك الماكينه السفلى الى أسفل فتحريك ورقة الرسم الى أسفل وفي نفس الوقت يتحرك طرف القلم أفقيا مسافة تتناسب مع الحمل المؤثر على عينة الاختبار نتيجة دوران بندول ماكينه الاختبار وبذلك يكون المحور OC يمثل محور الأسططاله والممحور OD يمثل

**محور الحمل ويرسم طرف القلم الرصاص محصلة الحركتين أي منحنى الحمل والأستطاله**

(4) يستمر في تحميل العينه حتى الكسر فنحصل على منحنى الحمل والأستطاله مرسوما على الورقه الملفوفه على الأسطوانه كما بالشكل ويقاس نصف قطر العينه بعد الكسر



منحنى الحمل والأستطاله تلقائيا



المنحنى البياني للحمل والأستطاله لمعدن الصلب الطري

### النتائج

يتم حساب الخواص الميكانيكية لمعدن الصلب الطري كالتالي:

#### (1) المقاومه فى الشد

##### (a) اجهاد الخضوع Yield stress

يحسب من المعادله الآتية:

$$\text{اجهاد الخضوع} = \frac{\text{حمل الخضوع}}{\text{مساحة المقطع الأصلی للعينه}}$$

##### (b) مقاومة الشد القصوى Ultimate tensile stress

تحسب من المعادله الآتية:

$$\text{مقاومة الشد القصوى} = \frac{\text{أقصى حمل}}{\text{مساحة المقطع الأصلی للعينه}}$$

##### (c) اجهاد حد التنااسب Proportional limit stress

يحسب من المعادله الآتية:

$$\text{اجهاد حد التنااسب} = \frac{\text{الحمل عند نهاية الخط المستقيم}}{\text{مساحة المقطع الأصلی للعينه}}$$

#### (2) الصلابه Stiffness

وتقاس الصلابه في الشد بتحديد معاير المرونه Modulus of elasticity وتحسب كالتالي:

$$\text{معايير المرونه}(E) = \frac{\text{اجهاد}(E)}{\text{الانفعال}(Strain)}$$

$$E = \frac{\text{Stress}}{\text{Strain}}$$

$$E = \frac{P}{A_0} \div \frac{\Delta L}{L}$$

$$E = \frac{P}{A_0} \times \frac{L}{\Delta L}$$

$$E = \frac{P}{\Delta L} \times \frac{L}{A_0}$$

حيث:

$\Delta L$  = الأستطاله المناظره لحمل مقداره  $P$  على الخط المستقيم من المنحنى البياني

للحمل والأستطاله  $0$

$L$  = طول القياس &

$A_0$  = مساحة المقطع الأصلی للعينه

المقدار  $\Delta L / P$  يمثل ميل الخط المستقيم من منحنى الحمل والستطاله

### Ductility (3) الممطوليه

تقاس الممطوليه بتحديد النسبة المئويه للأستطاله أو تحديد النسبة المئويه للنقص في مساحة المقطع والمعادلتين الآتيتين يستخدمان في حساب الممطوليه:

$$\text{النسبة المئوية للأستطاله} = \left( \frac{\Delta L}{L} \right) \times 100$$

$$\text{النسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع} = \left( \frac{A_o - A_f}{A_o} \right) \times 100$$

حيث:

$A_o$  = مساحة المقطع الأصلى

$A_f$  = مساحة المقطع بعد الكسر

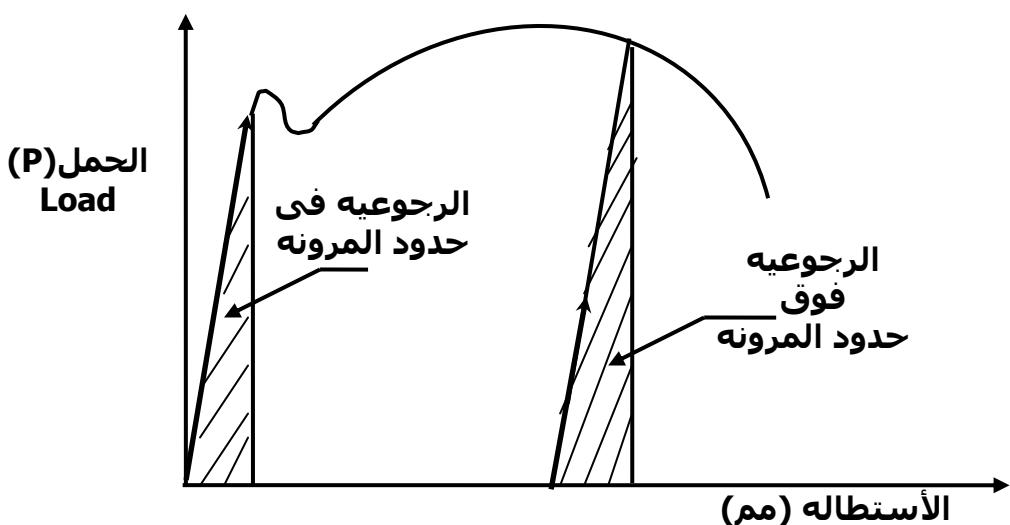
### Resilience (4) الرجوعيه

الرجوعيه فى حدود المرونه هى كمية الطاقه التى يمكن للمعدن أن يخزنها فى حدود المرونه ثم يعيدها بعد ازالة التحميل

الرجوعيه = المساحة تحت الجزء المستقيم من منحنى الحمل والاستطاله كما بالشكل

الرجوعيه = الحمل المقابل لحد التناسب  $\times$  الاستطاله عند حد التنااسب

الرجوعيه = مساحة المثلث تحت الخط المستقيم من المنحنى البياني للحمل والاستطاله



الرجوعيه فى حدود المرونه و فوق حدود المرونه تحت اختبار الشد

معايير الرجوعيه (الرجوعيه) / (طول القياس  $\times$  مساحة المقطع الأصلى للعينه)

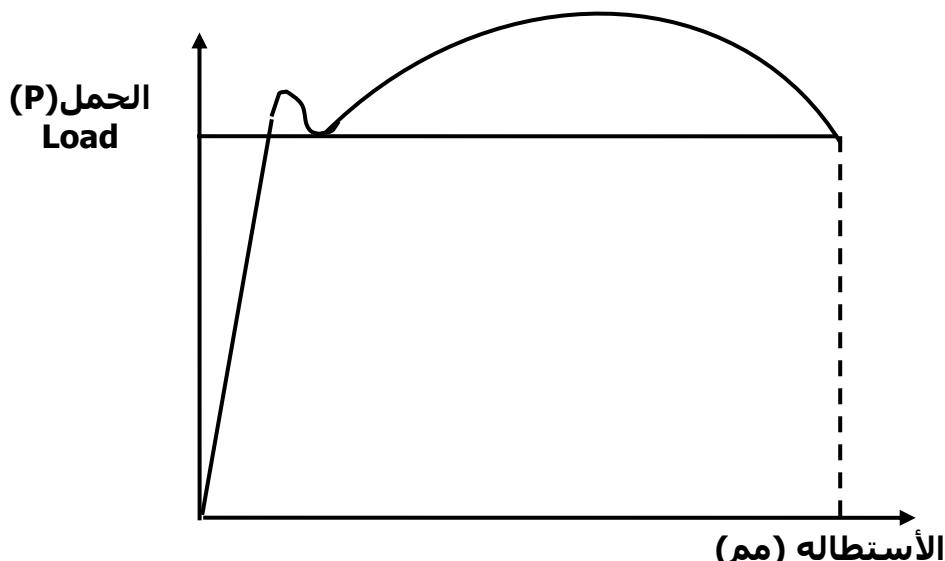
أو بمعنى آخر

معايير الرجوعية = الأجهاد × الأنفعال عند حد التناوب

أما الرجوعية فوق حدود المرونة فهي عبارة عن الطاقة التي يمكن للمعدن أن يرجعها بعذالة التحميل وتقاس بالمساحة المحددة بالخط الذي يوازي الخط المستقيم من المنحنى البياني للحمل والاستطالة والخط الموازي للمحور الرأسى

### Toughness (5) المثانه

هي الطاقة المبذولة بتحميل العينة بالشد حتى الكسر وتقاس بالمساحة تحت المنحنى البياني للحمل والاستطالة كله كما يوضحه الشكل الآتى :



المثانه تحت اختبار الشد

$$\text{معايير المثانه} = (\text{المثانه}) / (\text{حجم العينه})$$

$$\text{معايير المثانه} = (\text{المثانه}) / (\text{طول القياس} \times \text{مساحة المقطع الأصلى للعينه})$$

## أسئلة وتدريبات على الفصل الرابع

### الشد الأستاتيكى المحورى

Axial static tension

سلوك المواد المعدنية تحت تأثير

حمل الشد الأستاتيكى المحورى

أجب عن الأسئلة الآتية :

(1) وضح بالرسم فقط منحنى الأجهاد والأنفعال للمعدن المطيل (الصلب الطرى) وللمعدن القصف (الحديد الزهر) وللمعدن نصف المطيل (النحاس)

(2) أذكر الخواص الميكانيكية تحت حمل الشد الأستاتيكى المحورى في المنطقة المرنة لمعدن الصلب الطرى مستعينا بالرسم والمعادلات كلما أمكن ذلك

(3) عرف كل من مقاومة الشد القصوى ومعايير المتنانة لمعدن الصلب الطرى فوق حدود المرونة تحت حمل الشد الأستاتيكى المحورى

(4) عرف الممطولية وأكتب معادلة حساب كل من النسبة المئوية للاستطاله والنسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع

(5) احرى اختبار الشد لقضيب من الصلب الطرى قطره 16 مم وطول الفياس 80 سم وكانت الأحمال على العينة بالطن والأستطاله المنشورة لها بالمم كما تم تسجيلها أثناء الاختبار هى كالتالى:

5.50	6.50	7.10	600	5.20	4.30	4.50	3.50	2.00	صفر	الحمل (طن)
21.90	19.20	13.80	5.60	2.65	0.61	0.1125	0.0875	0.05	صفر	الأستطاله (مم)

والمطلوب رسم المنحنى البيانى للحمل والأستطاله ثم حساب ما يلى:

- (1) مقاومة الشد القصوى      (2) اجهاد الخضوع الأقصى      (3) معاير الرجوعية  
(5) النسبة المئوية للاستطاله      (6) معاير المتنانة      (4) معاير الرجوعية

نهاية الفصل الرابع

أ.د/ محمد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسة الزراعية  
كلية الزراعة - جامعة المنوفية

## الفصل الخامس (٥)

### الشد الأستاتيكى المحوري

#### Axial static tension

#### ثانياً : اختبار الشد لدراسة الاستطالة Elongation

#### أهداف ومحرّجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الخامس

يسْتَهْدِفُ هَذَا الْفَصْلُ دَرَاسَةً كَيْفِيَّةً اجْرَاءِ اخْتِبَارِ الشَّدِّ الْأَسْتَاتِيْكِيِّ الْمُحُورِيِّ لِعِينَةٍ مِّنَ الْمَعْدَنِ لِدَرَاسَةِ الْأَسْتَطَالَةِ وَاسْتَنْتَاجِ مَعَادِلَةِ الْأَسْتَطَالَةِ وَتَقْدِيرِ ثَوَابِتِ الْمَعَادِلَةِ وَالْمُعْرُوفَةِ بِثَوَابِتِ اِنْوَافِ وَمِنْهَا رَسْمُ الْعَلَاقَةِ بَيْنَ طَوْلِ الْقِيَاسِ وَالْأَسْتَطَالَةِ وَالتَّعْرِفُ عَلَى شَكْلِ الْعَلَاقَةِ وَالَّتِي تَرْتِبُ بَنْوَعِ الْمَعْدَنِ الْمَخْبَرِ ثُمَّ حَسَابُ قِيمَةِ الثَّوَابِتِ مِنْ مَنْحَنِيِّ الْعَلَاقَةِ بَيْنِ الْأَسْتَطَالَةِ وَطَوْلِ الْقِيَاسِ وَبِهَذِهِ الطَّرِيقَةِ يَكْتَسِبُ الطَّالِبُ مَهَارَةً مُنَاقِشَةَ الْأَسْتَنْتَاجِ الْرِّياضِيِّ لِمَعَادِلَةِ الْأَسْتَطَالَةِ وَثَوَابِتِ الْمَعَادِلَةِ وَإِيْصَادَ مَهَارَةَ الدِّقةِ فِي الرَّسْمِ الْبَيَانِيِّ لِلْعَلَاقَةِ بَيْنِ الْأَسْتَطَالَةِ وَطَوْلِ الْقِيَاسِ وَالتَّعْرِفُ عَلَى الْمَوَاضِعِ الْقِيَاسِيَّةِ لِلْعِينَاتِ

#### مقدمة

عند اجراء اختبار الشد لعينة من معدن مطيل تكون توزيع الاستطالة على نقط طول القياس متساوی تقريبا في البداية ثم يختلف اختلافا كبيرا من نقطة الى أخرى عند التحميل بأقصى حمل حيث تزيد قيمة الاستطالة عند منطقة الرقبة (وهي المنطقة التي عندها أضعف قطاع للعينة) وتقل قيمة الاستطالة كلما اتجهنا بعيدا عن منطقة الرقبة وعند اطراف العينة تکاد تكون الاستطالة موزعة بالتساوی تقريبا

#### خطوات الاختبار

ويتم اجراء اختبار الاستطالة بأخذ عينة من المعدن طول قياسها 20 سم ثم يقسم هذا الطول الى عشرة اقسام متساوية ويكون طول كل قسم منها 20 مم وتحمل العينة بحمل شد يزداد تدريجيا حتى الكسر ثم يحدد القسم الذي حدث به الكسر بعد ذلك يقاس طول كل قسم بعد الكسر وتوضع البيانات في جدول والمثال الآتي يوضح هذا الاختبار والنتائج التي تم الحصول عليها

### مثال

جري اختبار الشد لعينة من الصلب الطرى لدراسة الأسطالة فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم الى عشرة أقسام متساوية وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي:

القسم	الطول بعد الكسر(مم)									
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
24	24	24.5	25	25	26	31	27	26	26	26

### الحل

ولتوضيح تأثير الأسطالة على طول القياس نقوم بحساب الأسطالة الحادثة في كل قسم من الأقسام العشرة وتوضع في جدول كالتالي:

جدول (6.1) الأسطالة الحادثة في كل قسم

القسم	الطول بعد الكسر(مم)	استطاله كل قسم (مم)
10	9	24
24	24.5	4
4	5	4.5
6	6	5
5	7	6
4	11	5
3	26	6
2	27	6
1	26	6

من الجدول السابق يتضح أن القسم الرابع هو القسم الذي حدث به الكسر وهو القسم الذي حدث به أكبر استطاله.

لتحديد العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطاله نتبع الخطوات الآتية:

(1) نعتبر أن طول القياس مكون من القسم الرابع فقط (القسم الذي حدث به الكسر) فيكون طوله 20 م والأسطالة المناظرها هي 11 م

(2) نعتبر أن طول القياس مكون من الأقسام الثالث والرابع والخامس فيكون طول القياس 60 م والأسطالة المناظرها هي 24 م

(3) نعتبر أن طول القياس مكون من الأقسام الثاني والثالث والرابع والخامس والسادس فيكون طول القياس 100 م والأسطالة المناظرها هي 35 م

(4) نعتبر أن طول القياس مكون من الأقسام الأول والثاني والثالث والرابع والخامس والسادس والسابع فيكون طول القياس 140 م والأسطالة المناظرها هي 46 م وهذا

-----الخ

بالتالي يمكننا الحصول على الجدول الآتي والذي منه يمكننا حساب النسبة المئوية للاستطاله

140	100	60	20	طول القياس(مم)
46	35	24	11	الأستطاله (مم)
32.80	35	40	55	النسبة المئوية للاستطاله (%)

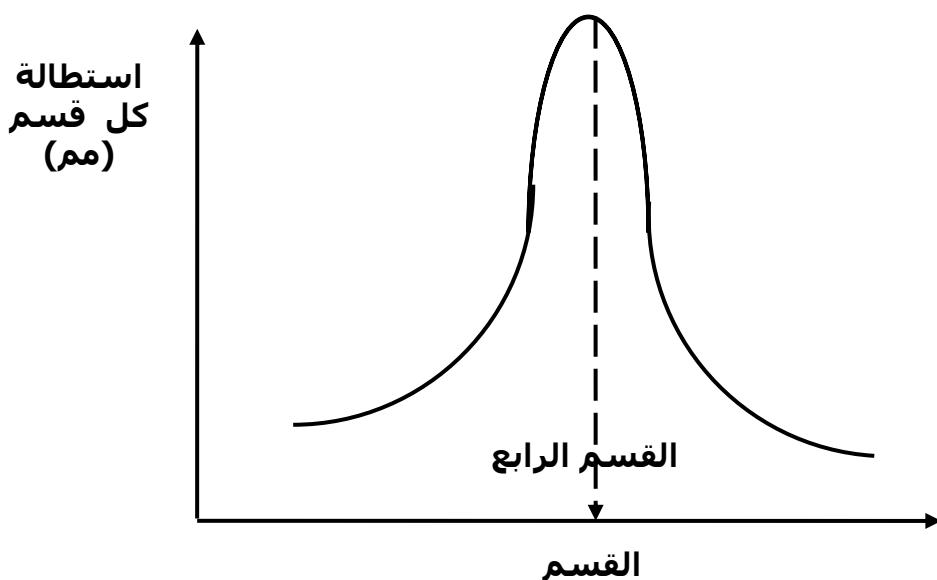
من نتائج الاختبار يمكننا الحصول على العلاقات الآتية:

#### (1) توزيع الأستطاله على طول القياس

نقوم برسم توزيع الأستطاله على طول القياس من البيانات الموجودة في الجدول

(6.1) وعند رسم توزيع الأستطاله على طول القياس فإن المنحنى المتحصل عليه

يكون كما بالشكل رقم (6.1):



شكل (6.1): توزيع الأستطاله الحادثة في كل قسم من طول القياس

#### (2) العلاقة بين طول القياس والأستطاله

عند رسم العلاقة بين طول القياس والأستطاله نجد أن هذه العلاقة عبارة عن خط مستقيم معادلته هي:

$$\Delta L = b \times L + C \sqrt{A_0} \quad ---(6.1)$$

حيث:

$\Delta L$  = الأستطاله الحادثة عند طول القياس (مم) ،

$L$  = طول القياس (مم)

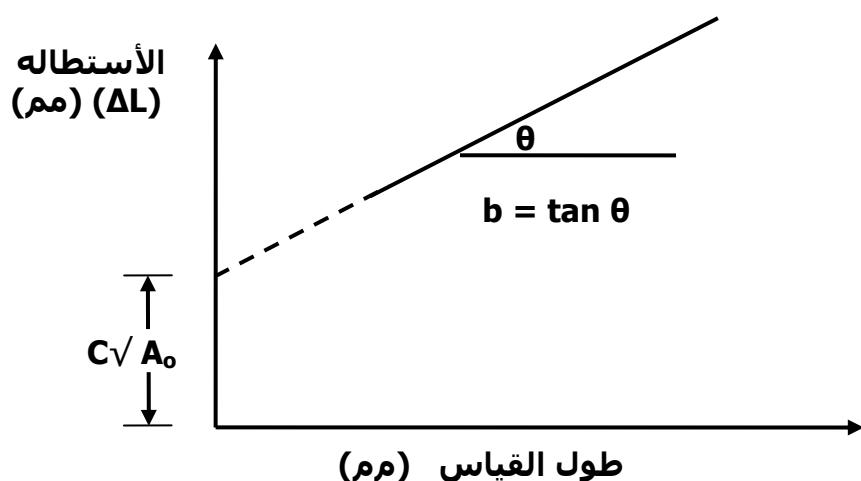
$b \& C$  = ثوابت تسمى ثوابت أنوين

$b$  = ميل الخط المستقيم

$C/\sqrt{A_0}$  = الجزء المقطوع من محور الصادات &

$A_0$  = مساحة المقطع الأصلي للعينة

والشكل رقم (6.2) يبين العلاقة بين طول القياس على المحور الأفقي والأسطاله على المحور الرأسي



شكل (6.2): العلاقة بين طول القياس والأسطاله

من علاقة الخط المستقيم السابقة يمكن الوصول الى النسبة المئوية للاستطاله

$$\frac{\Delta L}{L} \times 100$$

من المعادله (6.1) كما يلى:

$$\frac{\Delta L}{L} \times 100 = b + \frac{C\sqrt{A_0}}{L} \quad \text{--- (6.2)}$$

أى أن النسبة المئوية للاستطاله تكون ثابتة للمعدن الواحد اذا كان المقدار  $\frac{\sqrt{A_0}}{L}$

ثابت ولهذا فان المواصفات القياسية تنص على ثبات القيمة  $\frac{\sqrt{A_0}}{L}$  لعينة الاختبار على

النحو التالى:

$$L = 11.30 \sqrt{A_o} \quad \text{--- (6.3)}$$

للعينة الطويلة

$$L = 5.65 \sqrt{A_o} \quad \text{--- (6.4)}$$

للعينة القصيرة

أما في حالة العينة المستديره المقطوع فان العلاقة بين طول القياس للعينة وقطر العينه الأصلى تكون كالتالى:

$$L = 10 \times d_o \quad \text{--- (6.5)}$$

للعينة الطويلة

$$L = 5 \times d_o \quad \text{--- (6.6)}$$

للعينة القصيرة

حيث:

$d_o$  = قطر مقطع عينة الاختبار

---

**أنشطة اضافية على الفصل الخامس****درس عملى****الشد الأستاتيكى المحورى****Axial static tension****تحريه اختبار الشد لعينه من الصلب الطرى****لدراسة الأستطاله وتعيين ثوابت أنوين****الغرض من التحريه**

بيان كيفية توزيع الأستطاله على طول القياس لعينه من الصلب الطرى وتأثير طول القياس على النسبة المئويه للأستطاله وتأثير طول القياس على الأستطاله وتعيين ثوابت أنوين التي تربط العلاقة بين طول القياس والأستطاله ومساحة مقطع العينه المستعرض

**الأجهزه المستعمله**

(1) ماكينة اختبار هيدروليكيه

(2) ميكرومتر

(3) مسطره مدرجة

**خطوات الاختبار**

(1) تؤخذ عينه اختبار طولها من 35 الى 40 سم ويحدد عليها طول قياس مقداره 20 سم ويقسم هذا الطول الى عشرة أقسام متساوية طول كل منها 20 مم

(2) تثبت عينه الاختبار بين فكى ماكينة الاختبار الهيدروليكيه وتحمل تدريجيا حتى الكسر ويحدد القسم الذى حدث به الكسر ولكن القسم الرابع

(3) يقاس طول كل قسم من أقسام طول القياس ثم تحسب استطاله كل قسم وتدون فى جدول ولتكن نتائج الاختبار كانت كالموضح بالجدول الآتى والذى يسمى جدول توزيع الأستطاله على طول القياس

القسم	الطول بعد الكسر (مم)	الأستطاله(مم)
10	9	8
25.3	23.5	24
3.5	3.5	4
7	24	4
6	24.5	4.5
5	24.5	4.5
4	30	10
3	26	6
2	25	5
1	25	5

- (1) لتحديد العلاقة بين طول القياس والنسبه المئويه للأستطاله نتبع الآتى:
- (a) نعتبر طول القياس مكون من القسم الرابع الذى حدث به كسر فيكون طوله 20 مم والأستطاله المناظره هى 10 مم
- (b) نعتبر طول القياس مكون من الأقسام الثالث والرابع والخامس فيكون طول القياس 60 مم والأستطاله المناظره هى 20.5 مم
- (c) نعتبر طول القياس مكون من الأقسام الثانى والثالث والرابع والخامس والسادس فيكون طول القياس 100 مم والأستطاله المناظره هى 30 مم
- (d) نعتبر طول القياس مكون من الأقسام الأول والثانى والثالث والرابع والخامس والسادس والسابع فيكون طول القياس 140 مم والأستطاله المناظره هى 39 مم
- (e) تدون النتائج بالجدول الآتى الذى يمثل العلاقة بين طول القياس وكلا من الأستطاله والنسبه المئويه للأستطاله

طول القياس (مم)	الأستطاله (مم)	النسبه المئويه للأستطاله (%)
140	39	27.9
100	30	30
60	20.5	34.2
20	10	50

من الجدول رقم (1) يمكن رسم توزيع الأستطاله على طول القياس ومن الجدول رقم (2) يتم رسم العلاقة بين طول القياس والأستطاله وكذلك العلاقة بين طول القياس والنسبه المئويه للأستطاله

#### معادلة الأستطاله

$$\Delta L = b \times L + C \sqrt{A_0}$$

حيث :

$A_0$  = مساحة مقطع العينه الأصلى

$L$  = طول القياس

$b & c$  = ثوابت أنوين

ومن الرسم يمكن تعين ثوابت أنوين حيث أن

$$b = \tan \theta$$

$b$  = ميل الخط المستقيم

$C = \text{الجزء المقطوع من محور الصادات (محور الاستطاله)}$

و بمعلومية  $A_0$  (مساحة المقطع الأصلي للعينه ) يمكننا الحصول على الثابت C

### أسئلة و تدريبات على الفصل الخامس

#### الشد الأستاتيكي المحوري

Axial static tension

اختبار الشد لعينه من الصلب الطرى

لدراسة الاستطاله و تعين ثوابت أنوين

#### أجب عن الأسئلة الآتية :

(1) اشرح كيف يمكنك اجراء اختبار الشد لعينه من الصلب الطرى  
لدراسة الاستطاله و تعين ثوابت أنوين

(2) ارسم العلاقة بين طول القياس والأستطاله و اكتب معادلة  
الأستطاله و عرف كل عنصر من عناصرها

(3) أكتب معادلة حساب النسبة المئوية للاستطاله

(4) اكتب المواصفات القياسية التي تنص على ثبات القيمة  $\frac{\sqrt{A_0}}{L}$   
لعينة الاختبار وذلك لعينة الطويله والعينة القصيرة من شوربة المقطع  
وأيضا لعينة الطويله والعينة القصيرة مستديرة المقطع

(5) اجرى اختبار الشد لعينه من الصلب الطرى لدراسة الاستطاله  
و تعين ثوابت أنوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار  
ومقداره 20 سم الى عشرة اقسام متساوية وكان قطر العينه الأصلي 1 سم وبعد  
كسر العينه كان طول كل قسم كما هو بالجدول الآتى:

الطول بعد الكسر(مم)	القسم
24.50	1
25.00	2
26.00	3
27.50	4
31.00	5
28.00	6
27.00	7
26.00	8
25.50	9
25.00	10

والمطلوب حساب ورسم العلاقات الآتية:

- (1) توزيع الأستطاله على طول القياس
- (2) العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطاله
- (3) العلاقة بين طول القياس والأستطاله
- (4) استنتاج معادلة الأستطاله وحساب ثوابت أنوين

(6) أجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطري لدراسة الاستطاله وتعيين ثوابت أنوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم إلى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينة الأصلي 10 مم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي:

الطول بعد الكسر (مم)	القسم
24	1
24.5	2
25	3
25	4
26	5
31	6
27	7
26	8
26	9
10	10

- والمطلوب:** (1) استنتاج معادلة الاستطاله وتعيين ثوابت أنوين  
 (2) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطاله

(7) اجري اختبار الشد لعينه من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت انوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم الى عشرة اقسام متساوية وكان قطر العينة الاصلی 1 سم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو بالجدول الآتى:

الطول بعد الكسر(مم)	القسم
25.00	1
25.00	2
26.00	3
30.00	4
24.50	5
24.50	6
24.00	7
24.00	8
23.50	9
23.50	10

والمطلوب:

- (1) رسم توزيع الاستطالة على طول القياس
  - (2) استنتاج معادلة الاستطالة وحساب ثوابت انوين
  - (3) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة
- 

(8) اجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت انوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم الى عشرة اقسام متساوية وكان قطر العينة الاصلی 10 مم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتى:

القسم	الطول بعد الكسر (مم)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
25.3	23.5	24.0	25.0	24.5	24.5	29.5	26.0	26.0	25.5		

- والمطلوب:
- (1) استنتاج معادلة الاستطالة وتعيين ثوابت انوين
  - (2) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة
-

(٩) اجري اختبار الشد لعينه من الصلب الطرى لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم الى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينه الأصلى 1 سم وبعد كسر العينه كان طول كل قسم كما هو بالجدول الآتى:

القسم	الطول بعد الكسر(مم)
1	26.00
2	26.00
3	27.00
4	31.00
5	26.00
6	25.00
7	25.00
8	24.50
9	24.00
10	24.00

والمطلوب:

- (١) رسم توزيع الاستطالة على طول القياس
- (٢) استنتاج معادلة الاستطالة وحساب ثوابت أنوين
- (٣) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

---

نهاية الفصل الخامس  
أ.د/ مجد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسة الزراعية  
كلية الزراعة - جامعة المنوفية



## الفصل السادس (6)

### الشد الأستاتيكي المحوري

#### Axial static tension

#### ثالثا : الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى

#### True stress and true strain

#### أهداف ومحرّجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل السادس

يسْتَهْدِف هَذَا الفَصْل دراسة و تفسير معنى الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى والتعرف على معنى المواد المطيلة والمُواد نصف المطيلة والمواد القصيرة وعلاقة كل نوع بالتشكل وتغيير ابعادها قبل حدوث الكسر ويستهدف الفصل أيضا دراسة كيفية اجراء اختبار الشد الأستاتيكي المحوري لعينة من المعدن لدراسة العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى وعلاقتها بالأجهاد العادي والأنفعال العادي ودراسة مناطق التحميل الثلاث في العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى واستنتاج معادلة المنحنى لكل منطقة من مناطق التحميل الثلاث ثم الاستنتاج الرياضى للعلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى والأجهاد العادي والأنفعال العادي باستخدام ابعاد العينة وباستخدام الأنفعالات المحورية وبذلك يكتسب الطالب مهارة مناقشة الاستنتاج الرياضى للمعادلة وأيضا مهارة الدقة في الرسم البياني ومقارنة منحنى الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى بمنحنى الأجهاد العادي والأنفعال العادي

#### مقدمة

فِي حَالَةِ الْمُوادِ الْمَطِيلَةِ (وَهِيَ الْمُوادُ الَّتِي يَحْدُثُ بِهَا تَشْكُلٌ كَبِيرٌ قَبْلَ حَدُودِ الْكَسْرِ) وَنَظَرًا لِأَنْ قَيْمَ الْأَسْتَطَالَهِ وَبِالْتَّالِي الْأَنْفَعَالِ لِقَيْمِ الْأَجْهَادِ فِي حَدُودِ الْمَرْوَنَهِ تَكُونُ صَغِيرَه نَسْبِيَّاً عَنْ مَثِيلَهَا فِي حَالَهِ الْأَجْهَادِ فَوْقَ حَدُودِ الْمَرْوَنَهِ فَانِ التَّغْيِيرَاتِ فِي أَبعَادِ الْعِينَهِ (طُولِ الْقِيَاسِ وَمَسَاحَهِ مَقْطُوعِ الْعِينَهِ) لِقَيْمِ الْأَجْهَادِ الْمُرْنِ تَكُونُ صَغِيرَه بِالنَّسْبَهِ لِهَذِهِ التَّغْيِيرَاتِ فِي حَالَهِ الْأَجْهَادِ اللَّدِنِ

وَبِذَلِكَ فَانِ جَزْءِ الْمَنْحَنِيِّ الْبِيَانِيِّ لِلْأَجْهَادِ الْعَادِيِّ وَالْأَنْفَعَالِ الْعَادِيِّ فِي حَدُودِ الْمَرْوَنَهِ لِلْمُوادِ الْمَطِيلَهِ لَا يَخْتَلِفُ كَثِيرًا عَنْ نَظِيرِهِ فِي مَنْحَنِيِّ الْأَجْهَادِ الْحَقِيقِيِّ وَالْأَنْفَعَالِ الْحَقِيقِيِّ

اما جزء المنهنى البيانى للاجهاد العادى والانفعال العادى فوق حدود المرونة فهو على جانب كبير من الخطأ حيث أن

### (1) الأجهاد الحقيقى

#### True stress

يعرف الأجهاد الحقيقى على أنه عباره عن الحمل المؤثر مقسوما على مساحة أقل مقطع عند هذا الحمل ومساحة هذا المقطع فوق حدود المرونة تكون أقل منها للفقط الأصلى وهذا النقص فى مساحة المقطع يزداد تدريجيا حتى كسر العينة أى أن الأجهاد الحقيقى يحسب من المعادله الآتية :

$$\text{الأجهاد الحقيقى} = (\text{الحمل}) / \text{مساحة اقل مقطع للعينة عند هذا الحمل}$$

$$\text{True Stress} = \frac{4 \times P_i}{\pi \times d_i^2} \quad \dots \quad (7.1)$$

حيث:

$P_i$  = الحمل فوق حدود المرونة

$d_i$  = قطر العينة عند هذا الحمل

### (2) الانفعال الحقيقى

#### True strain

الانفعال العادى عبارة عن الأستطاله  $\Delta L$  مقسمة على طول القياس الأصلى  $L_0$  أى

أنه عباره عن  $\frac{\Delta L}{L_0}$  بينما الانفعال الحقيقى تحسب قيمته تبعا للخطوات الآتية :

عند زيادة الحمل  $P_i$  بقيمه مقدارها  $\Delta P_i$  يتغير طول العينة  $L_i$  بمقدار  $\Delta L_i$  وتكون

الزيادة فى قيمة الانفعال نتيجة الزيادة فى قيمة الحمل بمقدار  $\Delta P_i$  هى  $\frac{\Delta L_i}{L_i}$

وبالتالى يكون الانفعال الحقيقى عند أى حمل هو:

$$\text{True Strain} = \int_{L_0}^L \frac{1}{L} dL = \ln(L) \Big|_{L_0}^L \quad \dots \quad (7.2)$$

$$\text{True Strain} = \ln \frac{L}{L_0} \quad \dots \quad (7.3)$$

ونظرا لأن حجم العينة ثابت عند أى حمل فان:

$$L_0 \times A_0 = L \times A \quad \dots \quad (7.4)$$

أى أن:

$$\frac{L}{L_0} = \frac{A_0}{A} \quad \text{--- (7.5)}$$

حيث:

$A_0$  = مساحة المقطع الأصلى للعينه

$A$  = مساحة مقطع العينة عند الحمل  $P$

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A} \quad \text{--- (7.6)}$$

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{\frac{\pi}{4} \times d_0^2}{\frac{\pi}{4} \times d^2} \quad \text{--- (7.7)}$$

$$\text{TrueStrain} = 2 \times \ln \left( \frac{d_0}{d} \right) \quad \text{--- (7.8)}$$

حيث:

$d_0$  = القطر الأصلى للعينه

$d$  = قطر العينة عند الحمل  $P$

والشكل رقم (7.1) يمثل المنحنى البيانى للأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى للصلب الطرى والمنحنى يتكون من ثلاثة مناطق يمكن توضيحها كما يلى:

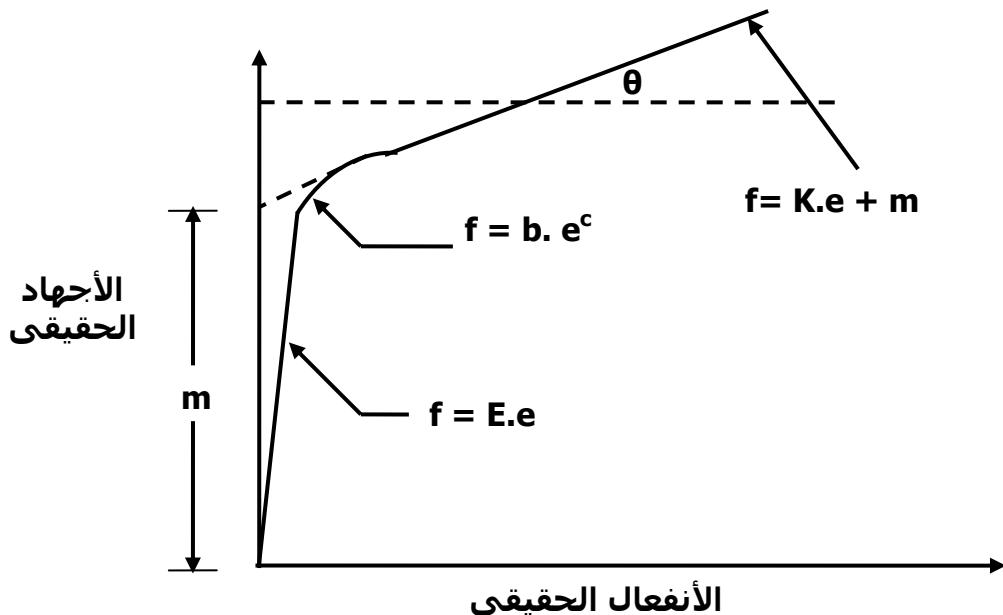
#### (1) المنطقة الأولى

من بداية التحميل حتى اجهاد حد المرone (حمل الخضوع) وفى هذه المنطقة تكون العلاقة بين الأجهاد ( $f$ ) والأنفعال ( $e$ ) عباره عن خط مستقيم رأسى تقريباً ومعادله هى:

$$f = E \times e \quad \text{--- (7.9)}$$

حيث :

$E$  = معابر المرone



شكل (7.1): العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى للصلب الطرى

#### (2) المنطقة الثانية

من حمل الخضوع وحتى أقصى حمل (منطقة حدوث الرقبة) وفيها تكون العلاقة بين الأجهاد ( $f$ ) والأنفعال ( $e$ ) عبارة عن منحنى معادلة تمثل دالة أسيّة على الصورة الآتية:

$$f = b \times e^c \quad \dots \quad (7.10)$$

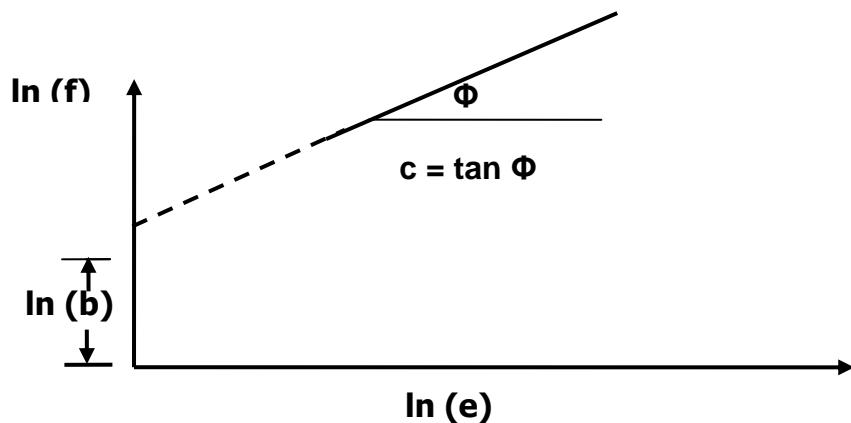
حيث:

$b$  &  $c$  ثابتان عديان

ويمكن تعين قيمتيهما من المنحنى البياني للأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى وذلك بأن نأخذ لوغاريتم الطريقين للمعادلة الأسيّة كالتالي:

$$\ln(f) = \ln(b) + c \times \ln(e) \quad \dots \quad (7.11)$$

وهذه العلاقة هي علاقة خط مستقيم يكون من السهل فيها تعين الثابتان  $b$  &  $c$  كما يوضحه الشكل رقم (7.2)



شكل (7.2): تعين قيمة الثابتان  $b$ & $c$

### (3) المنطقة الثالثة

هذه المنطقة تبدأ من أقصى حمل وتنتهي عند الكسر وتكون العلاقة بين الأجهاد الحقيقية والأنفعال الحقيقي عندها عبارة عن خط مستقيم معادلته على الصوره الآتية:

$$f = K \times e + m \quad \text{--- (7.12)}$$

حيث:

$m$  ثابتان عديان  $m$  &  $K$

من الممكن تحديد قيمتي الثابتان من المنحنى البياني للأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى مباشرة حيث يمثل الثابت  $K$  ميل الخط المستقيم بينما يمثل الثابت  $m$  الجزء المقطوع من محور الصادات.

### ملحوظة

المنحنى البياني للأجهاد العادي والأنفعال العادي يستخدم في تحديد الخواص الميكانيكية للمعادن في حدود المرونة مثل اجهاد حد التناوب واجهاد الخضوع والرجوعيه ومعابر المرونة ..... الخ وهذه الخواص تستخدم في أعمال التصميم في حدود المرونة  
أما المنحنى البياني للأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقي فيعطي علاقة حقيقة بين الأجهاد والأنفعال فوق حدود المرونة ويستخدم في تعين الخواص الميكانيكية الحقيقية للمعادن فوق حدود المرونة

### علاقة الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى

#### بالأجهاد العادى والأنفعال العادى

#### أولاً : باستخدام أبعاد العينه

اذا كانت  $d$  تمثل قطر العينة عند الحمل  $P$  وكان طول القياس عند نفس الحمل هو  $L$  فان الأنفعال الحقيقى يكون كما ذكر من قبل فى المعادلات (7.6) (7.7) & (7.8) كما يلى:

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A}$$

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{\pi \times d_0^2}{\pi \times d^2}$$

$$\text{TrueStrain} = 2 \times \ln \left( \frac{d_0}{d} \right)$$

والأجهاد الحقيقى يكون عباره عن:

$$\text{TrueStrain} = \frac{4P}{\pi \times d^2} \quad \dots \quad (7.13)$$

من خلال معادلتي حساب كل من الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى السابقتين يمكننا رسم العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى أثناء الاختبار وذلك بقياس قطر العينة  $d$  عند كل حمل  $P$  ثم التعويض في المعادلتين السابقتين (7.8) & (7.13)

#### ثانياً : باستخدام الأنفعالات المحوريه

#### (1) العلاقة بين الأنفعال الحقيقى والأنفعال العادى

من الممكن التعبير عن الأنفعال الحقيقى بدلالة طول القياس  $L_0$  والأسططاله  $\Delta L$ :

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{L}{L_0} \quad \dots \quad (7.14)$$

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{L_0 + \Delta L}{L_0} \quad \dots \quad (7.15)$$

$$\text{TrueStrain} = \ln \left( 1 + \frac{\Delta L}{L_0} \right) \quad \dots \quad (7.16)$$

والمعروف أن المقدار  $\frac{\Delta L}{L_0}$  هو عباره عن الانفعال العادي والذى سترمز له بالرمز  $e'$

فتصبح المعادله السابقة كالتى:

$$\text{TrueStrain} = \ln(1 + e') \quad \dots \quad (7.17)$$

فإذا رمزنا للانفعال الحقيقى بالرمز  $e$  توضع المعادله السابقة على الصوره الآتية:

$$e = \ln(1 + e') \quad \dots \quad (7.18)$$

## (2) العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأجهاد العادي

المعروف أن قيمة الأجهاد الحقيقى عند الحمل  $P$  تحسب كالتى:

الأجهاد الحقيقى = الحمل / ( مساحة أصغر مقطع تحت تأثير هذا الحمل )

$$\text{True stress} = \frac{P}{A} \quad \dots \quad (7.19)$$

وحيث أن حجم العينه ثابت فى كل الأحوال فان:  $L_0 \times A_0 = L \times A$

$$\frac{L}{L_0} = \frac{A_0}{A} \quad \text{أى أن:}$$

$$\frac{A_0}{A} = \frac{L_0 + \Delta L}{L_0}$$

$$\frac{A_0}{A} = 1 + \left( \frac{\Delta L}{L_0} \right)$$

$$\frac{A_0}{A} = 1 + e'$$

$$A = \frac{A_0}{1 + e'}$$

$$\text{True Stress} = \frac{P}{A}$$

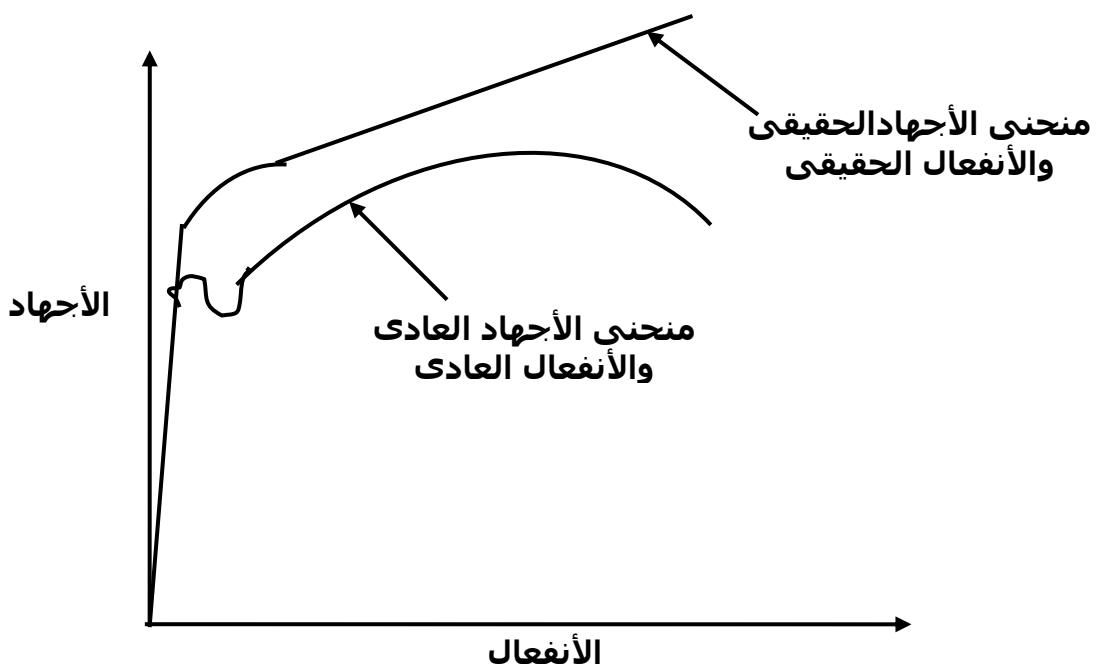
$$\text{True Stress} = \frac{P(1 + e')}{A_0} \quad \text{True Stress} = \left( \frac{P}{A_0} \right) \times (1 + e')$$

$$\times (1 + e') = \text{الأجهاد العادي} = \text{الأجهاد الحقيقى}$$

أى أن:

$$\text{الأجهاد الحقيقى} = \text{الأجهاد العادى} \times (1 + \text{الأنفعال العادى})$$

المعادلة السابقة تحدد قيمة الأجهاد الحقيقة بدلالة كل من الأجهاد العادى والأنفعال العادى والشكل رقم (7.3) يبين مقارنه بين المنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى والمنحنى البيانى للاجهاد العادى والأنفعال العادى لمعدن الصلب الطرى



شكل (7.3): مقارنه بين المنحنى البيانى للاجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى والمنحنى البيانى للاجهاد العادى والأنفعال العادى لمعدن الصلب الطرى



## أنشطة اضافية على الفصل السادس

### درس عملى

الشد الأستاتيكى المحورى

Axial static tension

تجربة اختبار الشد لعينه من الصلب الطرى

رسم المنهجى السانى للأجهاد الحقيقى والأنفعال  
الحقيقى

### الغرض من التجربة

يجرى هذا الاختبار لرسم المنهجى البيانى للأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى لعينه من الصلب الطرى ثم دراسة خصائص هذا المنهجى

### عينة الاختبار

قطعة اختبار ذات مقطع دائري

### طريقة اجراء الاختبار

(1) تثبت عينة الاختبار بين فكى ماكينة الاختبار ويقاس قطر أصغر قطاع ولتكن  $d_0$  ثم تحمل العينة بالتدريج حتى نهاية حد المرونة تقريراً فيلاحظ أن التغير في قطر العينة صغير جداً حتى نهاية حد المرونة

(2) ابتداءً من منطقة المرونة تحمل عينة الاختبار على دفعات وفي كل مرحلة تسجل قيمة الحمل وقيمة أصغر قطر  $d$  لعينة الاختبار المناظر له ويستمر في ذلك حتى أقصى حمل

(3) عندما يبدأ أقصى حمل في النقصان تؤخذ قيمة الحمل على فترات ويقاس في كل مرحلة أصغر قطر لعينة

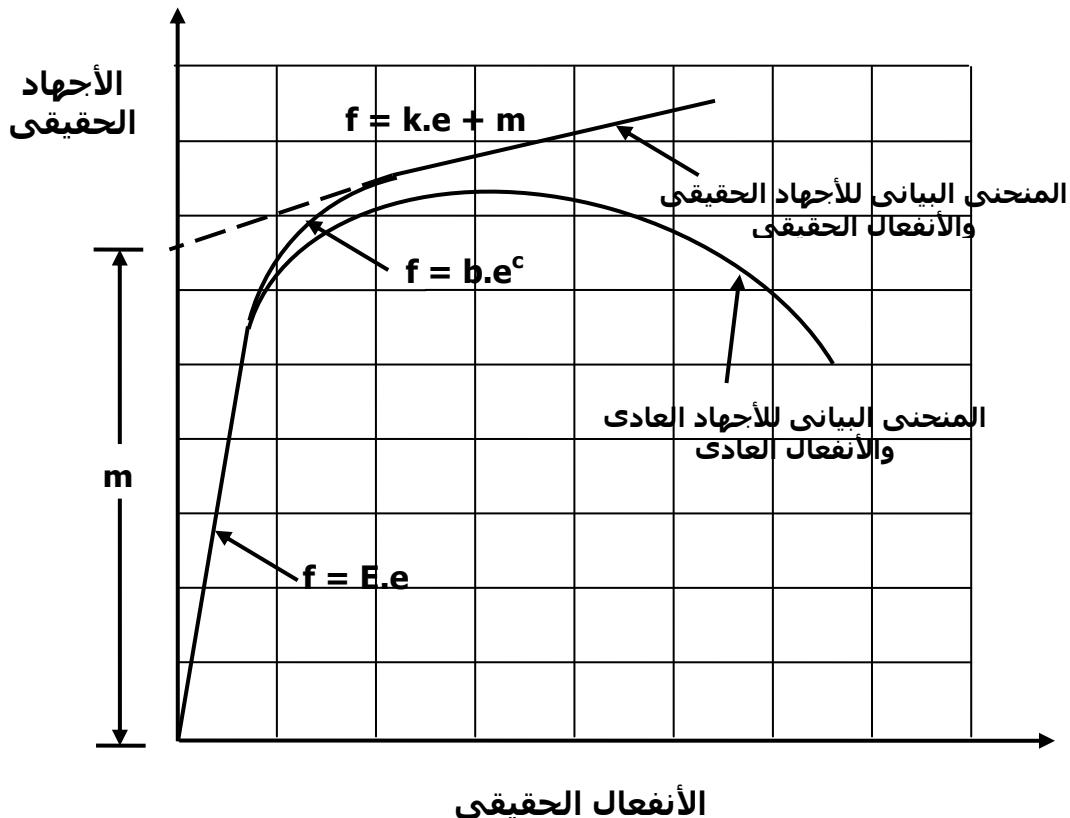
### تحليل النتائج

1- تدون النتائج في جدول كالتالي:

الأنفعال الحقيقى $2 \times \ln \left( \frac{d_o}{d} \right)$	الأجهاد الحقيقى ( $\text{كجم}/\text{م}^2$ ) $P/A$	أصغر مساحة مقطع لعينه ( $\text{مم}^2$ ) $A$	أصغر قطر (مم) $d_0$	الحمل (كجم) $P$

من الجدول السابق يمكن حساب قيمة الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى عند كل حمل كالأتى:

$$\text{الأجهاد الحقيقى} = \text{الحمل (P)} / \text{مساحة أصغر مقطع عند هذا الحمل}$$



العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى للصلب الطرى والعلاقه  
بين الأجهاد العادى والأنفعال العادى ( باستخدام أبعاد العينه )

$$\text{TrueStrain} = 2 \times \ln \left( \frac{d_0}{d} \right)$$

حيث:

$d$  = أصغر قطر للينه عند الحمل &

$d_0$  = أصغر قطر للينه قبل التحميل

2- يتم رسم العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى للصلب الطرى ويوضع على نفس الرسم العلاقة بين الأجهاد العادى والأنفعال العادى ( باستخدام قياس أبعاد العينه ) كما بالشكل السابق

3- يلاحظ أن العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى من البدايه حتى حد المرونه هي:

$$f = E \times e$$

حيث:

$f$  = الأجهاد الحقيقى ،

$E$  = معاير المرونه &  $e$  = الأنفعال الحقيقى

4- العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى من اجهاد الخضوع حتى الرقبه تمثلها المعادله الآتية:

$$f = b \times e^c$$

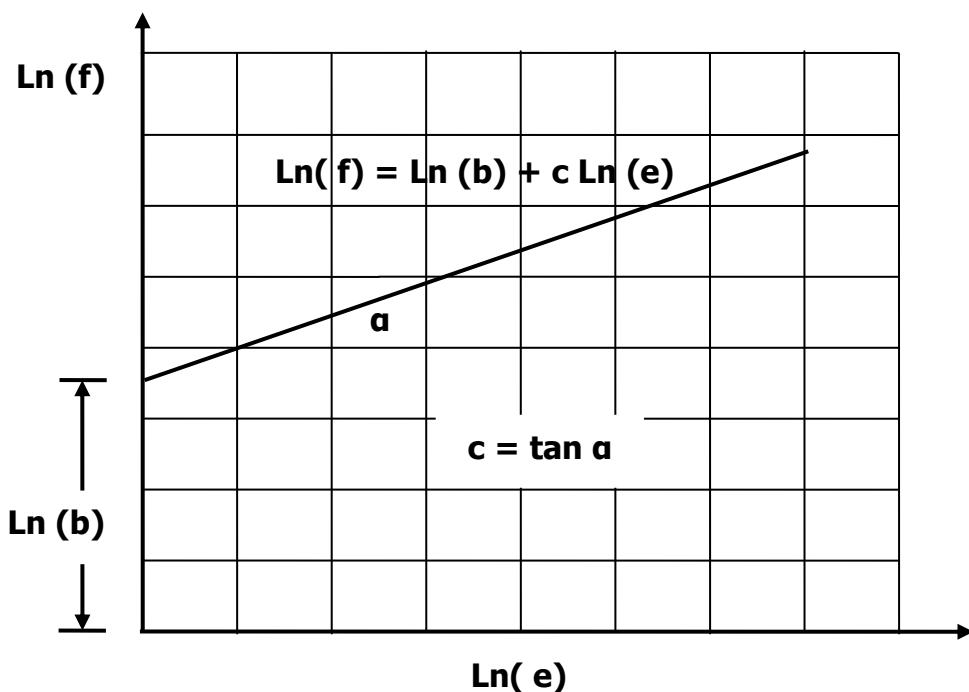
حيث:

$b$  &  $c$  ثوابت يمكن تعين قيمة كل منها كالتالى:

$$\ln(f) = \ln(b) + c \times \ln(e)$$

وترسم العلاقة بين  $\ln f$  &  $\ln e$  كما بالشكل الآتى وهى عباره عن خط مستقيم ميله الثابت هو القيمه ( $c$ ) بينما الجزء المقطوع من محور الصادات يمثله المقدار

( $\ln b$ )



العلاقة بين اللوغاريتيم الطبيعي للأجهاد (  $\ln f$  ) واللوغاريتيم الطبيعي للأنفعال (  $\ln e$  )

5- نرسم العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى من حدوث الرقبه وحتى الكسر وهى عباره عن خط مستقيم تمثله المعادله الآتية:

$$f = (K \times e) + m$$

حيث:

$m$  ثابتان عديان

ميل هذا الخط هو الثابت  $k$  بينما الجزء المقطوع من محور الصادات يمثله الثابت  $m$

### علاقة الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى

#### بالأجهاد العادي والأنفعال العادي

أولاً: باستخدام أبعاد العينه (قطر العينه عند كل حمل)

اذا كان  $d$  يمثل قطر العينه عند الحمل  $P$  وكان طول القياس عند نفس الحمل هو  $L$  فان الأنفعال الحقيقى

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{L}{L_0} = \ln \frac{A_0}{A}$$

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{\pi \times d_0^2}{\pi \times d^2}$$

$$\text{TrueStrain} = 2 \times \ln \left( \frac{d_0}{d} \right)$$

والأجهاد الحقيقى يكون عباره عن:

$$\text{TrueStrain} = \frac{4P}{\pi \times d^2}$$

من خلال معادلتي حساب كل من الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى السابقتين يمكننا رسم العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى اثناء الاختبار وذلك بقياس قطر العينة  $d$  عند كل حمل  $P$  ثم التعويض في المعادلتين السابقتين

ثانياً: باستخدام الأنفعالات المحورية

#### (1) العلاقة بين الأنفعال الحقيقى والأنفعال العادي

من الممكن التعبير عن الأنفعال الحقيقى بدالة طول القياس  $L$  والأسططاله  $\Delta L$  كالتالى:

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{L}{L_0}$$

$$\text{TrueStrain} = \ln \frac{L_0 + \Delta L}{L_0}$$

$$\text{TrueStrain} = \ln \left( 1 + \frac{\Delta L}{L_0} \right)$$

والمعروف أن المقدار  $\frac{\Delta L}{L_0}$  هو عباره عن الانفعال العادي والذى سنرمز له بالرمز  $e'$

فتصبح المعادله السابقة كالتالي:

$$\text{TrueStrain} = \ln \left( 1 + e' \right)$$

فإذا رمزنا للانفعال الحقيقى بالرمز  $e$  توضع المعادله السابقة على الصوره الآتية:

$$e = \ln \left( 1 + e' \right)$$

## (2) العلاقة بين الأجهاد الحقيقى والأجهاد العادي

معروف أن قيمة الأجهاد الحقيقى عند الحمل  $P$  تحسب كالتالي:

**الأجهاد الحقيقى = الحمل / ( مساحة أصغر مقطع تحت تأثير هذا الحمل )**

$$\text{TrueStrain} = \frac{P}{A}$$

وحيث أن حجم العينة ثابت في كل الأحوال فان:  $L_0 \times A_0 = L \times A$

$$\frac{L}{L_0} = \frac{A_0}{A}$$

أى أن:

$$\frac{A_0}{A} = 1 + \left( \frac{\Delta L}{L_0} \right)$$

$$\frac{A_0}{A} = 1 + e' \quad A = \frac{A_0}{1 + e'}$$

$$\text{TrueStrain} = \frac{P}{A}$$

$$\text{TrueStrain} = \frac{P(1 + e')}{A_0}$$

$$\text{TrueStrain} = \left( \frac{P}{A_0} \right) \times (1 + e')$$

$$\text{الأجهاد الحقيقى} = \text{الأجهاد العادى} \times \{1 + e'\}$$

أى أن:

$$\text{الأجهاد الحقيقى} = \text{الأجهاد العادى} \times (1 + \text{الأنفعال العادى})$$

المعادلة السابقة تحدد قيمة الأجهاد الحقيقى بدلالة كل من الأجهاد العادى والأنفعال

العادى وهي تحدد قيمة الأجهاد الحقيقى بدلالة كل من الأجهاد العادى والأنفعال العادى

---

## أسئلة وتدريبات على الفصل السادس

### الشد الأستاتيكى المحورى

Axial static tension

اختبار الشد لعينه من الصلب الطرى

لرسم المنحنى السانى

للأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى

أجب عن الأسئلة الآتية :

(1) عرف كل من الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى وأكتب معادلة حساب الأجهاد الحقيقى وخطوات ايجاد معادلة حساب الأنفعال الحقيقى

(2) ارسم رسمًا تخطيطيًّا لمنحنى الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى موضحاً على الرسم مناطق تقسيمه ومعادلة المنحنى الخاص بكل منطقة

(3) استنتج علاقة الأجهاد الحقيقى والأنفعال الحقيقى بالأجهاد العادى والأنفعال العادى باستخدام أبعاد العينه

(4) استنتاج رياضياً العلاقة الآتية:

$$\text{الأجهاد الحقيقى} = \text{الأجهاد العادى} \times (1 + \text{الأنفعال العادى})$$

(5) احرجت تجربة شد على قطعة اختبار مصنوعه من الصلب الطرى قطرها 23 مم وطول القياس 200 مم وكانت نتائج الاختبار كما هي بالجدول الآتى:

الحمل (طن)	الأسططاله (مم)	أصغر قطر فى طول القياس (مم)	ملاحظات
صفر	صفر	23.00	قيل التحميل
4.00	0.09	--	منطقة مرونه
8.00	0.18	--	منطقة مرونه
10.85	3.10	22.70	منطقة خضوع
14.00	15.25	22.10	
15.25	26.00	21.60	
15.80	40.00	21.00	أقصى حمل
15.75	54.00	18.00	
13.00	71.00	14.90	حمل الكسر

**والمطلوب تعين الآتى:**

- (1) مقاومة الشد
  - (2) الأجهاد الحقيقى عند الكسر
  - (3) معاير المرونه
  - (4) الأنفعال العادى والأنفعال الحقيقى عند بداية حدوث الرقبه
  - (5) النسبة المئويه للنقص فى مساحة المقطع
  - (6) النسبة المئويه للأسططاله
  - (7) معاير المتناه
- 
- (8) اجريت تجربه شد على قطعة اختبار مصنوعه من الصلب الطرى قطرها 23 مم وطول القياس 200مم وكانت نتائج الاختبار كما هي بالجدول الآتى:

الحمل (طن)	الاستطالة (مم)	أصغر قطر في طول القياس (مم)	ملاحظات
صفر	صفر	23.00	قيل التحميل
4.00	0.09	--	منطقة مرونه
8.00	0.18	--	منطقة مرونه
10.85	3.10	22.70	منطقة خضوع
14.00	15.25	22.10	
15.25	26.00	21.60	
15.80	40.00	21.00	أقصى حمل
15.75	54.00	20.8	
13.00	71.00	19.40	حمل الكسر

والمطلوب تعين الآتى:

- (1) مقاومة الشد
- (2) الأجهاد الحقيقى عند الكسر
- (3) معاير المرونه
- (4) الأنفعال العادى والأنفعال الحقيقى عند بداية حدوث الرقبه
- (5) النسبة المئويه للنقص فى مساحة المقطع
- (6) النسبة المئويه للأستطاله
- (7) معاير المتانه

---

نهاية الفصل السادس  
أ.د/ مجد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسه الزراعية  
كلية الزراعة - جامعة المنوفية

## الفصل السابع (7)

### الشد الأستاتيكي المحوري

### Axial static tension

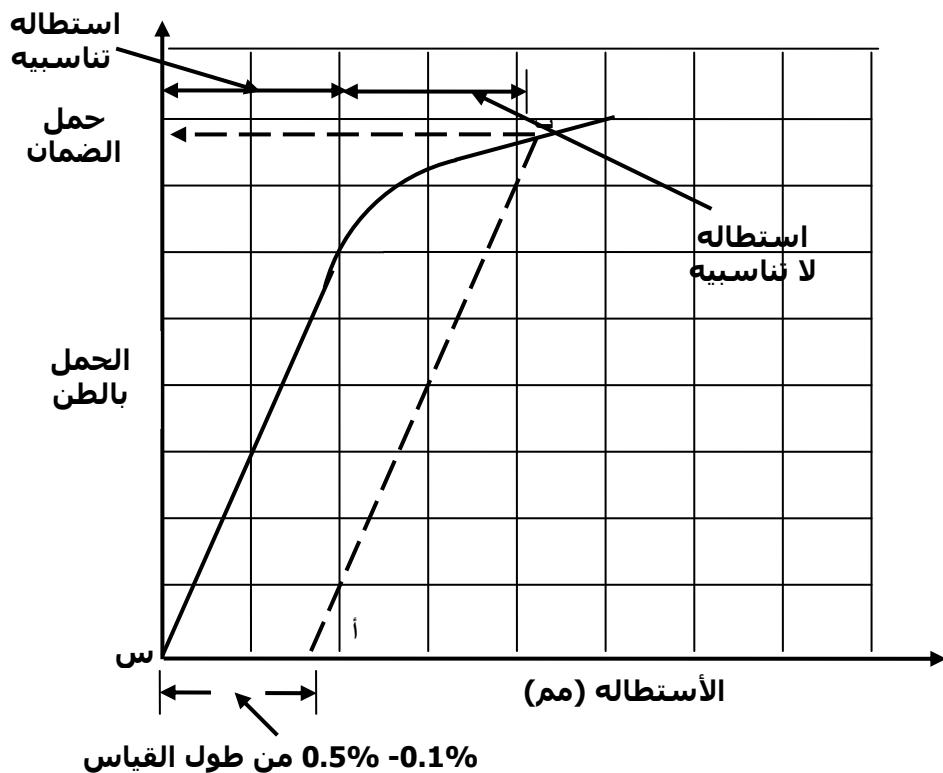
#### رابعا : اجهاد الضمان لمعدن الصلب عالي المقاومة

#### أهداف ومحرّجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل السابع

هذا الفصل دراسته تهدف الى التعريف العلمي الدقيق لأجهاد الضمان خاصة لمعدن الصلب عالي المقاومة والتعرف على شكل العلاقة البيانية للحمل والأسطالة لمعدن الصلب عالي المقاومة ثم استنتاج الخواص الميكانيكية للمعدن تحت حمل الشد الأستاتيكي المحوري ومنها اجهاد الضمان ومقاومة الشد القصوي ومعايير المرونة وبقية الخواص الميكانيكية لمعدن الصلب عالي المقاومة وبالتالي يكتسب الطالب مهارة مناقشة الأستنتاج الرياضي للمعادلة الخاصة بكل خاصية وايضاً مهارة الدقة في الرسم البياني

#### مقدمة

يعرف اجهاد الضمان بأنه هو الأجهاد الذي يحدث في قطعة الاختبار أثناء تحميلاها



تعين اجهاد الضمان للصلب عالي المقاومة

استطالة لاتناسبية مساوية لنسبة معينه من طول القياس تتراوح هذه النسبة من 0.1% الى 0.5% من طول القياس تبعاً لمواصفات المعدن وستعمل في حالة المعدن التي لها خاصية المرونة ولكن ليس لها منطقة خضوع كما هو موضح بالشكل الآتي

### تعين الخواص الميكانيكية لمعدن الصلب عالي المقاومة

#### تحت حمل الشد الأستاتيكي المحوري

(1) حمل الضمان وتحسب قيمة اجهاد الضمان من المعادله الآتيه:

$$\text{اجهاد الضمان} = \text{حمل الضمان} / \text{مساحة المقطع الأصلى للعينه}$$

(2) تحسب مقاومة الشد القصوى من العلاقة الآتيه:

$$\text{ مقاومة الشد} = \text{أقصى حمل} / \text{مساحة المقطع الأصلى للعينه}$$

(3) يتم حساب النسبة المئويه للأستطاله من العلاقة الآتيه:

$$\text{النسبة المئويه للأستطاله} = (\Delta L / L) \times 100$$

(4) معاير المرونه يحسب من المعادله الآتيه:

$$\text{معايير المرونه} = (\text{الحمل}/\text{الأستطاله}) \times (\text{طول القياس}/\text{مساحة المقطع الأصلى للعينه})$$

(ويحسب بالنسبة لجزء المستقيم من المنحنى)

(5) تحسب النسبة المئويه للنقص في مساحة المقطع من المعادله الآتيه:

$$\text{النسبة المئويه للنقص في مساحة المقطع} = A_0 / (A_0 - A) \times 100$$

حيث:

$$A_0 = \text{مساحة المقطع الأصلى للعينه} &$$

$$A = \text{مساحة مقطع العينه بعد الكسر}$$

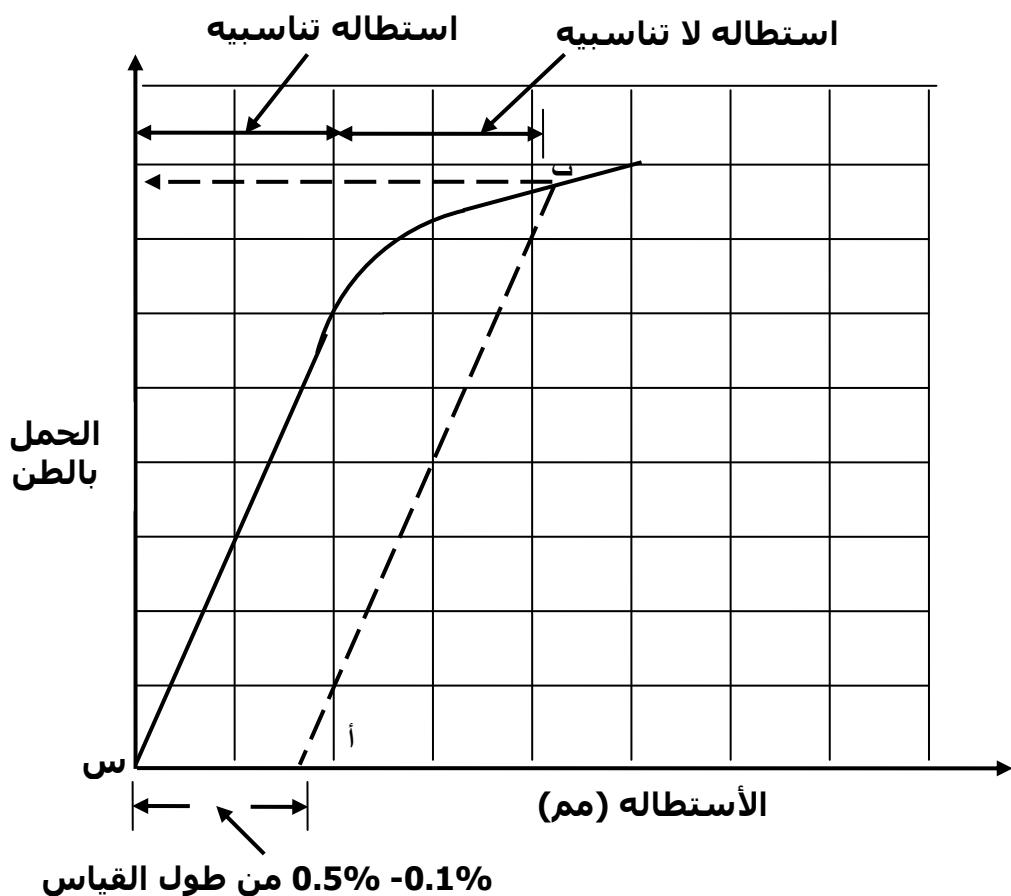
(6) معاير الرجوعيه يحسب من المعادله الآتيه:

$$\text{معايير الرجوعيه} = (\text{المساحه تحت الخط المستقيم من منحنى الحمل والأستطاله}) / (\text{طول القياس} \times \text{مساحة})$$

$$\text{المقطع الأصلى للعينه)$$

**أنشطة اضافية على الفصل السابع****درس عملى****الشد الأستاتيكى المحورى****Axial static tension****تحريه اختبار الشد لعنىه من الصلب عالي المقاومة****لتعيين اجهاد الضمان**

اجهاد الضمان هو الاجهاد الذى يحدث فى قطعة الاختبار أثناء تحميلها استطالة لاتناسبية مساویه لنسبة معینه من طول القياس تتراوح هذه النسبة من  $0.1\%$  الى  $0.5\%$  من طول القياس بعما لمواصفات المعدن وتستعمل فى حالة المعادن التي لها خاصية المرنة ولكن ليس لها منطقة حضوع كما هو موضح بالشكل الآتى:

**تعيين اجهاد الضمان للصلب عالي المقاومه**

### الغرض من التحربه

تعيين اجهاد الضمان لعينه من الصلب عالي المقاومه فى الشد وكذلك  
تعيين الخواص الميكانيكيه للعينه المختبره  
خطوات الاختبار

- 1- حضر عينه اختبار قياسيه من الصلب عالي المقاومه
- 2- تثبت عينة الاختبار بين فكى ماكينة الاختبار فى الشد وتحمل بحمل ابتدائى صغير ول يكن 20 كجم ويثبت عليها جهاز لقياس الانفعال على طول القياس أو يستعمل جهاز لرسم المنحنى التلقائى للحمل والاستطالة
- 3- بعد ذلك تحمل العينه على دفعات ويقاس لكل حمل الاستطالة المناظره
- 4- يستمر فى تحمل عينة الاختبار حتى الكسر ويقاس طول القياس بعد الكسر وكذلك يقاس قطر العينه عند مقطع الكسر

### تحليل النتائج

- (1) ترسم العلاقة بين الحمل والاستطالة (أو تؤخذ تلقائياً من ماكينة الاختبار بعد رسماها) ويرسم خط يوازي الخط المستقيم من المنحنى كما هو موضح بالشكل السابق مع الأخذ في الاعتبار أن القيمة أ س تحدد حسب مواصفات المعدن
- (2) يسجل حمل الضمان وتحسب قيمة اجهاد الضمان من المعادله الآتية:

$$\text{اجهاد الضمان} = \frac{\text{حمل الضمان}}{\text{مساحة المقطع الأصلي للعينه}}$$

- (3) تحسب مقاومة الشد القصوى من العلاقة الآتية:

$$\text{مقاومة الشد} = \frac{\text{أقصى حمل}}{\text{مساحة المقطع الأصلي للعينه}}$$

- (4) يتم حساب النسبة المئوية للأستطالة من العلاقة الآتية:

$$\text{النسبة المئوية للأستطالة} = 100 \times \frac{\Delta L}{L}$$

- (5) معاير المرونه يحسب من المعادله الآتية:

$$\text{معايير المرونه} = (\text{الحمل / الأستطالة}) \times (\text{طول القياس / مساحة المقطع الأصلي للعينه})$$

(ويحسب بالنسبة للجزء المستقيم من المنحنى)

- (6) تحسب النسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع من المعادله الآتية:

$$\text{النسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع} = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100$$

حيث:  $A_0$  = مساحة المقطع الأصلي للعينه &

$A$  = مساحة مقطع العينه بعد الكسر

(7) معاير الرجوعيه يحسب من المعادله الآتية:

معايير الرجوعيه = (المساحه تحت الخط المستقيم من منحنى الحمل والأستطاله ) /

(طول القياس × مساحة المقطع الأصلي للعينه)

أسئلة وتدريبات على الفصل السابع

الشد الأستاتيكي المحوري Axial static tension

تحريه اختبار الشد لعينه من الصلب عالي المقاومة

لتعدين اجهاد الضمان

أجب عن الأسئلة الآتية :

(1) عرف اجهاد الضمان وأشرح كيف يمكنك تعينه

(2) ارسم رسميا تخطيطيا لمنحنى الحمل والأستطاله لمعدن الصلب عالي المقاومة

(3) أكتب معادلة حساب كل من: مقاومة الشد - النسبة المئويه للنقص في مساحة المقطع

(4) اجري اختبار الشد على عينه من الصلب عالي المقاومه وكان قطر العينه الأصلى 0.5 بوصه و طول القياس 2.5 بوصه وكانت الأحمال بالرطل والأستطاله المناظره باليوصه كما هي بالجدول الآتى:

الاستطالة(بوصة)	الحمل (باوند)
0.00065	1990
0.0013	4005
0.002	6010
0.0027	8120
0.0034	10250
0.0039	11780
0.0047	14230
0.0056	16150
0.11	17000
0.171	17840

ارسم المنحنى الابياني للحمل وال الاستطالة ثم عين الآتى:

(1) اجهاد ضمان لمعدن الصلب المختبر

(2) معاير المرونة

(3) معاير الرجوعية

(4) معاير المتانة

(5) اشرح كيف يمكنك اجراء اختبار الشد لعينة من الصلب عالي المقاومة لتعيين اجهاد الضمان

(5) اجري اختبار الشد على عينة من الصلب عالي المقاومة وكان قطر العينة الأصلي 1.0 سم و طول القياس 20 سم وكانت الأحمال بالطن والاستطالة المترادفة بالمم كما هي بالجدول الآتى:

الحمل (طن)	الاستطالة (مم)
6.75	6.00
3.000	1.500
5.50	1.125
4.80	0.740
4.00	0.500
3.00	0.375
2.00	0.250
1.00	0.125
صفر	صفر

ارسم المنحنى الابياني للحمل وال الاستطالة ثم عين الآتى:

(1) اجهاد ضمان لمعدن الصلب المختبر

(2) معاير المرونة

(3) معاير الرجوعية

(4) مقاومة الشد القصوى

(5) النسبة المئوية للاستطالة

(6) اجرى اختبار الشد على عينه من الصلب عالي المقاومه وكان قطر العينه الأصلی 1.5 سم و طول القياس 20 سم وكانت الأحمال بالطن والأستطاله المناظره بالمم كما هي بالجدول الآتى:

الأستطاله(مم)	الحمل (طن)
صفر	صفر
0.30	1.00
0.50	2.00
0.75	2.90
1.00	4.00
1.15	4.80
1.45	6.00
1.70	7.00
3.50	7.65
6.50	8.00

ارسم المنحنى البيانى للحمل والأستطاله ثم عين الآتى:

(1) 0.50 % اجهاد ضمان

(2) معاير المرونه

(3) معاير الرجوعيه

---

نهاية الفصل السابع  
أ.د/ مجد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسه الزراعية  
كلية الزراعة - جامعة المنوفية

## الفصل الثامن (8)

### الضغط الأستاتيكي المحوري

### Axial static compression

#### أهداف ومخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل الثامن

هذا الفصل دراسة تهدف الى التعريف العلمي الدقيق لأجهاد الضمان خاصة لمعدن الصلب عالي المقاومة والتعرف على شكل العلاقة البيانية للحمل والاستطالة لمعدن الصلب عالي المقاومة ثم استنتاج الخواص الميكانيكية للمعدن تحت حمل الشد الأستاتيكي المحوري ومنها اجهاد الضمان ومقاومة الشد القصوى ومعايير المرونة وبقية الخواص الميكانيكية لمعدن الصلب عالي المقاومة وبالتالي يكتسب الطالب مهارة مناقشة الاستنتاج الرياضى للمعادلة الخاصة بكل خاصية وايضاً مهارة الدقة في الرسم البياني

#### مقدمة

يعتبر اختبار الشد الأستاتيكي هو الأساس لقبول المواد المعدنية فمن نتائج هذا الاختبار يمكن تحديد الخواص الميكانيكية للمعدن كما سبق ، بينما يعتبر اختبار الضغط هو الأساس لقبول المواد غير المعدنية مثل الخرسانة والطوب والأحجار والأخشاب حيث أن هذه المواد ضعيفة جداً في الشد وهذا لا يعني أن اختبار الضغط لا يجرى للمعدن ولكن يفضل عليه اختبار الشد، حيث أن الأسباب الآتية تجعل نتائج اختبار الضغط غير دقيقة :

- (1) صعوبة التأثير بحمل ضغط تأثيراً محورياً حقيقياً مما يسبب عزم انحناء مؤثر على العينه وبالتالي يؤدي إلى عدم توزيع الأجهاد توزيعاً منتظماً
- (2) الأحتكاك بين رأس ماكينة الاختبار وبين نهاية العينه المختبره يتسبب في جعل اجهادات الضغط تمثل بزاوية صغيرة على الرأس
- (3) استخدام عينات ذات أبعاد صغيرة يجعل من الصعب قياس انفعال الضغط بدقة كما أن استخدام عينات ذات مقطع مقطوع مستعرض كبير يتطلب تواجد ماكينة اختبار ذات سعة تحمل عالية

### عينات اختبار الضغط القياسية

عند تثبيت العينه فى ماكينه اختبار المواد لاجراء اختبار الضغط يجب أن تكون نهايتي العينه مسطحة وعموديه على محور العينه حتى لا تتعرض لاجهادات انحناء ويمكن تحقيق ذلك عن طريق استخدام مخدات وكتل تحميل يمكن ضبطها أعلى وأسفل العينه ويفضل استعمال عينات اسطوانيه لضمان توزيع اجهاد الضغط على المقطع وقد تستخدم عينات ذات مقطع مربع أو مستطيل وتقسم العينات المستخدمة فى اجراء اختبار الضغط الى:

#### 1- عينات اختبار طوله

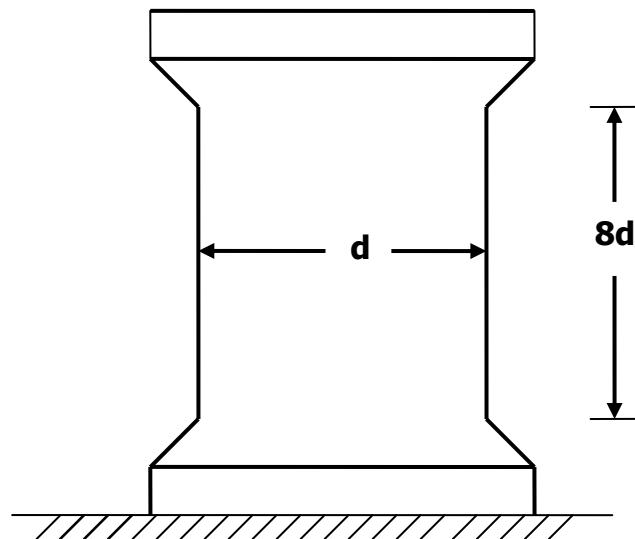
وفي هذه العينات يتراوح طول القياس للعينه من 8 الى 10 مرات قطر المقطع وتستخدم عندما يكون المطلوب هو قياس الانفعال ورسم المنحنى البياني للحمل والنشكل حتى يمكن تركيب أجهزة قياس الانفعال

#### (2) عينه اختبار متوسطة الطول

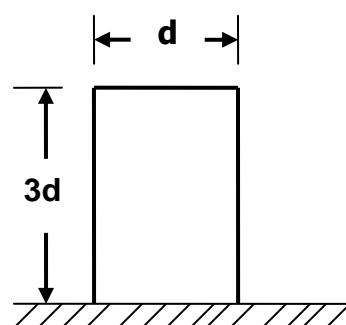
طول هذه العينات يكون حوالي 3 مرات قطر المقطع ويستخدم هذا النوع عندما يكون المطلوب تعين مقاومة الضغط فقط

#### (3) عينه اختبار قصبه

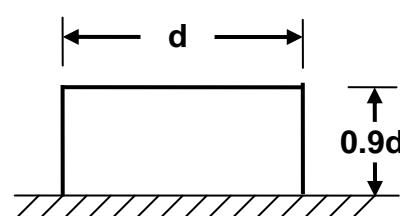
طول الفياس لهذه العينات يساوى 0.9 قطر المقطع ويستخدم هذا النوع من العينات لاجراء اختبار الضغط للمعادن المستخدمه كركائز (supports) والشكل رقم (9.1) يمثل رسما تخطيطيا لعينات اختبار الضغط القياسية الطويله ومتوسطة الطول والقصيره



عينه اختبار ضغط طويله



عينه اختبار ضغط متوسطه



عينه اختبار ضغط قصيره

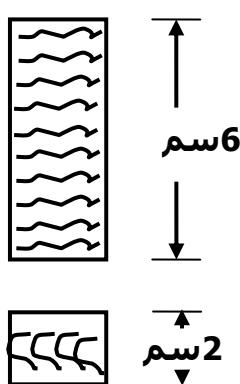
شكل (9.1): عينات اختبار الضغط القياسيه  
الطويله ومتوسطة الطول والقصيره

#### (4) عينات اختبار الضغط للخرسانه والأخشاب

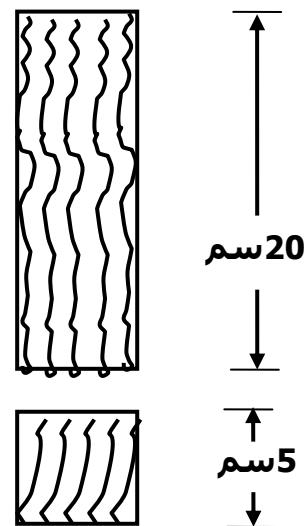
هناك مواصفات خاصة لعينات اختبار الضغط لكل من الخرسانه والأخشاب فعينات اختبار الضغط للخرسانه تكون اما على شكل مكعب طول ضلعه 15.8 سم (مساحة المقطع = 250 سم<sup>2</sup>) وذلك حسب المواصفات المصريه البريطانيه أو تكون على شكل اسطوانه قطرها 6 بوصه وارتفاعها 12 بوصه حسب المواصفات الأمريكية ، أما عينات اختبار الضغط للأخشاب فتكون على شكل منشورات مستطيله بأبعاد 5×5×20 سم أو تكون بأبعاد 6×2×6 سم اذا كان الحمل موازي لترتيب الألياف أما اذا كان الحمل عمودي على اتجاه الألياف فتكون العينات على شكل مكعبات طولها 5 سم

#### عينات اختبار ضغط للأخشاب

اتجاه الألياف موازي للمقطع

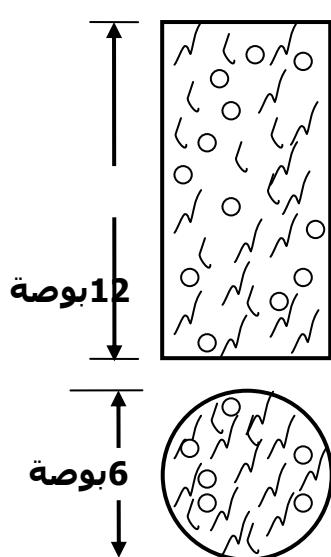


اتجاه الألياف موازي للمقطع

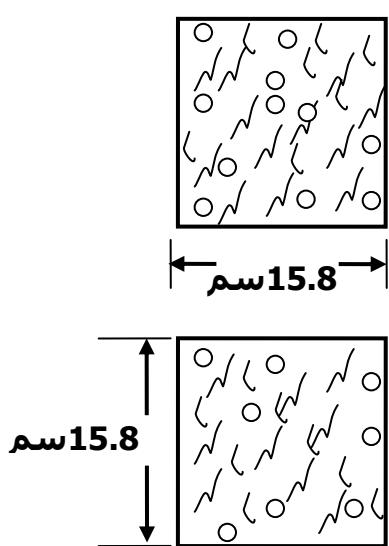


#### عينات اختبار ضغط للخرسانة

عينه اختبار ضغط خرسانيه اسطوانيه



عينه اختبار ضغط خرسانيه مكعبه



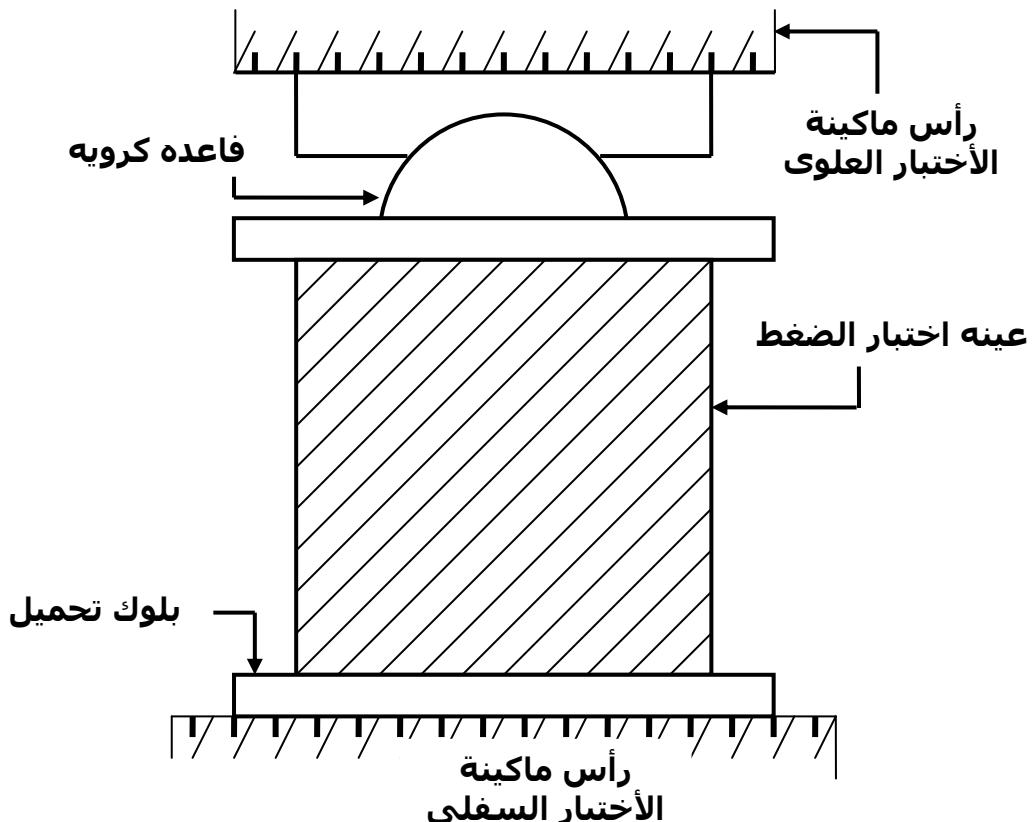
شكل (9.2) : عينات اختبار الضغط القياسيه فى الأخشاب والخرسانه

والشكل رقم (9.2) يمثل رسمًا تخطيطيًا لعينات اختبار الضغط القياسي للأخشاب والخرسانه

### **المعدات وكتل التحمل**

يجب أن تكون نهايات عينة الاختبار مستوية وعموديه على محور العينه حتى لا تتعرض لاجهادات انحناء بالإضافة الى الأجهادات الناتجه من حمل الضغط ولذلك تقطع عينه المعادن بحيث تكون أسطحها افقية وعموديه على المحور أما فى حالة المواد الغير معدنيه مثل الخرسانه والطوب والأحجار فيتم عمل طبقة من المونه الأسمنتية والرمل بسمك حوالى 3 مم على كل من السطحين العلوى والسفلى لجعل هذين السطحين مستويين وعموديين على محور العينه ويوضع فوق السطح العلوى لعينة الاختبار قاعده كرويه لضمان انطباق محور العينه على محور ماكينة الاختبار وهذه القاعده الكرويه تساعد على جعل محور العينه منطبق مع محصلة القوى على سطح العينه وفي بعض الأحيان توضع قاعده كرويه أسفل العينه كما هو موضح بالشكل رقم (9.3) وعينة اختبار الضغط تأخذ شكل برميلى بعد الاختبار وذلك نتيجة الأحداث بين سطحى العينه وفكى ماكينة الاختبار ومقاومة الضغط تحسب من المعادله الآتية:

$$\text{مقاومة الضغط} = \text{حمل الكسر} / \text{مساحة المقطع الأصلي للعينه}$$



شكل (9.3) : استخدام قاعده كرويه لثبيت العينه تحت اختبار الضغط

### **الأحتياطات الواح مرااعاتها عند اجراء اختبار الضغط**

يوجد العديد من الأحتياطات التي يجب مراعاتها عند اجراء اختبار الضغط ذكر منها:

1- يجب استعمال قطع ارتكاز بين نهاية العينه وبين فكى ماكينة الاختبار وذلك لأن صغر مقطع العينه المختبره بالنسبة لمساحة رأس ماكينة الاختبار يؤثر على قيمة الحمل المنتقل للعينه

2- يجب استعمال مرتکزکروی لتعديل أى انحراف فى ميل الحمل وجعله محوريًا دائمًا

3- يجب جعل محور العينه منطبقا على محور ماكينة الاختبار لضمان توزيع الأجهاد على سطح العينه بانتظام

4- يجب منع حدوث انبعاج بالعينه نتيجة التحميل وذلك بجعل ارتفاع العينه لا يزيد عن 10 مرات قطر العينه

5- يجب نقليل تأثير الأحتكاك بين سطحى عينه الاختبار ورأس ماكينة الاختبار باحدى الطرق الآتية:

(a) تشحيم الأسطح المعرضه للأحتكاك

(b) جعل عينه الاختبار مكونه من ثلاثة أجزاء وبذلك ينظم التغير فى شكل الجزء الأوسط من عينه الاختبار

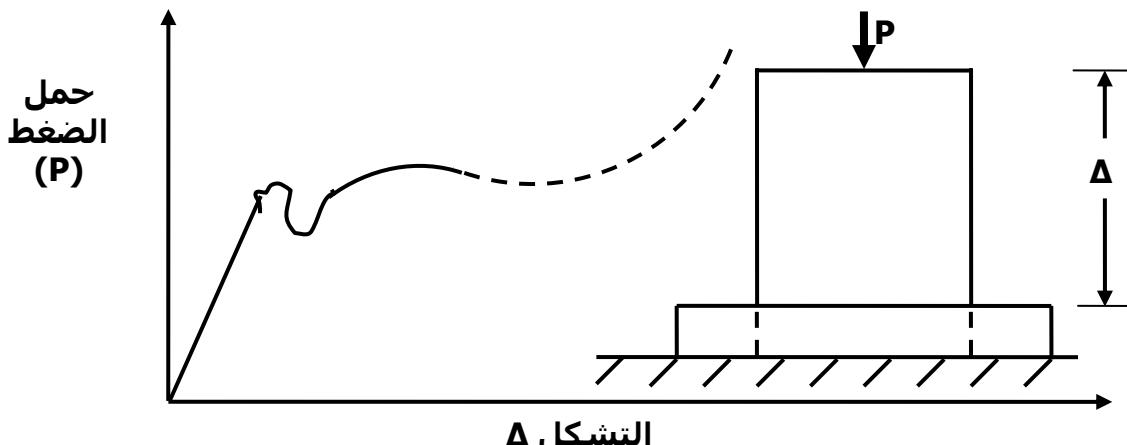
### **سلوك المواد المعدنيه تحت اختبار الضغط**

يختلف سلوك المواد المعدنيه تحت اختبار الضغط بحسب نوع المادة المعدنيه فسلوك المواد المطيله يختلف عن سلوك كل من المواد القصيفه والتصلف مطيله وسوف نقوم بشرح سلوك كل نوع من تلك المواد كل على حدى كما توضحي المنحنيات التي تمثل سلوك كل نوع تحت اختبار الضغط كالتالى:

#### **(1) المواد المعدنيه المطيله**

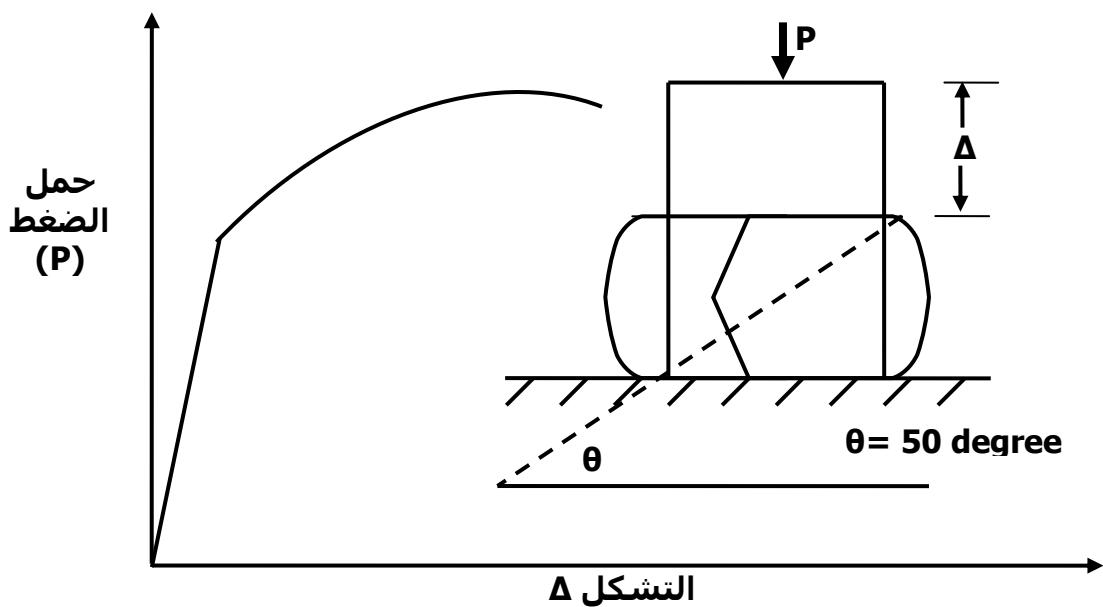
فى حالة المواد المطيله ( وهى المواد التي يحدث بها تشكل كبير قبل الكسر) نجد أن الحمل يتاسب مع التشكيل كما فى الشد وأن العينه تخضع لقانون هوك وتوجد منطقة خضوع والعينه تفلطح بزيادة الحمل (حمل الضغط) ولا يحدث لها انهيار مهم مزدوج والشكل (9.4) يوضح سلوك المواد المطيله تحت اختبار الضغط

## (2) المواد المعدنيه النصف مطيله



شكل (9.4) : سلوك المواد المعدنيه مطيله (الصلب الطرى) تحت اختبار الضغط

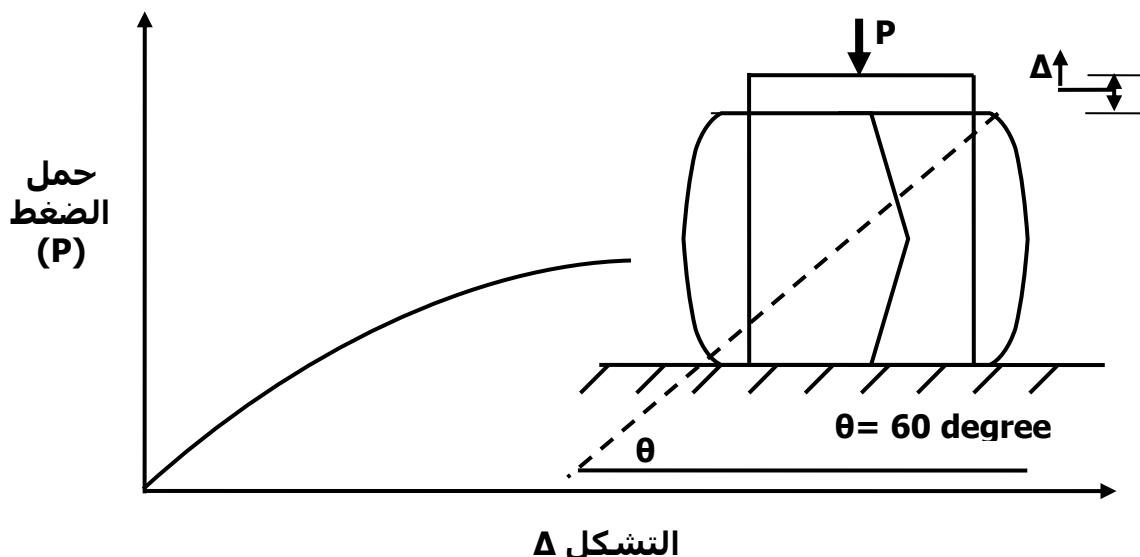
فى حالة المواد النصف مطيله ( وهى المواد التى يحدث بها تشكلاً صغيراً نسبياً قبل الكسر ) نجد أن العينه تتضيق بزيادة الحمل ويحدث لها كسر على مستوى يصنع مع الأفقي زاويه مقدارها حوالى 50 درجه نتيجة القص وتوجد أقصى مقاومه للضغط تنكسر عندها العينه ولا توجد منطقة خضوع وتخضع هذه المعادن لقانون هوك حتى حد معين من التحميل والمنحنى الموجود بالشكل (9.5) يوضح سلوك المواد النصف مطيله تحت اختبار الضغط



شكل (9.5) : سلوك المواد المعدنيه النصف مطيله (نحاس) تحت اختبار الضغط

### (3) المواد المعدنيه القصفه

فى حالة المواد القصفه ( وهى المواد التى لا يحدث بها تشكل قبل الكسر) نجد أنه لا يوجد منطقة خضوع ولا تخصع هذه المواد لقانون هوك والعينه تنضغط قليلا ثم تنكسر على مستوى يصنع مع الأفقى زاويه مقدارها حوالى 60 درجه نتيجة القص ويوجد حد أقصى لمقاومة الضغط والعلاقه بين الحمل والتشكل فى حالة المواد القصفه يمثلها المنحنى المبين بالشكل رقم (9.6)



شكل (9.6) : سلوك المواد المعدنيه القصفه (الحديد الذهبي) تحت اختبار الضغط

**أسئلة وتدريبات على الفصل الثامن**  
**الضغط الأستاتيكي المحوري**  
**Axial static compression**

**أجب عن الأسئلة الآتية:**

- (1) تكلم مع التوضيح بالرسم عن سلوك المواد المعدنية المطبله والنصف مطبله  
والقصفه تحت اختبار الضغط
- 
- (2) وضح بالرسم فقط التقسيمات المختلفه لعينات اختبار الضغط القياسيه
- (3) ما هي الاحتياطات الواجب مراعاتها عند اجراء اختبار الضغط
- 
- (4) وضح بالرسم طريقة تثبيت العينة تحت اختبار الضغط واقتصر معادلة حساب مقاومة  
الضغط

---

نهاية الفصل الثامن  
أ.د/ مجد علي أبو عميرة  
أستاذ الهندسه الزراعية  
كلية الزراعة - جامعة المنوفية

## الفصل التاسع (9)

اختبار الانحناء الكمري

**Static bending**

### أهداف ومخرجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل التاسع

دراسة هذا الفصل تستهدف تحليل الأجهادات للكمرات عند تعرضها للأحمال وحساب ردود الأفعال تبعا لنوع الحمل الذي تعرضت له الكمرة والوصول إلى نموذج توزيع قوى القص ونموذج توزيع عزم الانحناء ثم استنتاج معادلة الانحناء في حدود المرونة وتقدير الخواص الميكانيكية تحت الانحناء وهي نفس الخواص التي تم تقديرها تحت حمل الشد الاستاتيكي المحوري وبالتالي يكتسب الطالب مهارة مناقشة الاستنتاج الرياضي للمعادلة الخاصة بالانحناء وبكل خاصية من الخواص الميكانيكية تحت الانحناء ومقارنتها بقيمها تحت الشد الاستاتيكي المحوري وأيضاً مهارة الدقة والتعامل مع الرسم البياني الذي يمثل العلاقة بين حمل الانحناء وسهم الانحناء

### مقدمة

فى دراستنا لتحليل الأجهادات عند تعرض الكمرات للأحمال فانتا بعد حساب وتعيين ردود الأفعال بناء على نوع الحمل الذي تتعرض له الكمرة نقوم برسم توزيع الاحمال (قوى) العموديه وهو ما يسمى

**Normal Force Diagram (N.F.D)**

وأيضاً توزيع قوى القص وهو ما يسمى

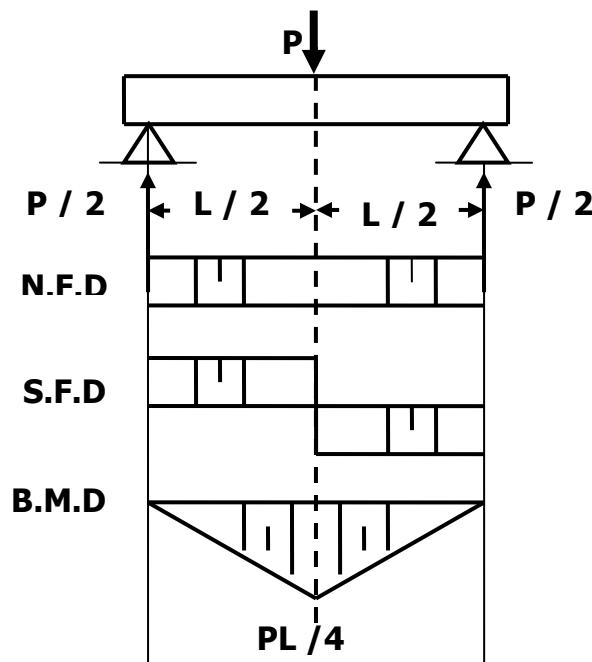
**Shear Force Diagram (S.F.D)**

ثم بعد ذلك نرسم توزيع عزم الانحناء وهو ما يسمى

**Bending Moment Diagram (B.M.D)**

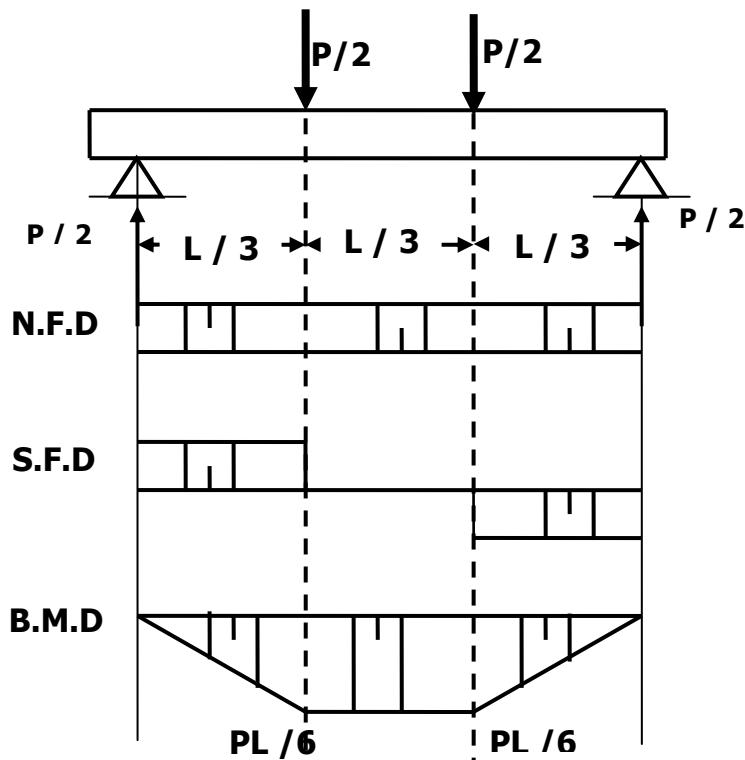
فإذا تعرضت كمرة للأحمال المبينة في الشكل رقم (10.1, a) والشكل رقم (10.1, b) وهى اما أن تكون أحمال فى منتصف بحر الكمرة أو احمال فى ثلث البحر فان قطاعات الكمرة المختلفة تكون معرضه لأجهادات انحناء عموديه على المقطع واجهادات قص موازيه للمقطع واجهادات الانحناء تكون اجهادات شد فى جزء من المقطع واجهادات

ضغط فى الجزء الآخر كما يوضحه الشكل رقم (10.2) والذى يمثل توزيع الأجهاد  
وشكل قطاع الكمرة نتيجة اجهادات الانحناء العمودي



تحميل فى منتصف بحر الكمرة

شكل (10.1,a): توزيع القوى العموديه (N.F.D) ونوزيع قوى القص (S.F.D)  
وتوزيع عزم الانحناء (B.M.D) فى حالة التحميل بحمل مركز فى منتصف بحر الكمرة

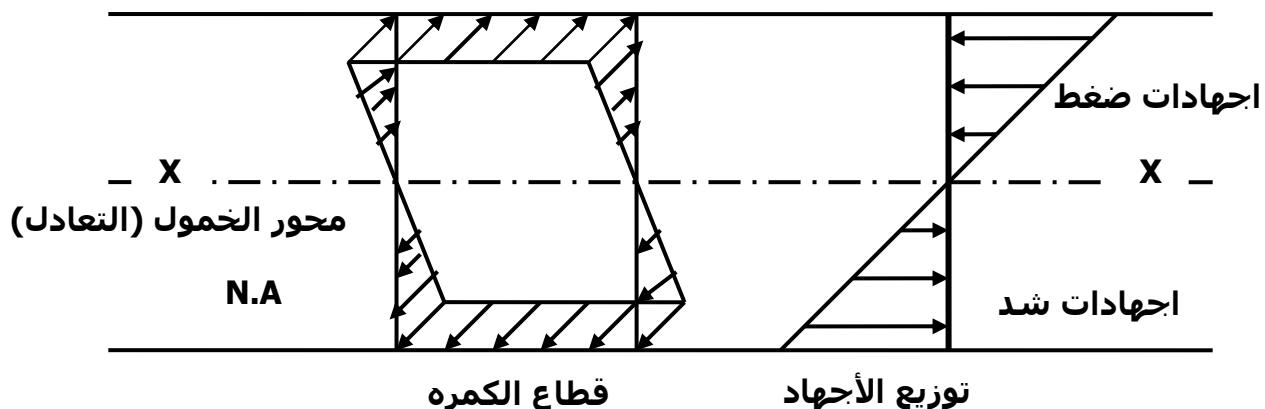


تحميل في ثلث بحر الكمرة

شكل (10.1,b): توزيع القوى العمودية (N.F.D) ونوزيع قوى القص (S.F.D) وتوزيع عزم الأنحاء (B.M.D) في حالة التحميل بحمل مركز في ثلث بحر الكمرة

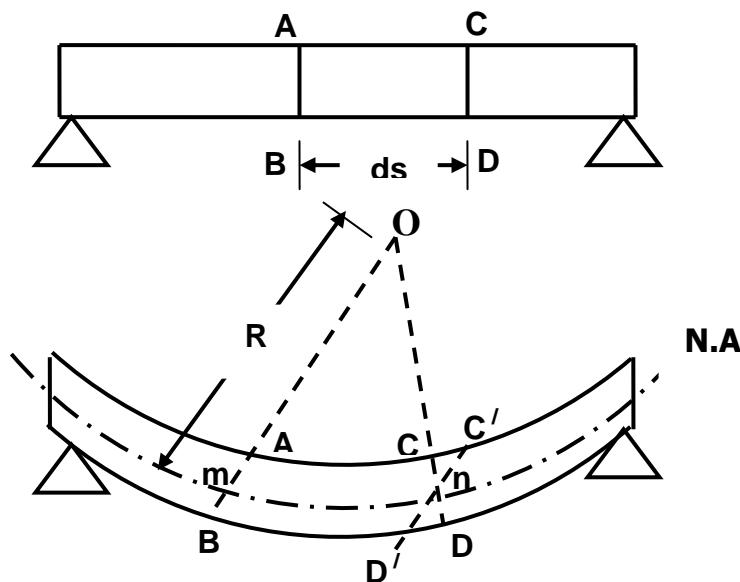
#### معادلة الأنحاء في حدود المرونة

إذا اعتبرنا مستويين متوازيين AB&CD في كمرة بعد الأنحاء لا يصيرا هذان المستويين متوازيين بل يتتقاطعان كما في الشكل رقم (10.2)

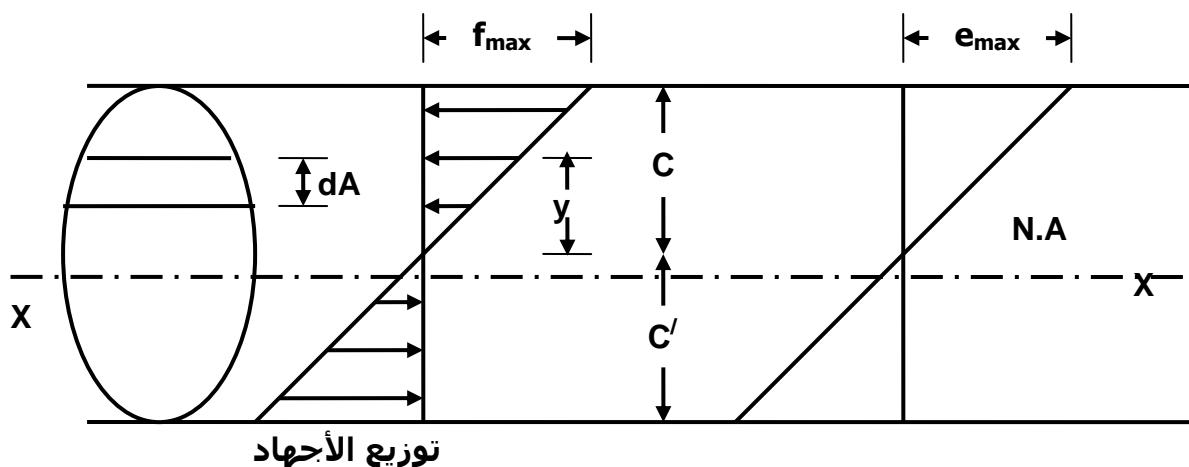


شكل (10.2) : توزيع الأجهادات وشكل قطاع الكمرة نتيجة اجهادات الأنحاء العمودية على المقطع

نرسم من نقطة تقاطع المستوى  $C'D'$  مع مستوى الخمول N.A المستوى  $C'D'$  يوازي المستوى AB فمن الرسم بالشكل رقم (10.3a) نجد أن:

$$mn = BD' = AC'$$


شكل (10.3a) : استنتاج معادلة الانحناء



الشكل السابق (10.3b) يبين توزيع الأجهادات والأفعالات على القطاع AB بالكمere  
فإذا اعتربنا المساحة  $dA$  على بعد  $y$  من محور الخمول فان هذا الجزء يكون معرض  
لأجهاد  $f$  قيمته تحسب من العلاقة الآتية:

$$f = f_{\max} \times \frac{y}{c} \quad (10.1)$$

أى اننا يمكننا حساب التغير فى قيمة عزم الانحاء  $\Delta M$  كالتى:

$$\Delta M = y(f \times dA) \quad (10.2)$$

$$M = \int (f \times dA) \times y \quad (10.3)$$

$$M = \int \frac{(f_{\max} \times y^2 \times dA)}{c} \quad (10.4)$$

$$M = \frac{f_{\max}}{C} \int y^2 \times dA \quad (10.5)$$

والمعروف أن عزم القصور الذاتي  $I_x$  لقطاع الكمرة حول محور الخمول  $X-X$  يحسب من المعادله الآتية:

$$I_x = \int y^2 \times dA \quad (10.6)$$

$$M = \frac{f_{\max}}{C} \times I_x \quad (10.7)$$

$$f_{\max} = \frac{M \times C}{I_x} \quad (10.8) \quad \&$$

$$f = \frac{M \times y}{I_x} \quad (10.9)$$

#### العلاقة بين نصف قطر التقوس(R) والأجهاد (f)

لإيجاد العلاقة بين نصف قطر التقوس(R) والأجهاد (f) نعتبر جزء صغير من الكمرة مقداره  $ds$  كالموضح بالشكل السابق والمحدد بالمستويين AB&CD فبعد الانحاء

يميل المستويين AB&CD ثم نرسم المستوى C'D' يوازي المستوى AB وحيث أن:

الانفعال في الألياف الخارجية = الأسططاله / الطول الأصلى

أى أن:

$$e_{\max} = \frac{DD'}{BD'} \quad (10.10)$$

وحيث أن المثلثان mOn & n DD' متتشابهان فان :

$$\frac{nD'}{mO} = \frac{DD'}{mn} \quad (10.11)$$

$$mO = R \quad \dots \quad (10.12)$$

&

$$nD' = C' \quad \dots \quad (10.13)$$

&

$$BD' = mn \quad \dots \quad (10.14)$$

$$\frac{nD'}{mO} = \frac{DD'}{mn} = \frac{DD'}{BD'} = e_{\max} \quad \dots \quad (10.15)$$

$$e_{\max} = \frac{C'}{R} \quad \dots \quad (10.16)$$

وحيث أن :

$$f_{\max} = E \times e_{\max} \quad \dots \quad (10.17)$$

$$f_{\max} = \frac{E \times C'}{R} \quad \dots \quad (10.18)$$

وبالتالي يمكن حساب الأجهاد  $f$  عند مسافة  $y$  من محور الخمول كالتالي:

$$\frac{E \times C'}{R} = \frac{f \times C}{y} \quad \dots \quad (10.19)$$

$$f = \frac{E \times y}{R} \quad \dots \quad (10.20)$$

العلاقة بين نصف قطر التقوس (R) وعزم الانحناء (M)

$$f = \frac{M \times y}{I_x} = \frac{E \times y}{R} \quad \dots \quad (10.21)$$

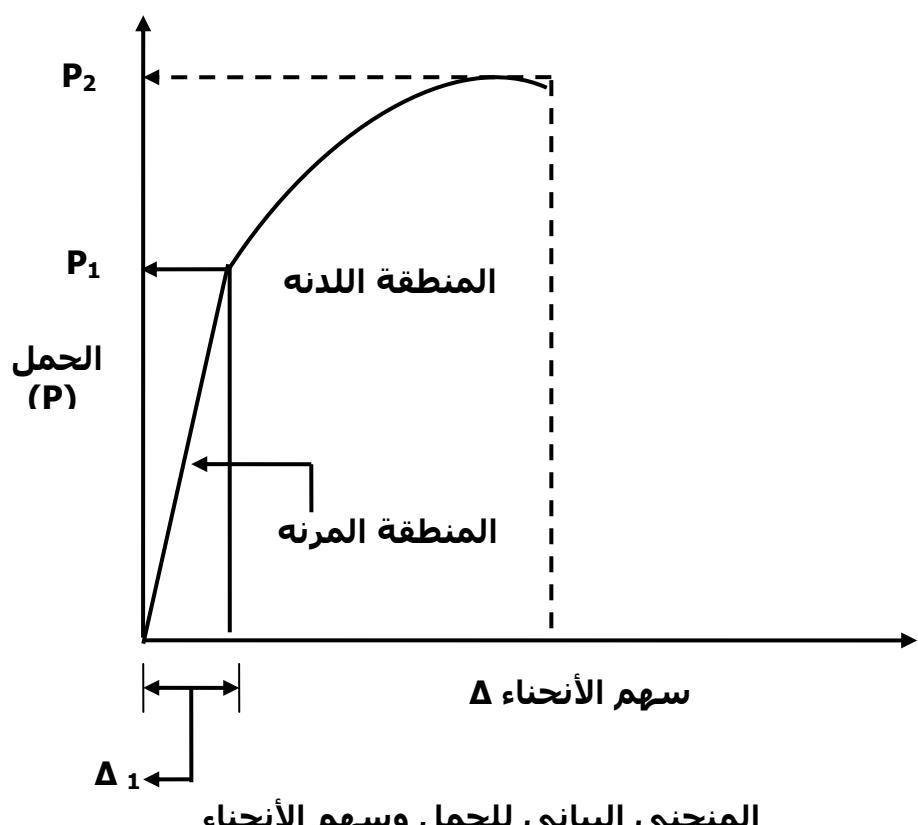
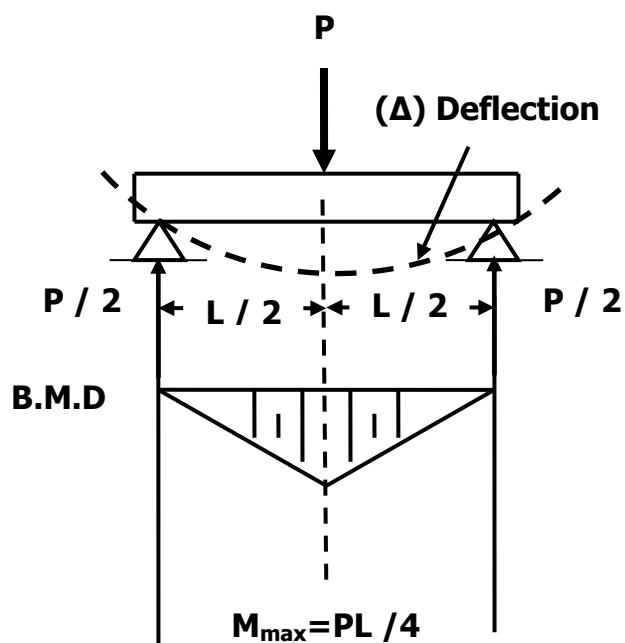
$$M = \frac{I_x \times E}{R} \quad \dots \quad (10.22)$$

$$\frac{f}{y} = \frac{M}{I_x} = \frac{E}{R} \quad \dots \quad (10.23)$$

والمعادله السابقة تعطى العلاقة بين نصف قطر التقوس (R) وعزم الانحناء (f) والأجهاد (M)

### الخواص الميكانيكية في الانحناء

يمكننا الحصول على الخواص الميكانيكية في الانحناء وذلك من المنحنى البياني للحمل وسهم الانحناء Deflection والذى يمكن الحصول عليه معمليا بتحميل عينة الاختبار بحمل مركز فى منتصف بحر الكمره يزداد تدريجيا حتى الكسر والشكل الآتى يوضح المنحنى البيانى للحمل وسهم الانحناء Deflection



المنحنى البيانى للحمل وسهم الانحناء

### (1) المقاومه المرنه فى الانحناء

#### Elastic Strength in Bending

تحسب المقاومه المرنه فى الانحناء من المعادله الآتية:

$$f = \frac{M \times y}{I_x}$$

&

$$M = \frac{P_1 \times L}{4}$$

حيث:

$P_1$  = أقصى حمل يمكن أن تتحمله الكمره في حدود المرونه

$I_x$  = عزم القصور الذاتي لقطاع الكمره حول المحور X-X (محور الخمول)

$$I_x = \frac{b \times h^3}{12}$$

$y$  = نصف عمق الكمرة &  $f$  = الأجهاد المرن في الانحناء

### (2) المقاومه اللدنه فى الانحناء (معايير الكسر)

تحسب المقاومه اللدنه فى الانحناء والتى يعبر عنها بمعايير الكسر من المعادله الآتية:

$$f = \frac{M \times y}{I_x}$$

&

$$M = \frac{P_2 \times L}{4}$$

حيث:  $P_2$  = حمل الكسرفي الكمره

### (3) الصلايه فى الانحناء

تقاس الصلايه فى الانحناء بمعايير المروته  $E$  والذي يتم حسابه من المعادله الآتية:

$$E = \frac{P \times L^3}{48\Delta \times I_x}$$

حيث:  $\Delta$  = سهم الانحناء تحت الحمل المركز  $P$  والذي تم وضعه على كمره بحرها  $L$

$E$  = معاير مرونة مادة الكمره

$I_x$  = عزم القصور الذاتي لقطاع الكمره حول المحور X-X (محور الخمول)

#### (4) الرجوعيہ فى الانحناء

تقاس الرجوعيہ فى الانحناء بكمیة الطاقه التي يمكن للكمره أن تخزنها عند التحميل ثم تعیدها ثانية بعد ازالة التحميل كاملا و الرجوعيہ فى الانحناء هي عباره عن المساحة تحت الخط المستقيم من المنحنى البياني للحمل و سهم الانحناء أى أنها عباره عن:

$$\Delta P \times \Delta = \text{الرجوعيہ}$$

$$\frac{1}{2} (P_1 \times \Delta) = \text{الرجوعيہ}$$

#### (5) معاير الرجوعيہ فى الانحناء

معايير الرجوعيہ فى الانحناء هو كمية الطاقه التي يمكن للكمره أن تخزنها عند التحميل ثم تعیدها ثانية بعد ازالة التحميل وذلك لوحدة الحجم من مادة الكمرة أى أنها عباره عن:

$$\text{هي علامة مصححة / الرجوعيہ} = \text{معايير الرجوعيہ}$$

$$\text{حجم العينة} = \text{بُعد الكمرة} (L) \times \text{مساحة مقطع الكمره} (b.h)$$

#### (6) المثانه فى الانحناء

هي كمية الطاقه التي يبذلها الحمل وهو على الكمره من بداية التحميل حتى الكسر وهى عباره عن المساحة تحت المنحنى البياني للحمل و سهم الانحناء كله أى أنها عباره عن:

$$\Delta P \times \Delta = \text{المثانه}$$

#### (7) معاير المثانه فى الانحناء

معايير المثانه فى الانحناء هو كمية الطاقه التي يبذلها الحمل وهو على الكمره من بداية التحميل حتى الكسر وذلك لوحدة الحجم من مادة الكمرة أى أنها عباره عن:

$$\text{هي علامة مصححة / المثانه} = \text{معايير المثانه}$$

#### الأفتراضات التي بنيت عليها نظرية الانحناء

(1) مادة الكمرة متتجانسه وتخضع لقانون هوك

(2) معاير مرونة مادة الكمرة في الضغط = معاير المرونة في الشد

(3) أى مستوى في الكمره يظل كما هو بعد الانحناء

(4) الأحمال المؤثرة أحصال استاتيكية

(5) القوى المؤثرة على الكمره نقع في المستوى الرأسى لمحمر الكمرة

## أنشطة اضافية على الفصل التاسع

درس عملى

اختبار الانحناء الكمرى

Static bending

### الغرض من الاختبار

يجرى هذا الاختبار على المواد القصبة مثل الحديد الزهري والخشب والخرسانة العادي والطوب والجبس لتعيين العلاقة بين الحمل وسهم الانحناء deflection ولتعيين الخواص الميكانيكية في الانحناء لهذه المواد

### عنية الاختبار

يجب أن تكون أبعاد العينة تسمح بأن يكون كسر العينة نتيجة لعزم الانحناء وليس نتيجة لقوى القص الموحدة بالكمراة وقد وجد أن الكمارات التي طول البحر الخاص بها ما بين 9 إلى 12 مره عمق الكمراة يحقق ذلك

### خطوات الاختبار يجري الاختبار على النحو التالي:

1- تحمل الكمراة المختبرة أياً بحمل واحد في منتصفها أو بحملين في نقطتين ببحر الكمراة وللتحميم في نقطتين ميزه الحصول على منطقة بالكمراة تكون تحت تأثير عزم انحناء خالص وسفضل هذا التحميم في اختبارات الكمارات الخرسانية بينما يفضل التحميم في نقطة واحدة عند تجربة المواد المعدنية

2- يجب عند تثبيت الكمراة بماكينة الاختبار مراعاه عدم تركيز الأجهادات عند نقط ارتكاز الكمراة على الركائز وعند نقط تحمل العينة وذلك بوضع قطع صغيره بين مادة الكمراة وقواعد الارتكاز وبين مادة الكمراه ونقط تحمل الكمراه لضمان توزيع الأحمال على مساحة مناسبه تمنع تركيز الأجهادات

3- تجهيز مقاييس سهم الانحناء Deflect meters على طول الكمراه لقياس سهم الانحناء في النقط المطلوبه وغالباً ما تكون في منتصف بحر الكمراه

4- تحمل الكمرة بالتدريج على فترات وفي كل مره تسجل قيمة سهم الانحناء المترافق للحمل الموجود على الكمرة وترسم العلاقة بين سهم الانحناء والحمل الموجود على الكمرة كما بالشكل ثم يحدد منه الخواص الميكانيكية في الانحناء كما يلى:

#### مقاومة الانحناء عند حد التنااسب

يحدد من منحنى الحمل وسهم الانحناء حمل التنااسب  $P_1$  وهو عبارة عن الحمل الذى يحدد بنهاية الخط المستقيم من المنحنى ثم يحسب عزم انحناء حد التنااسب

$$M_1 = \frac{P_1 \times L}{4}$$

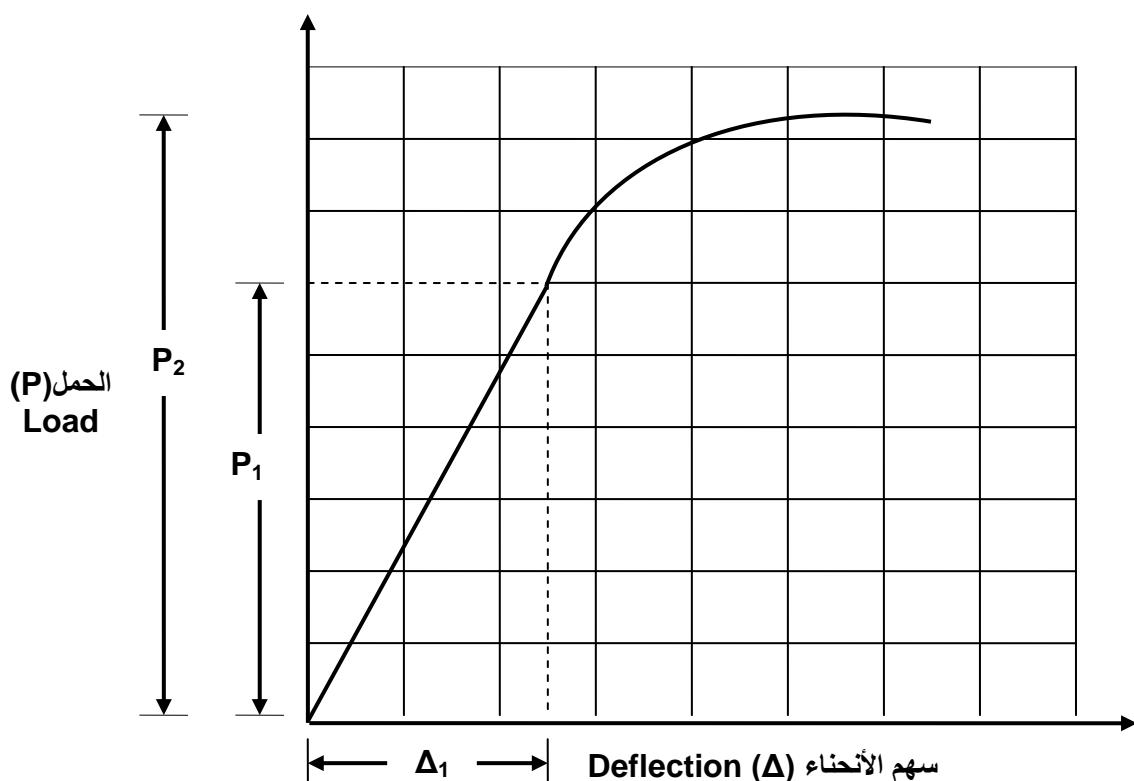
عند التحميل فى منتصف الكمرة

$$M_2 = \frac{P_1 \times L}{6}$$

عند التحميل فى نقطتى ثلث بحر الكمرة

$$M_3 = \frac{P_1 \times L}{8}$$

عند التحميل فى نقطتى ربع بحر الكمرة



العلاقة بين الحمل وسهم الانحناء فى اختبار الانحناء الكمرى

### المقاومه القصوى للانحناء أو معاير الكسر

ويحدد من منحنى الحمل وسهم الانحناء حمل الكسر  $P_2$  ثم يحسب عزم الانحناء عند الكسر كالتالى:

$$M_2 = \frac{P_1 \times L}{4} \quad \text{عند التحميل فى منتصف الكمرة}$$

$$M_2 = \frac{P_1 \times L}{6} \quad \text{عند التحميل فى نقطتى ثلث بحر الكمرة}$$

$$M_2 = \frac{P_1 \times L}{8} \quad \text{عند التحميل فى نقطتى ربع بحر الكمرة}$$

ثم تحسب المقاومه القصوى للانحناء أو معاشر الكسر من العلاقة الآتية:

$$f = \frac{M_2 \times y}{I}$$

### الصلاده

تحدد صلاده المادة بقيمة معاير المرونه  $E$  والذى يعين من المعادله الآتية:

$$E = \frac{P \times L^3}{48\Delta \times I}$$

حيث:  $\frac{P}{\Delta}$  = ميل الخط المستقيم من منحنى الحمل وسهم الانحناء

$I$  = عزم القصور الذاتى للكمرة

$L$  = بحر الكمرة

### الرجوعيه فى الانحناء

هى فieme أكبر طاقه يمكن للكمرة أنم تخزنها وهى تحت تأثير الحمل ثم اعادة هذه الطاقه كاملة بعد ازالة الحمل وتحدد قيمة الرجوعيه فى الانحناء بالمساحه تحت الخط المستقيم من المنحنى البياني للحمل وسهم الانحناء أى أنها عباره عن:

$$\frac{1}{2} (P_1 \times \Delta_1) = \text{الرجوعيه}$$

حيث:  $\Delta_1$  = سهم الانحناء المناظر لحمل حد الناسب  $P_1$

### معايير الرجوعيه فى الانحناء

هوفيمه أكبر طاقه يمكن للكمره أنم تخزنها وهى تحت تأثير الحمل ثم اعاده هذه الطاقه كاملة بعد ازالة الحمل لوحدة الحجوم من الكمره  
معايير الرجوعيه فى الانحناء =  $(الرجوعيه فى الانحناء) / (حجم الجزء المجهد من الكمره)$

### المتانه فى الانحناء

المتانه فى الانحناء هى الطاقه القصوى التي يمكن للكمره المختبره تحملها حتى الكسر وتحدد قيمتها بالمساحه الكليه تحت المنحنى البياني للحمل وسهم الانحناء كله

### معايير المتانه فى الانحناء

معايير المتانه فى الانحناء هو الطاقه القصوى التي يمكن للكمره المختبره تحملها حتى الكسر لوحدة الحجوم من الكمره  
معايير المتانه فى الانحناء =  $(المتانه) / (حجم الجزء المجهد من الكمره)$

---

## أسئلة وتدريبات على الفصل التاسع

### اختبار الأنحاء الكمرى

### Static bending

أجب عن الأسئلة الآتية :

(1) استنتج معادلة حساب اجهاد الأنحاء في حدود المرونة

(2) استنتاج العلاقة بين نصف قطر التقوس وعزم الأنحاء

(3) عرف الخواص الميكانيكية الآتية تحت اختبار الأنحاء الكمرى مع كتابة المعادلة الخاصة بحساب كل منها:(ا) المقاومة المرنة في الأنحاء

(ب) المقاومة اللدنة في الأنحاء (د) الصلابة (ه) معاير الرجوعية (م) المتانة في النحناء (و) معاير المرونة

(4) ما هي الأفتراضات التي بنيت عليها نظرية الأنحاء ؟

(5) اشرح كيف يمكنك اجراء اختبار الأنحاء الكمرى للحصول على الخواص الميكانيكية للمعادن تحت الأنحاء

(6) أختبرت كمرة من المعدن قطاعها مستطيل ارتفاعه 6 سم وعرضه 3 سم في تجربة انحناء بحمل مركز في منتصف بحر الكمرة وكانت الكمرة مرتكزة ارتكازا بسيطا على ركيزتين وبحرها = 80 سم والجدول الآتي يبين الحمل بالكيلوجرام وسهم الانحناء المقابل له بالمليمتر عند منتصف بحر الكمرة أثناء اختبار الكمرة حتى الكسر

الحمل (كجم)	سهم الانحناء (مم)
1100	12.10
1000	8.80
900	7.04
750	5.28
600	3.96
400	2.64
200	1.32
صفر	صفر

والمطلوب رسم العلاقة بين الحمل وسهم الانحناء ثم تعين الخواص الآتية:

(1) معاير المرونة(2) معاير الكسر(3) معاير الرجوعية (4) اجهاد حد التنااسب

## الفصل العاشر (10)

### **المواد الغير معدنيه (مواد البناء)**

#### **ركام الخرسانه**

#### **Aggregates for concrete**

### أهداف ومحرّجات التعلم المستهدفة من دراسة الفصل العاشر

دراسة المواد الغير معدنيه واختباراتها يعتبر على درجة عاليه من الأهميه لطلاب الهندسه الزراعيه حيث تهمه في دراستهم خاصة في مقررارات هندسه الانشاءات والمباني الزراعيه حيث يتطلب دراسه الطالب للتقسيمات المختلفه واختبار التدرج الحبيبي لركام الخرسانه والتدرج الحبيبي لركام الشامل والمعرفه الجيدة للمعنى المصطلحات الهندسيه المستخدمة في هذا المجال ومنها معاير النعومة والمقاس الأغتياري الأكبر وبدراسته هذا الفصل يكتسب الطالب مهارة مناقشه مفهوم ومعنى التدرج الحبيبي لركام الخرسانه وايضاً مهارة الدقة في الرسم البياني للعلاقة بين مقاس فتحة المنخل والنسبة المئويه لركام المار والتعرف على الموصفات القياسية لمقاسات المنخال المستخدم سواء الموصفات المصريه أو الموصفات البريطانيه

### مقدمة

ت تكون الخرسانه من حبيبات صخريه متمسكه مع بعضها بواسطة ماده لاحمه وهى عباره عن المادة الناتجه من اتحاد الأسمنت والماء ، ويطلق اسم ركام الخرسانه على هذه الحبيبات الصخريه ويجب أن يكون الركام المستعمل فى الخرسانه ذو تدرج من حبيبات صغيره من الرمل الى حبيبات كبيره من الزلط والأحجار المكسوره حتى يمكن الحصول على خرسانه جيده ويمثل الركام فى الخرسانه الجزء الخاملا نسبياً ويشغل

حوالى  $\frac{3}{4}$  حجم الخرسانه

### تقسيم الركام

هناك ثلاثة تقسيمات لركام الخرسانه الأول حسب المصدر والثانى حسب المقاس والثالث حسب شكل الحبيبات

### أولاً: تقسيم حسب المصدر

يقسم الركام الى ركام طبيعي وركام صناعي

#### (a) الركام الطبيعي

وهو الركام المأخوذ من المصادر الطبيعية مثل الرمل والزلط وكسر الحجارة

#### (b) ركام صناعي ويشمل

1- ركام خبث الأفران ويتم الحصول عليه بجانب الانتاج الرئيسي في المصنع

2- ركام مصنوع للحصول على مواد تتميز بخفة الوزن مثل الطين المحروق

3- ركام ملون للخرسانه المعماريه أو لأغراض الزينه مثل حبيبات الزجاج وركام السيراميك

### ثانياً : تقسيم حسب المقاس

وفيه يقسم الركام الى:

#### (a) ركام صغير

وهو مجموعة الحبيبات التي يمر معظمها (من 95 الى 100%) من المنخل القياسي

$\frac{3}{16}$  بوصه مثل الرمل

#### (b) الركام الكبير

وهو مجموعة الحبيبات التي يتحجز معظمها (من 95 الى 100%) من المنخل

القياسي  $\frac{3}{16}$  بوصه مثل الزلط وكسر الحجاره

#### (c) الركام الشامل

وهو خليط من الركام الكبير والركام الصغير

### ثالثاً: تقسيم حسب شكل الحبيبات

وفيه يقسم الركام الى:

1- ركام مدور

2- ركام زاوي

3- ركام مفلطح &

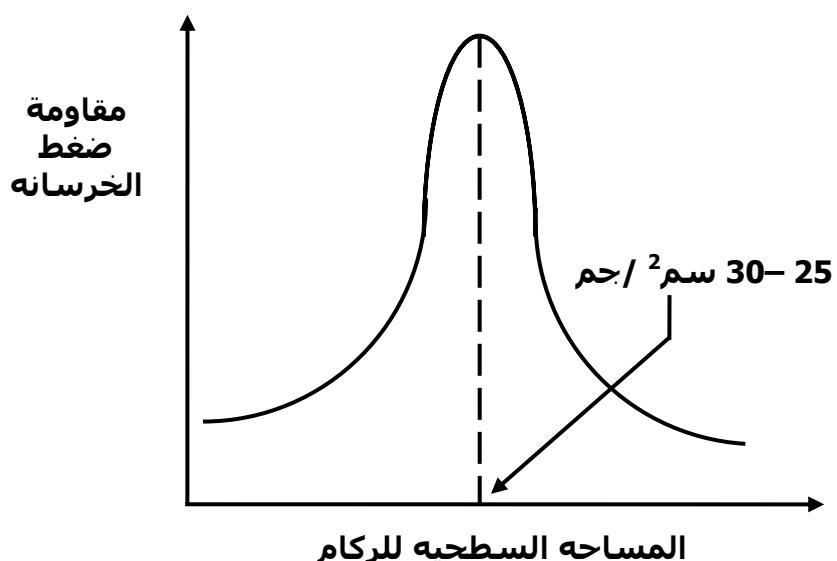
4- ركام غير منتظم

### العلاقة بين الركام المستعمل وخواص الخرسانه

تتوقف خواص الخرسانه على نوع الركام المستعمل فالحبيبات المستديره أكثر قابليه لأنضغاط من الحبيبات الزاويه وبالتالي فهى تحتوى على فراغات أقل مما أنها تحتاج إلى كميته اقل من الأسمنت لتغليف سطحها والحببيات المنتظمه الشكل تعطى خرسانه

صعبه التشغيل وتحتاج الى تغيير فى التدرج الحببى للحصول على درجة تشغيل افضل لها ويكون ذلك بزيادة حبيبات الركام الصغير عن مثيلتها فى حالة الحبيبات المستديرة ويجب أن يكون الركام المستعمل لعمل الخرسانه ذو تدرج جيد أى أنه يحتوى على المقاسات المختلفة للركام حتى نضمن مساحه سطحية مناسبه لا تحتاج الى كمية كبيرة من الأسمنت وتكون الخرسانه الناتجه خالية من الفراغات فإذا استعمل ركام صغير فقط مع عجينة الأسمنت لتكوين خلطه خرسانيه يكون الناتج خرسانه ضعيفه لأن المساحه السطحية للركام الصغير كبيرة ( تتراوح من 10 الى 100 سم<sup>2</sup> / جم ) فلا تكفى عجينة الأسمنت لايجاد التماسك المطلوب لجميع حبيبات الركام وتحتاج الخليطه الخرسانيه فى هذه الحاله لكميه كبيرة من المياه وعند تخريها تترك الخرسانه وبها فراغات كثيرة

اما اذا استعمل ركام كبير فقط مع عجينة الأسمنت لتكوين الخرسانه يكون الناتج أيضا خرسانه ضعيفه لأن المساحه السطحية للركام الكبير صغيره ( تتراوح من 2 الى 5 سم<sup>2</sup> / جم ) ويكون تماسك حبيبات الركام على مساحه صغيره فلا تستطيع مقاومة الأحمال كما أن عدم وجود الحبيبات الصغيره يزيد من الفراغات الموجوده بالخرسانه ومن هذا تتبين ضرورة استخدام ركام خليط من الركام الكبير والركام الصغير فى عمل الخرسانه حتى تكون الخرسانه الناتجه ذات مقاومه عاليه وقد وجد أن مقاومة الخرسانه فى الضغط تتأثر بالمساحه السطحية للركام كما بالشكل الآلى :



العلاقة بين مقاومة الضغط للخرسانه والمساحة السطحية للركام

### الدرج الحسى

المقصود بالدرج الحبىى هو فصل المقاسات المختلفة من الركام بعضها عن بعض لتعيين التوزيع الحجمى للحببات بالركام ويم ذلك بعمل اختبار الدرج الحبىى باستعمال مجموعة من المناخل القياسية ذات فتحات مختلفة توضع فوق بعضها بحيث يكون المنخل ذو الفتحة الكبيرة من أعلى يليه المنخل الأقل مقاسا وهكذا ----- ثم يهز الركام فى مجموعة المناخل ويوزن المحجوز على كل منخل ومنه يعين المحجوز الكلى على كل منخل بالنسبة لوزن الركام كله ثم تحسب النسبة المئوية للمار من كل منخل و تستعمل نتائج هذا التحليل لرسم المنحنى البيانى للعلاقة بين مقاس فتحة كل منخل والنسبة المئوية للركام المار ويسمى هذا المنحنى بالمنحنى البيانى للدرج الحبىى

### المناخل القياسية Standard sieve

الجدول الآتى يبين مقاس فتحات المناخل القياسية تبعاً للمواصفات البريطانية والمواصفات المصرية

مناخل الركام الصغير						مناخل الركام الكبير					المواصفات
عدد الفتحات في البوصه الطوليه											
100	52	25	14	7	$\frac{3}{16}$	" $\frac{3}{16}$	" $\frac{3}{8}$	" $\frac{3}{4}$	1.5"	البريطانيه	
0.17	0.31	0.62	1.25	2.5	5	5	10	20	40	المصرية (مم)	

والمناخل القياسية هى مناخل ذات هيكل معدنى وفتحاتها مربعة وتقاس مناخل الركام الكبير يطول فتحة المناخل بالبوصه أو بالمليمتر أما فتحات المناخل للركام الصغير فتقاس بعد الفتحات فى البوصه الطوليه ماعدا المنخل

$\frac{3}{16}$ "

### الغرض من الدرج الحسى

بمعرفة الدرج الحبىى للركام الصغير والدرج الحبىى للركام الكبير يمكن الحصول على أى تدرج مطلوب لركام الخلطى منها لاستخدامه فى الخلطات الخرسانية حتى ضمن للخطة الخرسانية وهى طازجه سهولة فى التشغيل ونضمن للخرسانه بعد تصاصها المقاومه المطلوبه لتحمل الأحمال والوفره فى التكاليف باستعمال أقل كميته من الأسمنت

والجدولين الآتيين يمثلان البيانات المطلوبه لرسم منحنى الدرج الحبىى للركام الكبير والركام الصغير

**(1) منحنى التدرج الحسى للركام الكبير (وزن الركام = W)**

النسبة المئوية للمار على كل منخل	النسبة المئوية للمحوز على كل منخل	الوزن الكلى للمحوز على كل منخل	الوزن المحوز على كل منخل	مقاس فتحة المنخل
$100 - \left( \frac{a}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a}{w} \times 100$	<b>a</b>	<b>a</b>	" $\frac{3}{2}$
$100 - \left( \frac{a+b}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b}{w} \times 100$	<b>a+b</b>	<b>b</b>	" $\frac{3}{4}$
$100 - \left( \frac{a+b+c}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b+c}{w} \times 100$	<b>a+b+c</b>	<b>c</b>	" $\frac{3}{8}$
$100 - \left( \frac{a+b+c+d}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b+c+d}{w} \times 100$	<b>a+b+c+d</b>	<b>d</b>	" $\frac{3}{16}$
$100 - \left( \frac{a+b+c+d+e}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b+c+d+e}{w} \times 100$	<b>a+b+c+d+e</b>	<b>e</b>	الأناء

**(2) منحنى التدرج الحسى للرکام الصغير (وزن الرکام = W)**

النسبة المئوية للمار على كل منخل	النسبة المئوية للمحوز على كل منخل	الوزن الكلى المحوز على كل منخل	الوزن المحوز على كل منخل	مقاس فتحة المنخل
$100 - \left( \frac{a}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a}{w} \times 100$	<b>a</b>	<b>a</b>	" $\frac{3}{16}$
$100 - \left( \frac{a+b}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b}{w} \times 100$	<b>a+b</b>	<b>b</b>	<b>7</b>
$100 - \left( \frac{a+b+c}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b+c}{w} \times 100$	<b>a+b+c</b>	<b>c</b>	<b>14</b>
$100 - \left( \frac{a+b+c+d}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b+c+d}{w} \times 100$	<b>a+b+c+d</b>	<b>d</b>	<b>25</b>
$100 - \left( \frac{a+b+c+d+e}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b+c+d+e}{w} \times 100$	<b>a+b+c+d+e</b>	<b>e</b>	<b>52</b>
$100 - \left( \frac{a+b+c+d+e+f}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b+c+d+e+f}{w} \times 100$	<b>a+b+c+d+e+f</b>	<b>f</b>	<b>100</b>
$100 - \left( \frac{a+b+c+d+e+f+g}{w} \times 100 \right)$	$\frac{a+b+c+d+e+f+g}{w} \times 100$	<b>a+b+c+d+e+f+g</b>	<b>g</b>	الأاء

### الرسم البياني للدرج الحسى

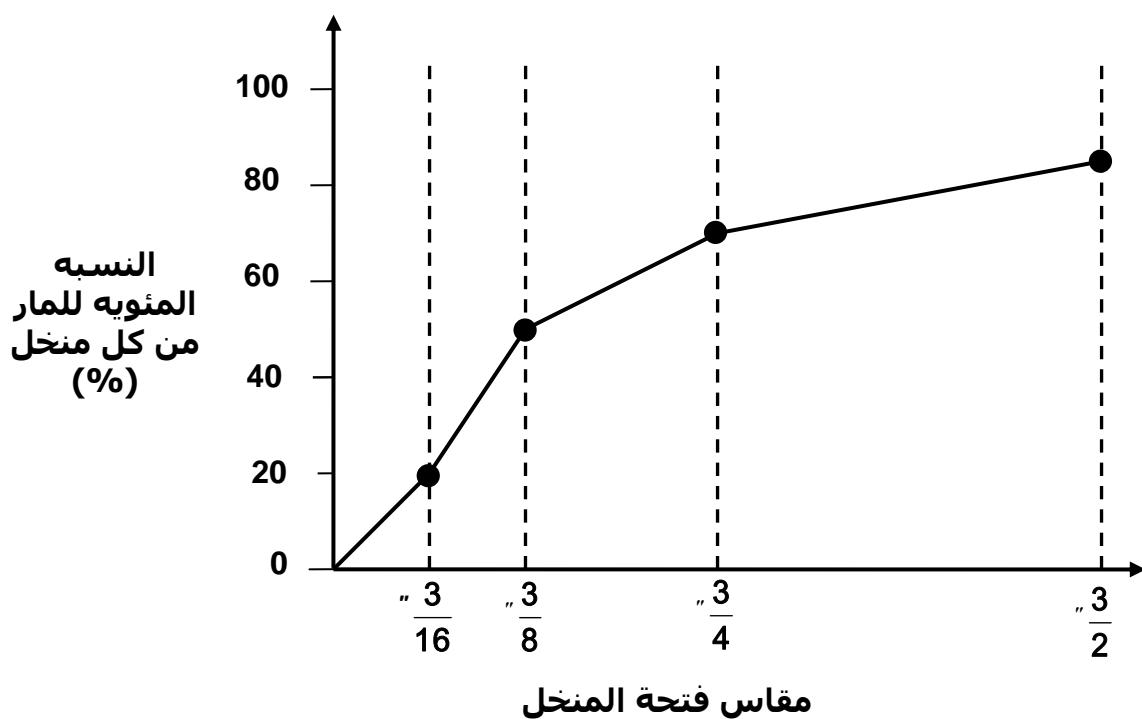
توجد طريقتين لرسم المنحنى البياني للتدراج الحبى هما الطريقة الحسابية والطريقه اللوغاريتمية

#### أولاً: الطريقة الحسابية

وفيها يمثل المحور الرأسى النسبة المئوية للمار من كل منخل بينما يمثل المحور الأفقي مقاس فتحة كل منخل بطريقة حسابية وفيها كما هو موضح بالشكل نأخذ المسافة  $A_d = \frac{1}{2}AD$

$$\text{المسافة } A_d = \frac{1}{2}AD$$

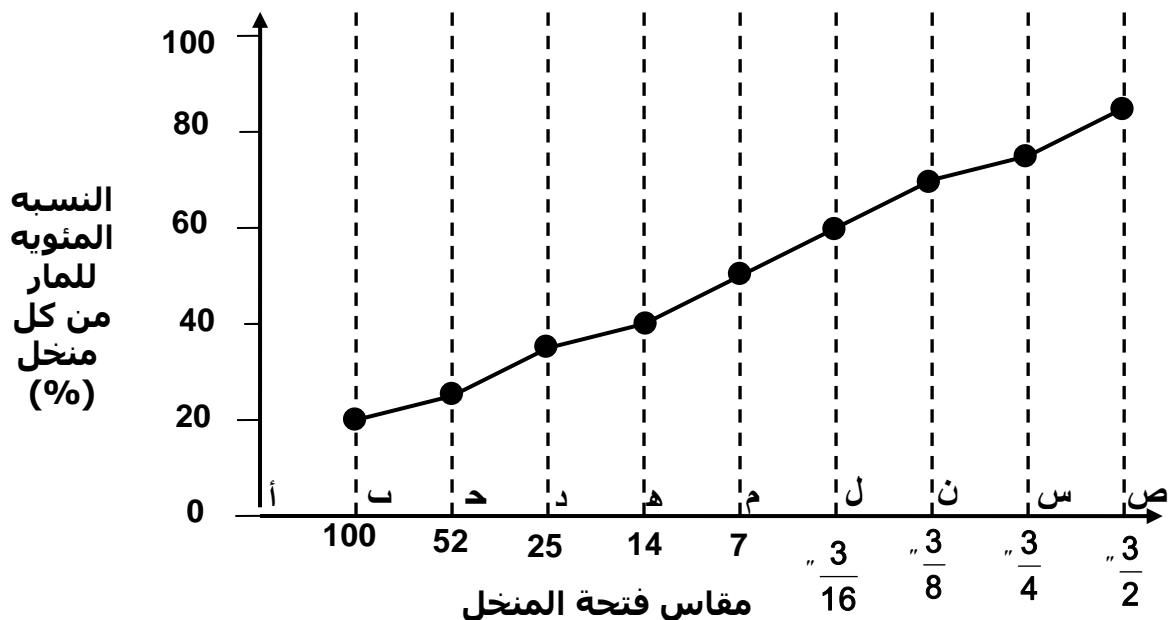
$$\text{المسافة } AB = \frac{1}{2}AD \quad \text{وهكذا}$$



#### الطريقة الحسابية لرسم المنحنى البياني للدرج الحبى

#### ثانياً: الطريقة اللوغاريتمية

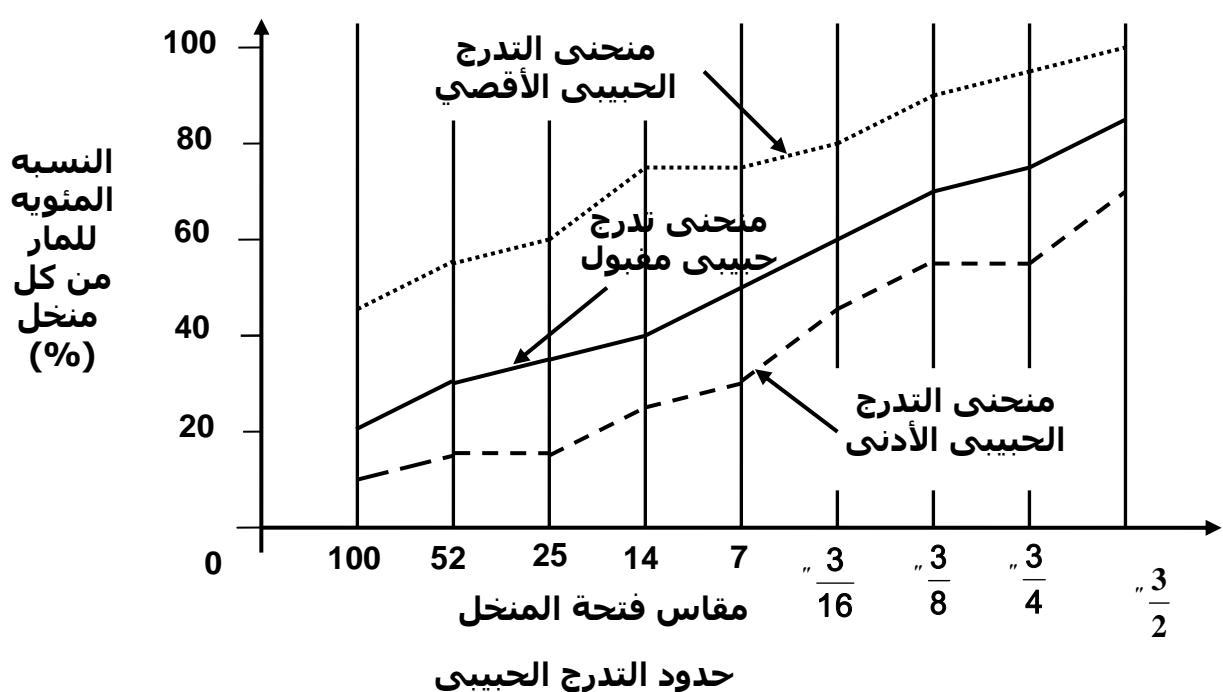
وفيها يمثل المحور الرأسى النسبة المئوية للمار من كل منخل بينما يمثل المحور الأفقي مقاس فتحة كل منخل بطريقة لوغاريتمية وفيها كما هو موضح بالشكل نأخذ المسافة  $b = d = h = m = l = n = s = c$  وهكذا



الطريقة اللوغاریتمیه لرسم المنهجی البیانی للتدرج الحبیبی

#### حدود التدرج الحبیبی

ما سبق يتضح أنه لا يصلح أى تدرج حبیبی لرکام معین للأستخدام فى عمل خاطه خلاصیبه لها مواصفات جیده ولذلك تحدد المواصفات منھنی تدرج يعطی الحد الأقصی للنسبة المئوية للمار من كل منخل ومنھنی تدرج يعطی الحد الأدنی للنسبة المئوية للمار من كل منخل كما بالشكل ويجب أن يقع منھنی التدرج الحبیبی الشامل للرکام فى المنطقه الواقعه بين هذین المنھنیین حتى تكون الخرسانه الناتجه باستعمال هذا الرکام ذات مواصفات جیده



**مثال(1)**

ارسم المنحنى البيانى للدرج الحبيبى لرکام صغير (رمى) والمنحنى البيانى للدرج الحبيبى لرکام كبير (زلط) اذا علمت أن الوزن الكلى للرکام الصغير 1000 جم والوزن الكلى للرکام الكبير 10000 جم ونتائج اختبار التدرج الحبيبى لكل رکام كما هى موضحة بالجدولين الآتيين:

**نتائج اختبار التدرج الحبيبى لرکام الكبير (وزن الرکام = 10000 جم)**

الكلى	الأناء	" $\frac{3}{16}$	" $\frac{3}{8}$	" $\frac{3}{4}$	" $\frac{3}{2}$	مقاس فتحة المنخل
10000	100	1300	4150	3250	1200	الوزن المحجوز على كل منخل (جم)

**نتائج اختبار التدرج الحبيبى لرکام الصغير (وزن الرکام = 1000 جم)**

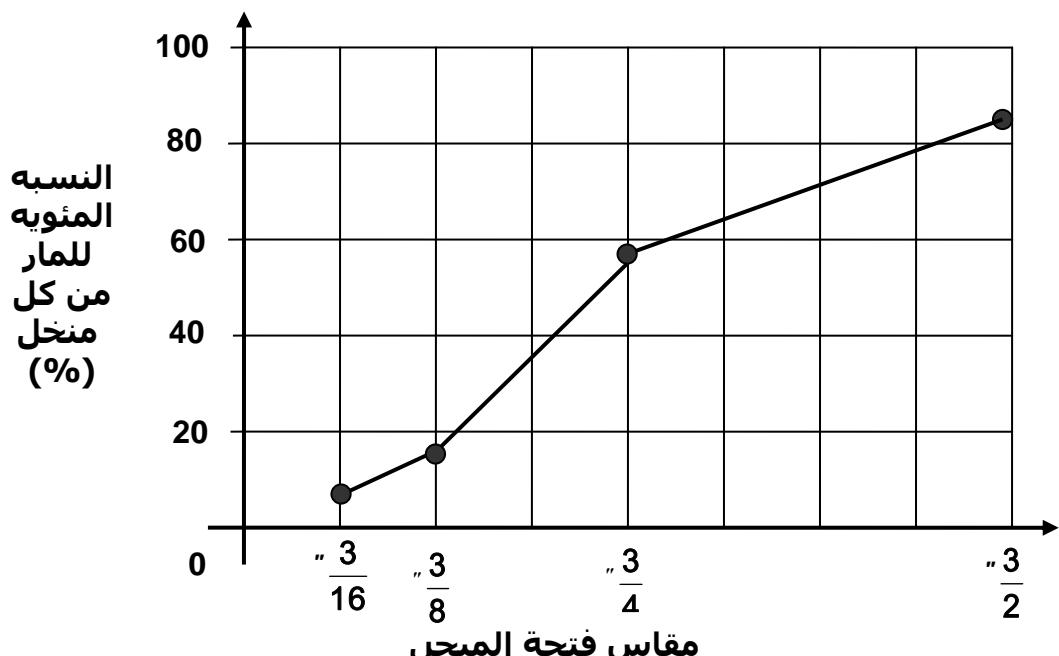
الكلى	الأناء	100	52	25	14	7	" $\frac{3}{16}$	مقاس فتحة المنخل
1000	80	110	80	130	250	150	100	الوزن المحجوز على كل منخل (جم)

**الحل**

نقوم بحساب النسبة المئوية للمار من كل منخل ونضع النتائج فى الجدولين الآتيين

**بيانات منحنى التدرج الحبيبى لرکام الكبير (وزن الرکام = 10000 )**

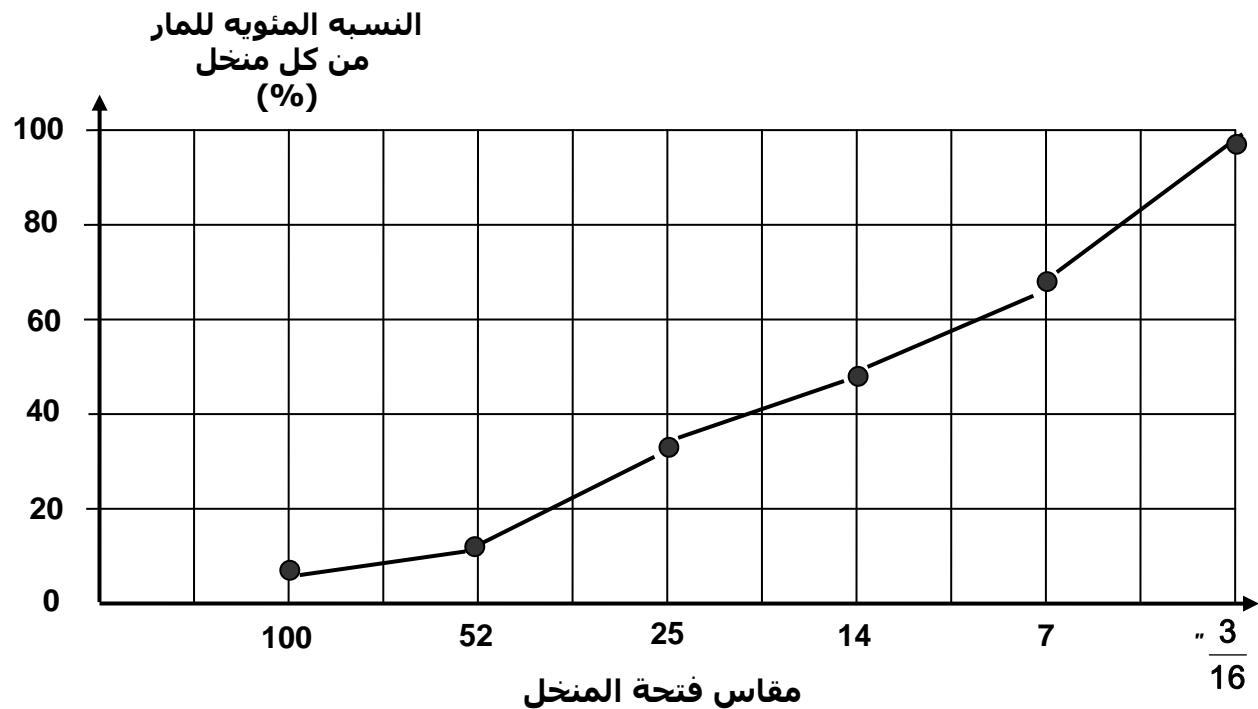
النسبة المئوية للمار على كل منخل (%)	النسبة المئوية للمحوز على كل منخل (%)	الوزن الكلى المحوز على كل منخل(جم)	الوزن المحوز على كل منخل (جم)	مقاس فتحة المنخل
88.00	12	1200	1200	" $\frac{3}{2}$
55.50	44.50	4450	3250	" $\frac{3}{4}$
14.00	86.00	8600	4150	" $\frac{3}{8}$
1.00	99.00	9900	1300	" $\frac{3}{16}$
----	----	----	100	الأناء



المنحنى البياني للتدرج الحبيبي للركام الكبير

بيانات منحنى التدرج الحبيبي للركام الصغير (وزن الركام = 1000 جم)

النسبة المئوية للمار على كل منخل (%)	النسبة المئوية للمحجوز على كل منخل (%)	الوزن الكلى المحجوز على كل منخل(جم)	الوزن المحجوز على كل منخل (جم)	مقاس فتحة المنخل
90.00	10.00	100	100	" $\frac{3}{16}$
75.00	25.00	250	150	7
50.00	50.00	500	250	14
37.00	63.00	630	130	25
19.00	81.00	810	80	52
8.00	92.00	920	110	100
-----	-----	---	80	الأناء



المنحنى البياني للتدرج الحبيبي للركام الصغير

#### معايير النعومة

يعرف معاير النعومة بأنه مجموع النسب المئوية للمحوز على كل منخل من المناخل القياسية التسعه :

$$100 \quad & \quad 52 \quad , \quad 25 \quad , \quad 14 \quad , \quad 7 \quad , \quad \frac{3}{16} \quad , \quad \frac{3}{8} \quad , \quad \frac{3}{4} \quad , \quad \frac{3}{2}$$

مقسوما على 100 وهو يدل على متوسط مقاس الركام وتتراوح قيمته في الرمل بين 2 & 3.75 وللزلط بين 5 & 8 ويستخدم في بعض طرق تقييم الخلطات الخرسانية

#### التدرج الحبيبي الشامل

هو التدرج الحبيبي لركام خليط من الركام الصغير والركام الكبير ويمكن الحصول عليه اذا علم التدرج الحبيبي للركام الصغير والتدرج الحبيبي للركام الكبير كل على حده بخلط الركام الصغير والركام الكبير بنسب معينه في الخليطه الخرسانيه ( $\frac{2}{1}$  أو  $\frac{3}{1}$ ) أو تجمعهما للحصول على منحنى تدرج للركام الخليط يشابه منحنى تدرج حبيبي معلوم ومرغوب الحصول عليه حتى تكون الخليطه الخرسانيه المستعمله ذات خواص جيدة

#### المقاس الأعتبارى الأكبر

هو مقاس أصغر فتحه منخل يسمح بمرور 95% من الركام الكبير على الأقل ويجب ألا يزيد المقاس الأعتبارى الأكبر عن قيمة تراوح بين 0.20 & 0.25 أقل بعد فى الجسم الخرسانى وألا يزيد عن  $\frac{2}{3}$  &  $\frac{3}{4}$  المسافه الحالصه بين حديد التسليح حتى يكون

هناك سهوه فى صب الخرسانه وكلما زاد المقاس الأعتبارى الأكبر كلما زاد وزن الخرسانه وتحسنت نسبيا مقاومه الخرسانه مع وفره فى كمية الأسمنت المستعمل لقلة المساحة السطحية للركام

### (مثال 2)

الجدول الآتى يبين التدرج الحببى لكل من الزلط والرمل والمطلوب ايجاد التدرج

الحببى للركام خليط من الزلط والرمل بنسبة  $\frac{2}{1}$

النسبة المئوية للمار										رقم المنخل
10 0	52	25	14	7	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{8}$ "	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{2}$ "		
6	24	45	60	81	96	100	100	100	الرمل (س)	
--	--	--	--	--	3	36	75	96	الزلط (ص)	

### الحل

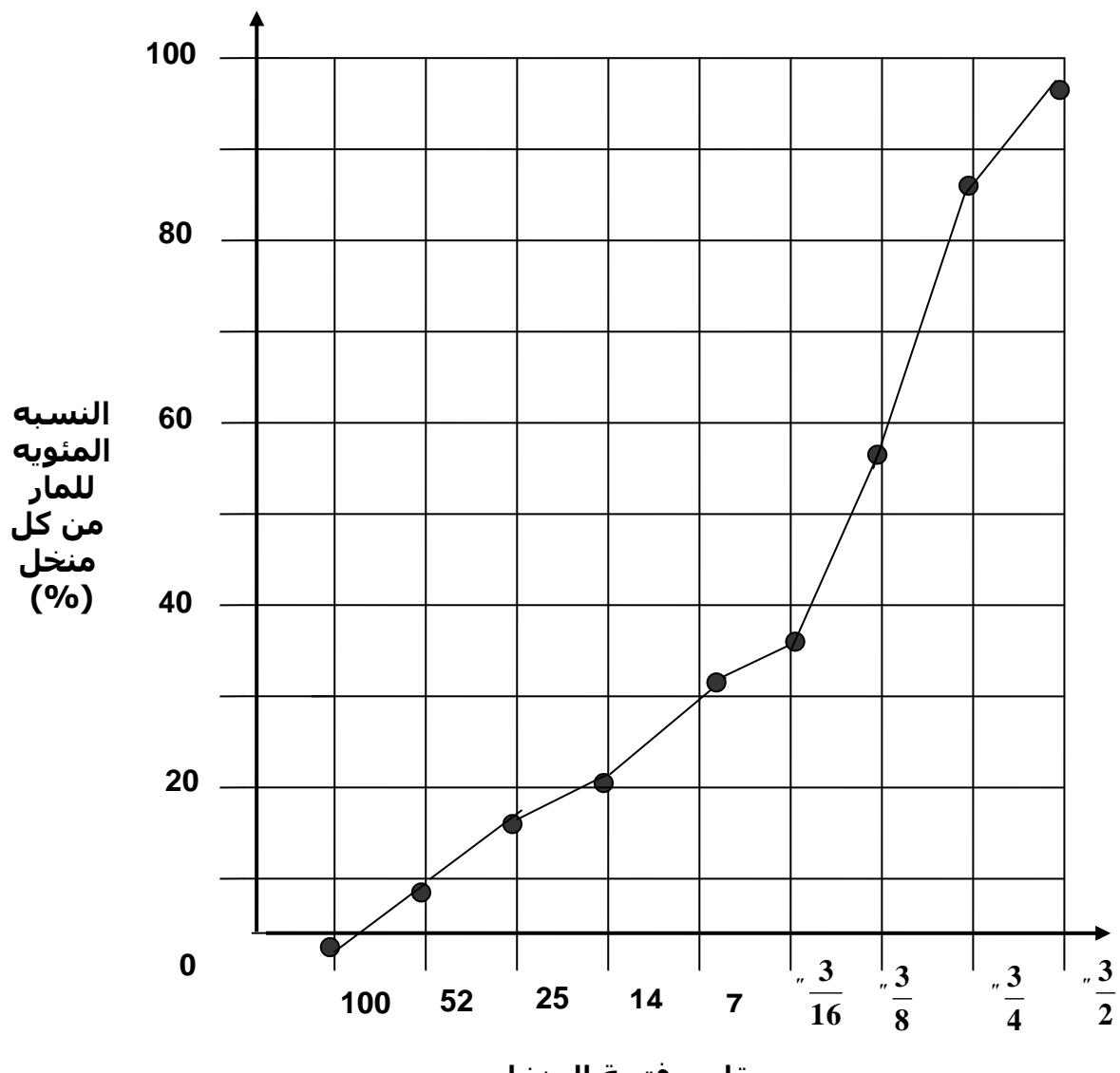
نرمز للركام الخليط بالرمز ع ونفرض أن النسبة بين الرمل الى الزلط هي م : ن

النسبة المئوية للمار										رقم المنخل
100	52	25	14	7	$\frac{3}{16}$ "	$\frac{3}{8}$ "	$\frac{3}{4}$ "	$\frac{3}{2}$ "		
6	24	45	60	81	96	100	100	100	الرمل (س)	
--	--	--	--	--	3	36	75	96	الزلط (ص)	
2	8	15	20	27	32	33.3	33.3	33.3	(س/3)	
--	--	--	--	--	2	24	50	64	(ص/3)	
2	8	15	20	27	34	57.3	83.3	97.3	(س/3+(ص/3))	

$$\text{أى أن: } \frac{s}{c} = \frac{1}{2} = \frac{m \times s}{m + n} + \frac{n \times c}{m + n} \text{ أى أن}$$

$$\text{الخليط سيكون } U = \frac{c^2}{3} + \frac{s}{3}$$

نقوم بإجراء الحسابات لكل منخل ووضع البيانات في الجدول الآتي:  
بعد ذلك يمكننا رسم العلاقة بين مقاس فتحة كل منخل والنسبه المئويه للمار من كل منخل للرکام



## أسئلة وتدريبات على الفصل العاشر

### المواد الغير معدنية (مواد البناء)

#### ركام الخرسانه

#### Aggregates for concrete

#### أجب عن الأسئلة الآتية :

(1) تكلم عن العلاقة بين المساحة السطحية لركام الخرسانه ومقاومة الضغط

(2) ما هو المقصود بالتلدرج الحبيبي وما هو الغرض من اجراؤه

(3) عرف كل من معايير النعومة والمقاس الأعتبارى الأكبر والتلدرج الحبيبي الشامل

(4) تكلم عن التقسيمات المختلفة لركام الخرسانه

(5) اشرح مع التوضيح بالرسم ما هي حدود التدرج الحبيبي

(6) اشرح مع التوضيح بالرسم كل من الطريقة الحسابية والطريقة اللوغاريتمية للرسم البياني لمنحنى التدرج الحبيبي

(7) تكلم عن المواصفات البريطانية والمواصفات المصرية للمناخل القياسية المستخدمة في اجراء التدرج الحبيبي لركام الخرسانة

(8) ارسم المنحنى البياني للتدرج الحبيبي لركام كبير (زلط) ولركام الصغير (رمل) اذا علمت أن الوزن الكلى لركام الكبير 10000 جم والوزن الكلى لركام الصغير 1000 جم وأن نتائج اختبار التدرج الحبيبي كما هي موضحة بالجدول الآتى:

الرکام الصغير (رملي)		الرکام الكبير (زلط)	
وزن المحجوز على كل منخل (جم)	مقاس فتحة المنخل	وزن المحجوز على كل منخل (جم)	مقاس فتحة المنخل
130	3/16"	1350	3/2"
180	7	2950	3/4"
300	14	4240	3/8"
140	25	1360	3/16"
170	52	100	الأنانع
50	100		
30	الأنانع		

(9) الجدول الآتى يبين التدرج الحببى لكل من الرمل والزلط والمطلوب رسم المنحنى البيانى لرکام خليط من الرمل والزلط بنسبة 3:2 وحساب معاير النعومة لكل من الرمل والزلط والرکام الخليط

النسبة المئوية للمار (%)										
100	52	25	14	7	3/16"	3/8"	3/4"	3/2"	مقاس فتحة المنخل	
6	24	45	60	81	96	100	100	100	الرمل	
--	--	--	--	--	3	36	75	96	الزلط	

(10) ارسم المنحنى البيانى للتدرج الحببى لرکام كبير (زلط) وللرکام الصغير (رملي) اذا علمت أن الوزن الكلى للرکام الكبير 10000 جم والوزن الكلى للرکام الصغير 1000 جم وأن نتائج اختبار التدرج الحببى كما هي موضحة بالجدول الآتى:

الرکام الصغير (رمل)	الرکام الكبير (زلط)		
الوزن المحجوز على كل منخل (جم)	مقاس فتحة المنخل	الوزن المحجوز على كل منخل (جم)	مقاس فتحة المنخل
130	3/16"	1200	3/2"
180	7	3250	3/4"
300	14	4150	3/8"
140	25	1300	3/16"
170	52	100	الأناء
50	100		
30	الأناء		

---

أ. نهاية الفصل العاشر  
 أ.د/ مجد على أبو عميرة  
 أستاذ الهندسة الزراعية  
 كلية الزراعة - جامعة المنوفية

## أسئلة امتحانات سابقة

الأستاذ الدكتور / مجد على أبو عميرة  
أستاذ الهندسة الزراعية والنظم الحيوية  
كلية الزراعة جامعة المنوفية



## امتحان الفصل الدراسي الأول 2008/2009

كلية الزراعة  
في مادة: خواص واختبار المواد  
الزمن: ساعتان  
قسم الهندسة الزراعية  
التاريخ: 2009/1/15

## أجب على الأسئلة الآتية (80 درجة)

**السؤال الأول (25 درجة):** أجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطرى لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت انوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم إلى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينة الأصلي 1 سم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي:

القسم	الطول بعد الكسر (مم)										
10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	25.3	23.5

والمطلوب: (1) رسم توزيع الاستطالة على طول القياس

(2) استنتاج معادلة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين & (3) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

**السؤال الثاني (30 درجة):** (أ) عرف كل من الخواص الميكانيكية الآتية تحت اختبار الشد مستعيناً بالرسم والمعادلات كلما أمكن ذلك:

- (1) إجهاد حد التنااسب    (2) إجهاد الخضوع    (3) مقاومة الشد القصوى    (4) الممطولة  
 (ب) ارسم رسمًا تخطيطيًا لمنحنى الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي للصلب الطرى موضحا على الرسم مناطق تقسيمه ومعادلة المنحنى الخاص بكل منطقة  
 (ج) تكلم باختصار مع التوضيح بالرسم عن سلوك المواد المعدنية المطبلة والنصف مطبلة والقصبة تحت اختبار الضغط

**السؤال الثالث (25 درجة):** (أ) أذكر فقط التقديرات المختلفة للركام - ما هو المقصود بالدرج الحبيبي؟ وما هو الغرض من إجراؤه؟

(ب) ارسم المنحنى البياني للدرج الحبيبي للركام الكبير (زلط) وللركام الصغير (رمel) إذا علمت أن الوزن الكلى للركام الكبير 10000 جم والوزن الكلى للركام الصغير 1000 جم وأن نتائج اختبار الدرج الحبيبي كما هي موضحة بالجدول الآتي:

الركام الصغير (رمel)	الركام الكبير (زلط)
الوزن المحجوز على كل منخل (جم)	مقاس فتحة المنخل
130	3/16"
180	7
300	14
140	25
170	52
50	100
30	الإتاء

الفرقة: الثالثة الشعبة: هندسة زراعية الزمن: ساعتان عدد صفحات الأسئلة: 1 الممتحنون: أ.د/ محمد علي أبو عميرة	إمتحان الفصل الدراسي الأول <b>العام الجامعي 2013/2014</b> المادة: خواص واختبار المواد	 <b>قسم الهندسة الزراعية</b>
--	---	--

**أجب على الأسئلة الآتية:****السؤال الأول:**

- (أ) وضع بالرسم فقط طرق تثبيت عينة الاختبار في ماكينة الاختبار في حالات اختبار الشد والضغط والانحناء  
 (ب) أجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم إلى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينة الأصلي 1 سم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي:

الطول بعد الكسر (مم)	القسم
24	10
24.5	9
25	8
25	7
26	6
31	5
27	4
26	3
26	2
26	1

والمطلوب: (1) رسم توزيع الاستطالة على طول القياس

(2) استنتاج معادلة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين

(3) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

**السؤال الثاني:**

- (أ) عرف كل من الخواص الميكانيكية الآتية تحت اختبار الشد مستعيناً بالرسم والمعادلات كلما أمكن ذلك:

(1) إجهاد حد التنااسب (2) إجهاد حد المرونة (3) معاير المرونة

(4) معاير المتانة (5) الممطولة

(ب) وضع بالرسم فقط التقسيمات المختلفة لعينات اختبار الضغط القياسية

(ج) تكلم عن سلوك المواد المعدنية المطيلة والنصف مطيلة والقصبة تحت اختبار الضغط

**السؤال الثالث:**

- (أ) تكلم عن التقسيمات المختلفة لرکام الخرسانة

(ب) ما هو المقصود بالدرج الحبيبي وما هو الغرض من إجراؤه

(ج) ارسم المنحني البياني للدرج الحبيبي لرکام كبير (زلط) ولرکام صغير (رمل) إذا علمت أن الوزن الكلي للرکام

الكبير 10000 جم والوزن الكلي للرکام الصغير 1000 جم ونتائج اختبار الدرج الحبيبي كما هي موضحة بالجدول الآتي:

نوع الرکام	مقاس فتحة المنخل	رکام صغير (رمل)							رکام كبير (زلط)						
		الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء	الإناء
100	52	25	14	7	"16/3	"16/3	"16/3	"8/3	"4/3	"2/3					
30	50	170	140	300	180	130	100	1360	4240	2950	1350	الم gioz على كل	منخل (جم)		

أ. د/ محمد علي أبو عميرة

مع تمنياتنا بال توفيق



## امتحان الفصل الدراسي الأول 2008/2009

كلية الزراعة  
فى مادة: خواص واختبار المواد  
الزمن: ساعتان  
قسم الهندسة الزراعية  
التاريخ: 2009/1/15

أجب على الأسئلة الآتية (80 درجة)

**السؤال الأول (30 درجة)** (أ) عرف كل من الخواص الميكانيكية الآتية تحت اختبار الشد مستعيناً بالرسم

- والمعادلات كلما أمكن ذلك: (1) إجهاد حد التنساب (2) إجهاد الخضوع (3) مقاومة الشد القصوى  
(4) الممطولية (5) إجهاد الضمان (6) إجهاد حد المرونة (7) معاير الرجوعية

(ب) أجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم إلى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينة الأصلي 1 سم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي:

الطول بعد الكسر (مم)	القسم
25.3	10
23.5	9
24.0	8
25.0	7
24.5	6
24.5	5
29.5	4
26.0	3
26.0	2
25.5	1

- والمطلوب: (1) استنتاج معادلة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين  
(2) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

**السؤال الثاني (20 درجة)** (أ) وضع بالرسم فقط طرق تثبيت العينة بماكينة الاختبار في حالات الشد والضغط والأنحناء

(ب) وضع بالرسم فقط تركيب حلقة المعايير وشرح طريقة استخدامها في معايرة ماكينات الاختبار في اختيار الشد واختبار الضغط

**السؤال الثالث (30 درجة)** (أ) ارسم رسمًا تخطيطياً لمنحنى الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي للصلب الطري  
موضحاً على الرسم مناطق تقسيمه ومعادلة المنحنى الخاص بكل منطقة وكيفية تعيين ثوابت كل معادلة

(ب) اختبرت كمره من المعدن قطاعها مستطيل ارتفاعه 6 سم وعرضه 3 سم في تجربه انحناء بحمل مركز فى منتصف بحر الكمره وكانت الكمره مرتكزة ارتكازاً بسيطاً على ركيزتين وبذرها = 80 سم والجدول الآتي يبين الحمل بالكيلوجرام وسهم الانحناء المقابل له بالمليمتر عند منتصف بحر الكمره اثناء اختبار الكمره حتى الكسر

الحمل (كجم)	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر	صفر
1100	1000	900	750	600	400	200	صفر	صفر
12.10	8.80	7.04	5.28	3.96	2.64	1.32	صفر	سهم الانحناء (مم)

والمطلوب رسم العلاقة بين الحمل وسهم الانحناء ثم تعيين الخواص الآتية:

- (1) معاير المرونة (2) معاير الكسر (3) معاير الرجوعية (4) إجهاد حد التنساب

مع تمنياتنا بالتوفيق أ.د/ محمد علي أبو عميرة



امتحان الفصل الدراسي الأول للعام الجامعي 2013/2014  
 كلية الزراعة      في مادة: خواص واختبار المواد  
 الفرقة الثالثة - قسم الهندسة الزراعية  
 الزمن : ساعتان      التاريخ: 12/1/2014

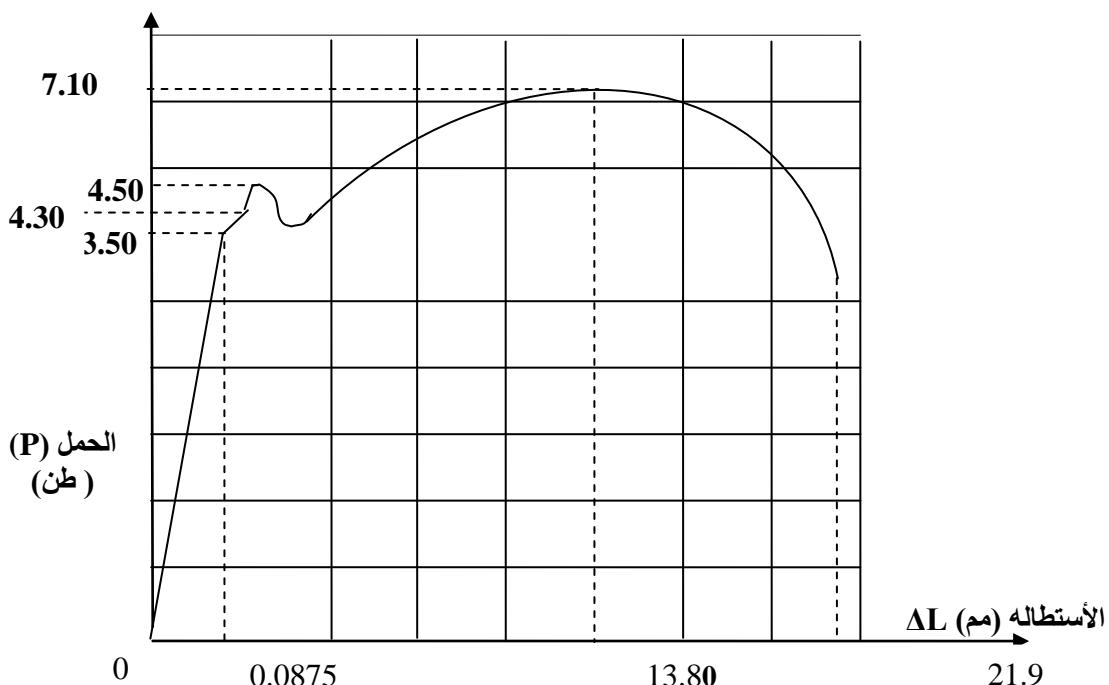
### أجب عن الأسئلة الآتية (60 درجة)

**السؤال الأول (20 درجة)** (أ) تكلم عن التقسيمات المختلفة لماكينات اختبار المواد وأذكر الشروط التي يجب أن تتوافر بها لإجراء الاختبار

(ب) ارسم رسمًا تخطيطيًا لماكينة الاختبار ذات الترس واللولب ثم اذكر عيوبها ووضح طريقة التأثير بالحمل وطريقة قياس هذا الحمل

**السؤال الثاني: (20 درجة)** (أ) اجري اختبار الشد على قضيب من الصلب الطرى قطره 16 مم وطول الفياس 80 سم والمنحنى الذى يمثل العلاقة بين الحمل والاستطالة كما تمت أشواء الاختبار والمطلوب حساب ما يلى:

(1) معاير المرونة (2) اجهاد حد التنااسب (3) اجهاد حد المرونة



(4) اجهاد الخضوع الأقصى (5) الرجوعية (6) معاير الرجوعية

(7) الممطولة (8) مقاومة الشد القصوى

(ب) ذكر الأسباب التي تجعل نتائج اختبار الضغط فى المعادن غير دقيقة وأنذكر الاحتياطات الواجب مراعاتها عند اجراء هذا الاختبار

**السؤال الثالث: (20 درجة)** (أ) ارسم رسمًا تخطيطيًا لمنحنى الأجهاد الحقيقى والافتعال الحقيقى مبيناً عليه مناطق التحميل وأكتب المعادلة الخاصة بكل منطقة

(ب) تكلم باختصار عن العلاقة بين المساحة السطحية لركام الخرسانه ومقاومة الضغط

(د) الجدول الآتى يبين التدرج الحبيبى لكل من الرمل والزلط والمطلوب رسم المنحنى

البيانى لركام خليط من الرمل والزلط بنسبة  $\frac{2}{3}$

النسبة المئوية للمار (%)										مقاس فتحة المنخل
100	52	25	14	7	3/16"	3/8"	3/4"	3/2"		
8	19	37	50	75	90	100	100	100	الرمل	
--	--	--	--	--	1	14	55.5	88	الزلط	

الأمتحان العملي للفصل الدراسي الأول 2013/2014  
في مادة: خواص واختبار المواد

كلية الزراعة

قسم الهندسة الزراعية

لطلاب ثالثة قسم الهندسة الزراعية

الممتحن: أ.د/ محمد علي أبو عميرة



التاريخ: 29/12/2013

الزمن: ساعة

أجب عن الأسئلة الآتية (20 درجة)

السؤال الأول (10 درجة)

- (أ) اشرح كيف يمكن اجراء اختبار الشد لعينة من الصلب عالي المقاومه لتعيين اجهاد الضمان  
(ب) أجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت انوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم إلى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينة الأصلي 1 سم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي:

القسم	الطول بعد الكسر (مم)
10	24
9	24
8	24.5
7	25
6	25
5	26
4	31
3	27
2	26
1	26

والمطلوب: (1) رسم توزيع الاستطالة على طول القياس

(2) استنتاج معادلة الاستطالة وتعيين ثوابت انوين

(3) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

السؤال الثاني (10 درجة)

- (أ) ارسم رسمًا تخطيطيًا لحلقة المعايرة واشرح باختصار طريقة عملها في حالة اختبار الشد واختبار الضغط

- (ب) استنتج علاقة الأجهاد الحقيقي والأنفعال الحقيقي بالأجهاد العادي والأنفعال العادي باستخدام الأنفعالات المحورية

مع تمنياتنا بالتوفيق

أ.د/ محمد علي أبو عميرة



امتحان أعمال السنة الأولى - الفصل الدراسي الأول 2013 / 2014

كلية الزراعة في مادة: خواص واختبار المواد

قسم الهندسة الزراعية لطلاب الفرقه الثالثة - قسم الهندسة الزراعية

التاريخ: 29/11/2013

الزمن: ساعة

### أجب عن الأسئلة الآتية

#### السؤال الأول

(أ) ارسم رسمًا تخطيطيًا لمنحنيات الأجهاد والأنفعال لكل من الصلب الأنثاني والصلب على المقاومه والحديد الزهر

(ب) عرف كل من الخواص الميكانيكية الآتية :

- 4-المطروقية      1-الصلابه      3- الصلاده      2- المثانه      5-الرجوعية

#### السؤال الثاني

(أ) عرف النسبة المئوية للخطأ واذكر متى يتم معايرة ماكينات الاختبار ؟

(ب) أجرى اختبار معايرة لماكينة اختبار عامة حمولة 10 طن باستخدام حلقة المعايرة وكانت القراءات التي بينتها ماكينة الاختبار والقراءات المقابلة التي بينتها حلقة المعايرة كما هي موضحة بالجدول الآتى:

قراءة ماكينة الاختبار (الحمل بالطن)														
10.0	9.0	8.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.0	2.0	1.5	1.0	0.5			
9.7	8.8	8.0	7.0	6.2	5.0	3.8	2.95	2.0	1.55	1.10	0.6			

والمطلوب رسم منحنى المعايرة لماكينة الاختبار مبينا عليه مناطق التحميل التي يمكن اعتبار

ماكينة الاختبار غير دقيقة في بياناتها وذلك باعتبار ان النسبة المئوية للخطأ المسماوح به في

قراءات ماكينة الاختبار هو بحد اقصى +1%

أ.د/ محمد على أبو عميرة



## امتحان الفصل الدراسي الأول للعام الجامعي 2014/2015

في مادة : خواص واختبار المواد

قسم الهندسة الزراعية الفرقة الثالثة قسم الهندسة الزراعية

تاریخ الامتحان : 11 / 1 / 2015      الزمن : ساعتان

**أجب على الأسئلة الآتية ( 60 درجة )****السؤال الأول ( 20 درجة )** (أ) تكلم عن تقسيم المواد الهندسية ثم اذكر فقط انواع مقاييس الانفعال

(ب) أجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت انوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم إلى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينة الأصلي 1 سم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي:

القسم	الطول بعد الكسر (مم)	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
25.3	23.5	24.0	25.0	24.5	24.5	29.5	26.0	26.0	25.5	25.5	25.5

**والمطلوب:** (1) رسم توزيع الاستطالة على طول القياس (2) استنتاج معادلة الاستطالة وتعيين ثوابت انوين

(3) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

**السؤال الثاني ( 20 درجة )** (أ) عرف الممطولة وأكتب معادلة حساب كل من النسبة المئوية للاستطالة والنسبة المئوية للنقص في مساحة المقطع

(ب) عرف الأجهاد الحقيقى وأكتب معادلة حسابه واستنتاج رياضياً معادلة حساب الانفعال الحقيقى

(د) عرف مقاومة الضغط ووضح بالرسم فقط سلوك المواد المعدنية المطيلة والنصف مطيله والقصفه تحت اختبار الضغط

**السؤال الثالث ( 20 درجة ) :**

(أ) ما هو المقصود بالدرج الحبيبي؟ عرف كل من المقاس الأعتبري الأكبر والدرج الحبيبي الشامل

(ب) الجدول الآتى يبين التدرج الحبيبي لكل من الرمل والزلط والمطلوب رسم المنحنى البياني لركام خليط من

الرمل والزلط بنسبة  $\frac{2}{3}$  وحساب معاير النعومة لكل من الرمل والزلط والركام الخليط

النسبة المئوية للمار (%)										مقاس فتحة المنخل
100	52	25	14	7	3/16"	3/8"	3/4"	3/2"		
3	8	25	39	69	87	100	100	100		الرمل
--	--	--	--	--	1	14.6	57	86.5		الزلط



الامتحان العملى الفصل الدراسي الأول للعام الجامعى 2014/2015

فى مادة : خواص واختبار المواد

قسم الهندسة الزراعية الفرقة الثالثة قسم الهندسة الزراعية

تاریخ الامتحان : 23 / 12 / 2015      الزمن : ساعه

**أجب على الأسئلة الآتية (20 درجة)**

**السؤال الأول (10 درجة)**

اجرى اختبار الشد على عينه من الصلب عالي المقاومه وكان قطر العينه الأصلى 1.0 سم و طول القياس 20 سم وكانت الأحمال بالطن والاستطالة المترادفة بالمم كما هي بالجدول الآتى:

الحمل (طن)	الاستطالة(مم)
6.75	6.00
3.000	1.500

ارسم المنحنى البياني للحمل والاستطالة ثم عين الآتى:

- (1) 0.50 % اجهاد ضمان
- (2) معاير المرونة
- (3) معاير الرجوعية
- (4) مقاومة الشد القصوى
- (5) النسبة المئوية للأستطالة

**السؤال الثاني (10 درجة)**

(أ) وضع بالرسم فقط تركيب حلقة المعايير وشرح طريقة استخدامها فى معايرة ماكينات الاختبار فى حالى اختيار الشد واختبار الضغط

(ب) استنتاج رياضيا العلاقة الآتية:  $\text{الأجهاد الحقيقى} = \text{الأجهاد العادى} \times (1 + \text{الأنفعال العادى})$

(د) وضع بالرسم فقط التقسيمات المختلفة لعينات اختبار الضغط القياسيه

مع تمنياتنا بال توفيق أ.د/ محمد علي أبو عميرة



الفرقة: المستوى الثالث  
قسم الهندسة الزراعية والنظم الحيوية  
الزمن: ساعتان  
الممتحنون: أ.د/ محمد علي أبو عميرة & د/ سعيد السيسى

الامتحان الفصل الدراسي الأول  
2020/2019  
للعام الجامعي  
المادة: خواص واختبار المواد  
تاريخ الامتحان 2020/1/12

قسم الهندسة الزراعية والنظم الحيوية

### أجب عن الأسئلة الآتية (60 درجة)

السؤال الأول (15 درجة) (أ) ارسم رسمًا تخطيطيًا لحلقة المعايرة وشرح باختصار طريقة استخدامها عند معايرة ماكينات اختبار المواد في حالي اختبار الشد واختبار الضغط

(ب) عرف كل من المعادن المطيلة والنصف مطيلة والقصفة وارسم العلاقة بين الإجهاد والانفعال لكل نوع منها

(ج) أجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم إلى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينة الأصلي 10 مم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي والمطلوب: (1) استنتاج معادلة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين

(2) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

النسبة المئوية للمار (%)	الطول بعد الكسر (مم)	القسم
10	9	8
25.3	23.5	24.0
7	25.0	24.5
6	24.5	24.5
5	29.5	26.0
4	26.0	26.0
3	25.5	25.5
2		
1		

السؤال الثاني (15 درجة) (أ) استنتاج العلاقة بين الأجهاد الحقيقي والأجهاد العادي باستخدام أبعاد العينة والأنفعالات المحورية وارسم رسمًا تخطيطيًا لمنحنى الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي للصلب الطري موضحًا على الرسم مناطق تقسيمه والمعادلة الخاصة بمنحنى كل منطقة

(ب) الجدول الآتي يبين التدرج الحبيبي لكل من الرمل والزلط والمطلوب رسم المنحنى البياني لركام خليط من الرمل والزلط بنسبة  $\frac{2}{3}$  وحساب معابر النعومة لكل من الرمل والزلط والركام الخليط

مقاس فتحة المنخل	الرمل	الزلط
النسبة المئوية للمار (%)		
100	52	25
3	8	39
--	--	--
7	69	87
3/16"	100	100
3/8"	100	100
3/4"		
3/2"		
1	14.6	57
		86.5

### السؤال الثالث (15 درجة)

(أ) تعتبر خاصية النشاط المائي من أهم الخواص المتعلقة بانتقال الكتلة للمواد الزراعية وضح نعمتها وأهمية دراستها وأحد طرق قياسها

(ب) أوجد حجم 20 حبة من محصول حبوب إذا كانت الحبة الواحدة 0.25 جم وكتلة الوعاء فقط 55.6 جم وكتلة الوعاء والتلوين 78.3 جم وكتلة الوعاء والتلوين والعينة 80 جم وكتلة الوعاء والماء 81.7 جم

(ج) أكتب ما تعرفه عن: (coefficient of friction -Angle of repose) موضحًا إجابتك بالمعادلات الرياضية مع شرح أهميتها في عمليات تداول المنتجات الزراعية

### السؤال الرابع (15 درجة)

(أ) أكتب مخطط لت分区 الخواص الريولوجية مع توضيح أهمية دراستها

(ب) وضح ألم الفروق في الخواص الريولوجية للمنتجات الآتية :

(الكتشب- معجون الموز- نشا الذرة الصفراء- الماء) موضحًا إجابتك بالرسومات البيانية والمعادلات

(ج) أشرح باختصار طريقة تقدير الزوجة بالخاصية الشعرية مع توضيح معادلات إجهاد القص ومعدل القص

(د) مانع بين لوحين متوازيين المسافة بينهما 0.1 متر اللوح السفلي ثابت بينما العلوي يتحرك بسرعة 7 والمائع المار بين اللوحين هو الماء ولزوجته 1 سم بواز - المطلوب احسب مع التوضيح بالرسم:

1- جهد القص اللازم للحفاظ على اللوح العلوي في الحركة بسرعة 0.30 متر/ثانية

2- اذا تم استبدال الماء بسائل اخر لزوجته 100 سم بواز وظل جهد القص ثابت اوجد السرعة الجديدة للوح العلوي



قسم الهندسة الزراعية والنظم الحيوية

الفرقة: المستوى الثالث  
قسم الهندسة الزراعية والنظم الحيوية  
الزمن: ساعتان  
الممتحنون: أ.د/ محمد علي أبو عميرة & د/ سعيد السيسى

الامتحان العملي  
للفصل الدراسي الأول  
لعام الجامعي 2019/2020  
المادة: خواص واختبار المواد  
تاريخ الامتحان 2019/12/23

أجب عن الأسئلة الآتية (20 درجة)

السؤال الأول (10 درجة)

(أ) وضح بالرسم فقط طرق تثبيت العينة بماكينة الاختبار في حالاتي اختبار الشد واختبار الضغط وعرف كل من الخواص الميكانيكية الآتية تحت اختبار الشد مستعينا بالرسم وكتابة المعادلة الخاصة بكل منها:

(1) إجهاد الضمان (2) الرجوعية (3) معاير المرونة (4) معاير المتانة (5) الممطولة

(ب) اشرح كيف يمكن اجراء اختبار الشد لعينة من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابن أنوين

(ج) ذكر فقط التقسيمات المختلفة لركام الخرسانة وعرف المقصود بكل من

-1-الدرج الحبيبي وما هو الغرض من إجراؤه ؟ -2- معاير النعومة -3- المقاس الأعتبري الأكبر

السؤال الثاني (10 درجة)

(أ) وضح بالمعادلات والرسومات البيانية سلوك المعادن تحت تأثير الضغط الاستاتيكي

(ب) يعتبر الحجم والكتافة ومساحة السطح من الخواص الطبيعية للمنتجات الزراعية - تكلم باختصار عن هذه الخواص مع توضيح طريقة قياس كل منهم

(ج) عرف كل من :

-1-Drag coefficient -2- Terminal velocity -3- Sphericity -4- Porosity

(د) تعتبر الحرارة النوعية والموصولة الحرارية من الخواص الحرارية الهامة - تكلم عنها موضحاً أهميتها والقانون المستخدم في حساب كل خاصية

مع تمنياتنا بالتوفيق أ.د/ محمد علي أبو عميرة & د/ سعيد فتحي السيسى



كلية الزراعة

الامتحان العملي للفصل الدراسي الأول للعام الجامعي 2018/2017  
في مادة : خواص واختبار المواد      الزمن : ساعة

التاريخ : 2017 / 12 / 17

قسم الهندسة الزراعية المستوى الثالث قسم الهندسة الزراعية

الممتحنون : أ.د/ محمد على أبو عميرة + أ.د/ أيمن حافظ عيسى

أجب على الأسئلة الآتية (20 درجة)

السؤال الأول (10 درجة)

(أ) وضع بالرسم فقط طرق تثبيت العينه بماكينة الاختبار فى حالتي اختبار الشد واختبار الضغط

(ب) عرف كل من اجهاد الضمان والممطولية واشرح كيفية قياس كل منها

(ج) الجدول الآتى يبين التدرج الحبيبي لكل من الرمل والزلط والمطلوب رسم المنحنى البيانى لركام خليط من الرمل والزلط بنسبة

2  
3

النسبة المئوية للمار (%)										مقاس فتحة المنخل
100	52	25	14	7	3/16"	3/8"	3/4"	3/2"		
8	19	37	50	75	90	100	100	100		الرمل
--	--	--	--	--	1	14	55.5	88		الزلط

مع تمنياتنا بالتوفيق أ.د/ محمد علي أبو عميرة & أ.د/ أيمن حافظ عيسى



الامتحان النهائي للفصل الدراسي الأول للعام الجامعي 2017/2018  
في مادة : خواص واختبار المواد

كلية الزراعة

قسم الهندسة الزراعية

المستوى الثالث قسم الهندسة الزراعية

التاريخ : 1/6 / 2018

الممتحنون : أ.د/ محمد علي أبو عميرة + أ.د/ أيمن حافظ عيسى

أجب على الأسئلة الآتية (60 درجة)

السؤال الأول (20 درجة)

(أ) ارسم رسمًا تخطيطيًا لمنحنى الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي للصلب الطري موضحاً على الرسم مناطق تقسيمه ومعادلة المنحنى الخاص بكل منطقة وكيفية تعين الثوابت الخاصة بكل معادلة

(ب) اجري اختبار الشد على عينة من الصلب على مقاومته وكان قطر العينة الأصلي 1.0 سم و طول القياس 20 سم وكانت الأحمال بالطن والأسططالة المتاظرة بالمم كما هي بالجدول الآتي:

الحمل (طن)	صفر
6.75	6.00
3.000	1.500
5.50	1.125
4.80	0.740
4.00	0.500
3.00	0.375
2.00	0.250
1.00	0.125

ارسم المنحنى البياني للحمل والأسططالة ثم عين الآتي: (1) 0.50 % اجهاد ضمان (2) معاير المرونة

(3) معاير الرجوعية (4) مقاومة الشد القصوى (5) النسبة المئوية للأسططالة

السؤال الثاني (20 درجة)

(أ) عرف كل من الخواص الميكانيكية الآتية تحت اختبار الشد موضحاً ذلك بالرسم والمعادلات :

(1) إجهاد حد التنااسب (2) إجهاد حد المرونة (3) إجهاد الخضوع الأقصى (4) معاير المثانة (5) الرجوعية

(ب) تكلم باختصار عن العلاقة بين المساحة السطحية لركام الخرسانة ومقاومة الضغط

وعرف كل من معاير النعومة والمقاس الأعتبرى الأكبر

مع تمنياتنا بالتوفيق أ.د/ محمد علي أبو عميرة & أ.د/ أيمن حافظ عيسى



امتحان الفصل الدراسي الأول للعام الجامعي 2015/2016  
في مادة : خواص وختبار المواد  
لطلاب المستوى الثالث قسم الهندسة الزراعية لاتحة قديمة  
تاریخ الامتحان : 2016 / 1 / 1 الزمن : ساعتان

أجب على الأسئلة الآتية (60 درجة)

السؤال الأول (20 درجة)

(ا) وضح بالرسم فقط طرق تثبيت عينة الاختبار في ماكينة الاختبار في حالات اختبار الشد والضغط والانحناء

(ب) اجرى اختبار الشد على عينه من الصلب عالي المقاومة وكان قطر العينة الأصلي 1.0 سم و طول القياس 20 سم وكانت الأحمال بالطن والاستطالة المناظرة بالمم كما هي بالجدول الآتي:

الحمل (طن)	الاستطالة (مم)
6.75	3.000
6.00	1.500
5.50	1.125
4.80	0.740
4.00	0.500
3.00	0.375
2.00	0.250
1.00	0.125
صفر	صفر

ارسم المنحني البياني للحمل والاستطالة ثم عين الآتي:

- (1) 0.10% اجهاد ضمان لمعدن الصلب المختبر      (2) معاير المرونة      (3) معاير الرجوعية      (4) مقاومة الشد القصوى      (5) النسبة المئوية للاستطالة

السؤال الثاني (20 درجة)

(ا) عرف كل من المواد المعدنية المطيلة والنصف مطيلة والقصبة  
(ب) ارسم رسمًا تخطيطياً لمنحنى الإجهاد الحقيقي والانفعال الحقيقي للصلب الطري موضحاً على الرسم مناطق تقسيمه ومعادلة المنحنى الخاص بكل منطقة وكيفية تعين الثوابت الخاصة بكل معادلة

السؤال الثالث (20 درجة)

(ا) عرف كل من معاير النعومة والمقاس الاعتباري الأكبر  
(ب) ارسم المنحنى البياني للتدرج الحبيبي لركام كبير (زلط) ولركام صغير (رمel) إذا علمت أن الوزن الكلي لركام الكبير 10000 جم والوزن الكلي لركام الصغير 1000 جم ونتائج اختبار التدرج الحبيبي كما هي موضحة بالجدول الآتي:

الإثناء	ركام صغير (رمel)							ركام كبير (زلط)					نوع الركام
	100	52	25	14	7	"3/16"	الإثناء	"3/16"	"3/8"	"3/4"	"3/2"	مقاس فتحة المنخل	
30	50	170	140	300	180	130	100	1360	4240	2950	1350	جوز على كل منخل	

أ. د/ محمد على أبو عميرة      مع تمنياتنا بالتوفيق



الامتحان العملي الفصل الدراسي الأول للعام الجامعي 2015/2016

في مادة : خواص واختبار المواد

طلاب المستوى الثالث قسم الهندسة الزراعية لائحة جديدة

زمن : ساعتان تاريخ الامتحان : 12/1/2015

كلية الزراعة

قسم الهندسة الزراعية

أجب على الأسئلة الآتية (20 درجة)

السؤال الأول (10 درجة)

(أ) أجري اختبار الشد على عينة من الصلب الطري لدراسة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين فتم تقسيم طول القياس على عينة الاختبار ومقداره 20 سم إلى عشرة أقسام متساوية وكان قطر العينة الأصلي 10 مم وبعد كسر العينة كان طول كل قسم كما هو موضح بالجدول الآتي:

القسم	الطول بعد الكسر (مم)
10	24
9	24
8	24.5
7	25
6	25
5	26
4	31
3	27
2	26
1	26

المطلوب: (1) استنتاج معادلة الاستطالة وتعيين ثوابت أنوين

(2) رسم العلاقة بين طول القياس والنسبة المئوية للاستطالة

(ب) اشرح كيف يمكنك اجراء اختبار الشد لعينة من الصلب عالي المقاومة لتعيين اجهاد الضمان

(د) ذكر فقط التقييمات المختلفة لرکام الخرسانة وعرف المقصود بالدرج الحبيبي وما هو الغرض من إجراؤه ؟

مع تمنياتنا بالتوفيق أ.د/ محمد علي أبو عميرة & أ.د/ أيمن حافظ عيسى

قائمة المراجع العربية

- (1) خواص ومقاومة واختبار المواد 2020: د/ عبد الرحمن مجاهد أحمد كلية الهندسة جامعة أسيوط
- (2) علم مقاومة المواد 2016: د/ شريف فتحي الشاطبي دار الكتب العلمية
- (3) أساسيات هندسة المواد 1429 هـ: د/ عيسى مسعود يقني الناشر ادارة الاعلام والنشر المملكة العربية السعودية جامعة الاسكندرية
- (4) خواص المواد واختباراتها 2003: أ.د/ محمود امام & د/ محمد أمين وزارة التعليم العالي معهد مصر العالي للهندسة والتكنولوجيا بالمنصورة
- (5) خواص واختبارات المواد (الخرسانة) 2008: أ.د/ محمود امام كلية الهندسة جامعة المنصورة
- (6) هندسة المواد - الجزء الثاني (الاختبارات) 2008: أ.د/ أحمد سالم سلسلة المواد الهندسية وتصنيعها
- (7) خواص المواد واختباراتها 2005: أ.د/ محمود امام & د/ محمد أمين كلية الهندسة جامعة المنصورة
- (8) تكنولوجيا الخرسانة 2008: أ.د/ عبد الكريم أحمد علي العريان كلية الهندسة جامعة القاهرة & أ.د/ عبد الكريم محمد عطا كلية الهندسة جامعة عين شمس
- (9) المواد الهندسية ومقاومتها واختبار المواد د/ عبد الكريم محمد عطا & أ.د/ عبد الكريم أحمد علي العريان (1975) دار النشر: عالم الكتاب - القاهرة
- (10) خواص المواد د/ ابراهيم محمد عبد الوهاب & أ.د/ محى قناوي (1997) النشر: دار المعارف - الأسكندرية
- كتب أجنبية

Mikhail V. Zhernokletov (2007) "Material Properties under Intensive Dynamic Loading (Shock Wave and High Pressure Phenomena)"  
Springer. ISBN: 3540368442. 435 pages

دوريات ونشرات

American Society of Agricultural and Biological Engineers

موقع على شبكة الانترنت

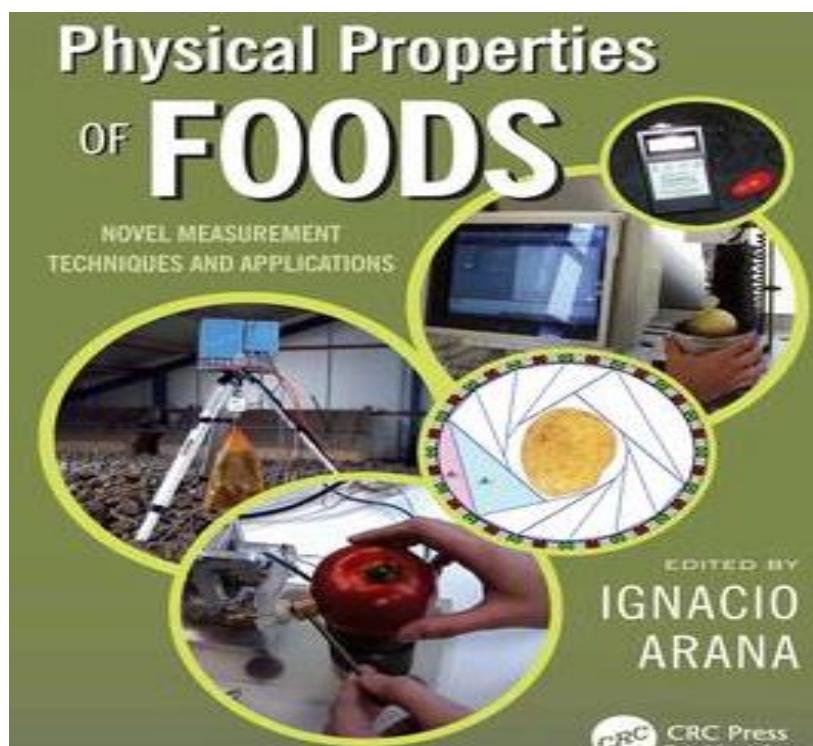
Material Properties and Testing  
[www.megaenglib.com](http://www.megaenglib.com)

تم بحمد الله  
الأستاذ الدكتور / مجد علي حسن ابو عميرة  
أستاذ هندسة الري والصرف الحقلـي وأدارة مياه الـري  
قسم الهندسة الزراعـية كلية الزراعة جامعة المنوفـية



## قسم الهندسة الزراعية والنظم الحيوية

### خواص وإختبار المواد الزراعية



إعداد

الدكتور / سعيد فتحى السيسى

استاذ مساعد الهندسة الزراعية والنظم الحيوية - كلية الزراعة - جامعة المنوفية

## محتويات الكتاب

### رقم الصفحة

### الموضوع

148	<b>الفصل الحادى عشر خواص المنتجات الحيوية</b>
150	الشكل والمقياس
168	مساحة السطح
179	الحجم والكثافة
179	المسامية
181	النشاط المائي ومحنيات الإمتزاز الرطبوى
199	معامل الاحتكاك
202	<b>الفصل الثانى عشر الخواصribولوجية للم المنتجات الزراعية</b>
205	قانون نيوتن للزوجة
210	سريان الموائع اللانيوتونى
227	أجهزة قياس الزوجة
239	إختبارات دراسة المواد الزوجة المرنة
235	الاحتكاك

## الخصائص الطبيعية للمنتجات الزراعية

# Physical Characteristics of Agricultural Products

الاهداف: فى نهاية هذا الفصل يكون الطالب قادرًا على :

- 1- معرفة خاصية الابعاد والشكل للمنتجات الزراعية
- 2- تحديد خاصية الحجم والكتافة للمنتجات الزراعية
- 3- حساب مساحة السطح للثمار
- 4- قياس خاصية المسامية للمنتجات الزراعية
- 5- حساب خاصية النشاط المائى للمنتجات الزراعية

## مقدمة:

تم تعريف الخواص الطبيعية بأنها تلك الخواص التي يمكن وصفها و/أو قياسها بطرق فيزيائية (طبيعية). ويمكن أن تشمل أيضاً الخصائص التي يمكن حسها أو ملاحظتها مثل الرائحة والطعم والنكهة واللون. وتعد هذه الخواص أساسية للمنتجات الزراعية والتي تشمل المقاس والشكل والكتلة والحجم ومساحة السطح والكتافة والمسامية والخصائص البعيدة الهندسية (الأطوال والأقطار) الطبيعية إضافة إلى المحتوى الرطبوبي والنشاط المائي. وتعد المعلومات الخاصة بها أساسية في تصميم وتطوير النظم الازمة لحصاد ومناولة وتداول وفرز ومعالجة وتصنيع المنتجات الزراعية. إضافة لذلك فإن إيجاد هذه الخواص وتحليلها إحصائياً له تطبيقات عديدة بالنسبة للمهندسين الزراعيين.

يعتبر الشكل (Shape) والمقاس (Size) والحجم (Volume) ومساحة السطح (Surface) والكتافة (Density) والمسامية (Porosity) واللون (Color) والمظهر (Appearance) (Area والقوام (Texture)، بعض الخواص الطبيعية الهامة في العديد من المسائل المتعلقة بتصميم الأجهزة أو تحليل سلوك المنتجات في عمليات مناولتها وتداولها.

يعتبر معرفة الشكل والمقاس هاماً كذلك في مسائل توزيع الجهد داخل المادة الواقعية تحت حمل ما، وعند الفصل الإلكترونيكترستاتيكي (بشحنات الكهرباء الساكنة) للبذور وحبوب الغلال، وفي حالات انعكاس الضوء وتقييم اللون وعند تطوير أجهزة التصنيف الحجمي - أي التصنيف استناداً على الحجم والمقاس. ومعرفة الكثافة (Density) للمنتجات الزراعية لها أهمية بالغة عند إجراء حسابات معامل الانبعاث الحراري (Thermal Diffusivity) المستخدم في مسائل الانتقال الحراري، وفي فصل المنتجات من الشوائب العالقة أو المواد غير المرغوب فيها إضافة إلى التنبؤ بالتركيب الطبيعي والمكونات الكيميائية.

ويمثل الشكل غير المنتظم والطبيعة المسامية لعديد من المنتجات الزراعية عائقاً يشكل صعوبة عند إجراء القياسات لإيجاد الحجم والكتافة على سبيل المثال. وعند استخدام بعض الطرق السهلة لقياس هذه الخواص، مثل استخدام إزاحة الماء لقياس الحجم، يجب إتباع جانب الحذر نسبة لاحتمال نفاذ الماء إلى داخل المادة خاصة في حالة المواد الصغيرة الحجم مثل البذور، وبالتالي الحصول على نسبة خطأ عالية في النتائج.

يعتبر النشاط المائي ( $a_w$ ) أحد أهم الخواص الطبيعية للمنتجات الغذائية ويرتبط ارتباطاً مباشراً بالمحتوى الرطبوبي (Moisture Content, M.C). وهو خاصية طبيعية أساسية وهامة وشائعة الاستخدام في مجالات الهندسة الزراعية وهندسة التصنيع الغذائي وعلوم وتقنية الأغذية حيث يعتبر معياراً لفساد الأغذية. ويعرف النشاط المائي بأنه النسبة بين الضغط الجزيئي لبخار الماء في المنتج إلى الضغط الجزيئي لبخار الماء في الماء النقي عند نفس درجة الحرارة، أي  $[a_w]$

[Equilibrium Relative Humidity, ERH] مقصومة على مائة، أي  $(ERH/100) = a_w$ . وتتراوح قيم النشاط المائي من الصفر إلى الواحد.

عند دراسة الخواص الطبيعية لحبوب الغلال والبذور والفاكهه والخضراوات والأعلاف والألياف إما باعتبار كمياتها الكبيرة (Bulk) - مثل الحبوب- أو على أساس الوحدات الفردية مثل البطيخ- نجد أنه من الأهمية بمكان الحصول على تقديرات دقيقة للشكل والمقاس والحجم والوزن النوعي والمساحة السطحية والخصائص الطبيعية الأخرى والتي تتم الاستفادة منها كمعاملات هندسية للمنتج.

وسنلهم في هذا الفصل بدراسة الخصائص الطبيعية التالية:

1. الشكل والمقاس
2. مساحة السطح.
3. الشكل والحجم
4. المسامية
5. النشاط المائي
6. خصائص العبوات الغذائية ونفاذية الأغشية البلاستيكية
7. الخواص الميكانيكية للمنتجات الغذائية والعبوات
8. اللون

## 1-2 الشكل والمقاس: (Shape And Size)

### 1-1-2 خلفية علمية:

ما هو الشكل الذي يجب افتراضه لمادة زراعية ما؟ وما هي الأبعاد التي يجب استخدامها في الحسابات؟ هذين السؤالين هما من أول الأسئلة التي يجب الإجابة عليها قبل تحليل منحنى التبريد لفاكهه ما - على سبيل المثال - أو قبل استيعاب كيفية فصل البذور والحبوب الزراعية من الشوائب العالقة بها باستخدام الدفع بالهواء أو غير ذلك.

هناك العديد من المنحنيات والأشكال الهندسية المتوفرة لحل مسائل الانتقال الحراري غير المستقر في المواد الهندسية، هذه الأشكال والمنحنيات توضح مدى أهمية الحصول على تقديرات دقيقة للشكل وللأبعاد المتعلقة به الخاصة بهذه المواد الهندسية قبل استخدام هذه الخرائط والمنحنيات لحل مسائل الانتقال الحراري في هذه الأجسام. وكما هو معلوم من دراستنا لأساسيات الانتقال الحراري غير المستقر فقد تم إيجاد الحلول الهندسية بالنسبة للأجسام الهندسية المنتظمة الشكل كالأشكال الكروية أو الأسطوانية أو التي على شكل متوازي مستطيلات وغيرها. وعليه يمكننا افتراض الشكل الكروي لبعض المنتجات الزراعية

مثل التفاح والبرتقال أو وضع المنتج الزراعي - مثل الحبوب والأعلاف - في أوعية أسطوانية أو على شكل متوازي مستطيلات قبل إجراء عمليات تسخينها وتبريدها.

وفي عمليات نقل المواد الصلبة باستخدام الهواء أو الماء يعتبر افتراض شكل المادة الملائم من معاملات التصميم الهامة. فالتقدير الدقيق للمساحة المواجهة (Frontal area) والأقطار (Diameters) المتعلقة بها، لها أهمية بالغة عند إيجاد السرعة النهائية (Terminal Velocity) ومعامل الانجرار (Drag Coefficient). ورقم رينولدز (Reynolds Number)

ويعتبر معرفة الشكل والمقاس هاماً كذلك في مسائل توزيع الجهد داخل المادة الواقعية تحت حمل ما، وعند الفصل الإلكتروني لبذور وحبوب الغلال، وفي حالات انعكاس الضوء وتقييم اللون وعند تطوير أجهزة التصنيف الحجمي - أي التصنيف استناداً على الحجم والمقاس.

ويتمثل الشكل غير المنظم والطبيعة المسامية لعديد من المنتجات الزراعية عائداً بشكل صعوبة عند إجراء القياسات لإيجاد الحجم والكتافة على سبيل المثال. وعند استخدام بعض الطرق السهلة لقياس هذه الخواص، مثل استخدام إزاحة الماء لقياس الحجم، يجب إتباع جانب الحذر نسبة لاحتمال نفاذ الماء إلى داخل المادة خاصة في حالة المواد الصغيرة الحجم مثل البذور، وبالتالي الحصول على نسبة خطأ عالية في النتائج.

ومن الصعوبة الفصل بين خاصيتي الشكل والمقاس (دالة الأبعاد)، حيث أن لكليهما أهمية عند وصف أي جسم فизيائي. وعند تعريف الشكل يتعين قياس بعض المعاملات البعدية للجسم.

## 2-1-2 طرق قياس الشكل والمقاس: *Criteria For Describing Shape And Size*

### (1) المقارنة بأشكال قياسية (Charted Standards)

في هذه الطريقة يتم مقارنة شكل المنتجات الزراعية (مثلاً باستخدام الرسم الاستشفافي للمقاطع الطولية والجانبية للمنتج) بأشكال قاسية مثل تلك الموضحة في المخطط (شكل 1) والذي يوضح أمثلة لمواصفات قياسية للتفاح والخوخ والبطاطس. وباستخدامنا لهذه الخرائط القياسية نستطيع تعريف شكل المنتج إما باستخدام رقم من الخريطة أو عن طريق التعبيرات الوصفية مثل التعبيرات التالية والتي تم الاتفاق عليها بين مزارعي وتجار المنتجات الزراعية كالفاكهه والخضروات كما في جدول (2).

جدول (2). بعض الأشكال القياسية (النسبية) للمنتجات الزراعية.

الوصف	الشكل
-------	-------

يقارب الشكل الكروي (Spheoid)	1- مستدير (Round)
منبسط عند نهاية الساق وفي قمة الجزء الأعلى.	2- مفلطح (منبطح عند القطبين) (Oblate)
القطر الرأسي أكبر من القطر الأفقي.	3- مستطيل الشكل (Oblong)
حاد في اتجاه القمة.	4- مخروطي الشكل (Conic)
بيضاوي الشكل وعربيض عند نهاية الجذع.	5- بيضاوي (Ovate)
المحاور الموصلة بين الجذع والقمة مائلة.	6- منكفي (مائل إلى جنب) (Lopsided)
بيضاوي مقلوب.	7- بيضاوي مقلوب (Obovate)
مقارب للجسم الإهليجي.	8- إهليجي (ناقص المقطع) (Elliptical)
النهايات مربعة الشكل أو مسطحة.	9- أقطع (أبتر) (Truncate)
أحد نصفي الجسم أكبر من الآخر.	10- غير متساوي (Unequal)
جوانب المقطع مقاربة للاستقامة.	11- مُضلع (Ribbed)
المقطع الأفقي مقارب للشكل الدائري.	12- منتظم (Regular)
المقطع الأفقي غير مقارب للشكل الدائري.	13- غير منتظم (Irregular)

والمقارنة بالنظر لشكل الجسم مع المخططات القياسية تعتبر طريقة سهلة ولكن موضوعيتها تعتمد على الحالة النفسية الطبيعية للمقارن والتي تختلف من شخص أو مراقب إلى آخر وهذا قد يؤدي إلى نتائج متباعدة (تقييم حسي). وإمكانية الحصول على نتائج مقبولة التطابق (Reproducible results) يتطلبأخذ جانب الحذر والاعتماد على مراقبين أو أشخاص متخصصين. ويمكن تطبيق هذه الأشكال القياسية عند الفرز والتدرج وكذلك كأحد معايير الجودة ويتم تزويد عمال الفرز بها للاستدلال على معيار الفرز والتدرج.

النوع		بقطط		ذكور		إناث	
مقطع عرضي	مقطع طولي						
مستدير	مستطيل	مستطيل	مستطيل	مستدير	مستطيل	مستطيل	مستطيل
متلقم							
متلطي							
غير منتظم							
منتظم							
مستطيلي							
متلطي							
غير منتظم							
منتظم							
مستطيلي							
متلطي							
غير منتظم							
منتظم							
مستطيلي							
متلطي							
غير منتظم							
منتظم							
مستطيلي							
متلطي							
غير منتظم							

شكل (1) أمثلة للأشكال الفيزيائية المستخدمة لوصف شكل ثمار البطاطس والخوخ والتفاح.

(2) التشابه مع أجسام هندسية معلومة المساحة والحجم

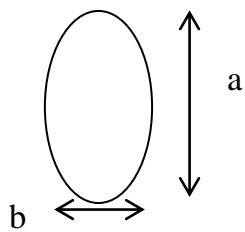
في بعض الأحيان يمكننا تقريب أشكال بعض المنتجات لأحد الأشكال الهندسية المنتظمة المعروفة ككيفية حساب المساحة والحجم لعدة أشكال منها الكرة، المكعب، متوازي المستويات، الاسطوانة، وغيرها. مثل:

أ- الشكل الكروي المدبب (Prolate Spheroid) والذي يتكون عندما يدور الشكل الاهليجي حول محوره الأساسي، مثل الليمون (Limon). ويمكن استخدام المعادلات الرياضية التالية لتقدير الحجم (V) ومساحة السطح (S) كما يلى:

- ب-

$$V = \frac{4}{3}(\pi ab^2); S = 2\pi b^2 + 2\pi \frac{ab}{e} \sin^{-1} e$$

حيث a و b يمثلان شبه المحاور الأساسية والثانوية على الترتيب، و e ثابت ( eccentricity ) ويساوى:



$$e = \left[ 1 - \left( \frac{b}{a} \right)^2 \right]^{0.5}$$

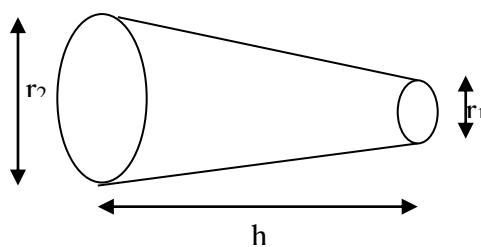
ت- الشكل الكروي المفلطح عند القطبين ( Oblate Spheroid ) والذي يتكون عندما يدور الشكل الإهليلجي ( Ellipse ) حول محوره الثانوي ( Minor Axis )، مثل الجريب فروت ( Grape fruit ) والطماطم. ويمكن استخدام المعادلات التالية للحجم V ومساحة السطح S :

$$V = \frac{4}{3}(\pi a^2 b) \quad (1)$$

$$S = 2\pi a^2 + \pi \frac{b^2}{e} \log e \left( \frac{1+e}{1-e} \right)$$

ج- الشكل المخروطي الدائري المستقيم ( Right Circular Cone ) أو الشكل الأسطواني مثل الجزر أو الخيار ( Cucumbers ). ويمكن استخدام التعابيرات الرياضية التالية:

$$V = \frac{\pi}{3} h (r_1^2 + r_1 r_2 + r_2^2); S = \pi (r_1 + r_2) [h^2 + (r_1 - r_2)^2]^{0.5} \quad (2)$$



حيث:

$r_1$  = نصف قطر قاعدة المخروط الدائري.

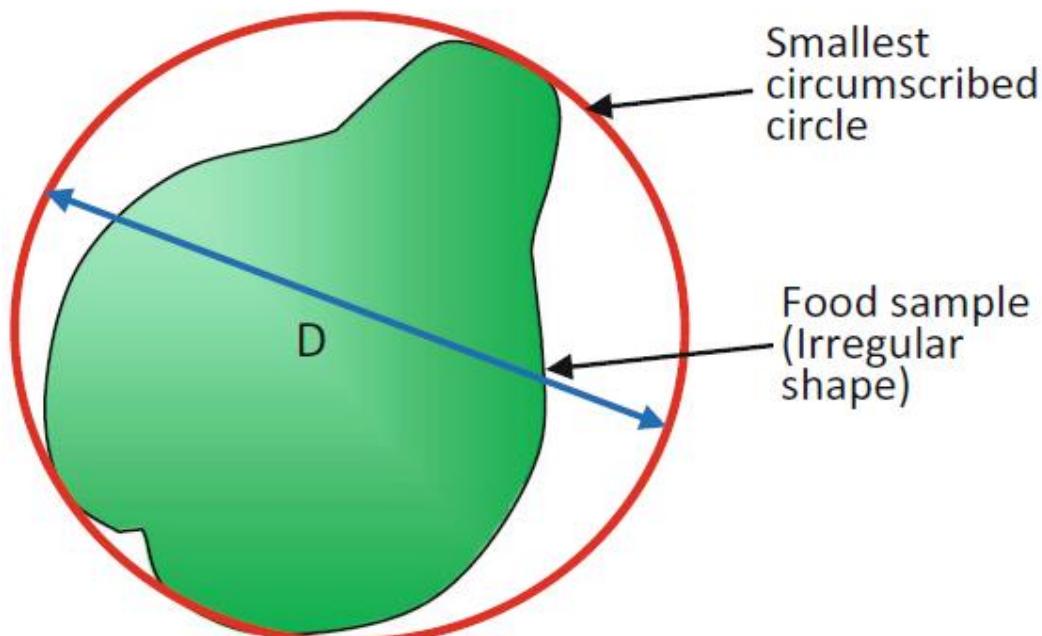
$r_2$  = نصف قطر قمة (الجزء الأعلى) للمخروط الدائري.

$h$  = ارتفاع (طول) المخروط الدائري.

وبعد حساب الحجم ومساحة السطح من المعادلات السابقة يمكن مقارنة ذلك بإيجاد الحجم الفعلي ومساحة السطح الفعلي للمنتج الزراعي تجريبياً (بإجراء تجارب عملية) وبمقارنتها بالنتائج العملية باستخدام المعادلات والحصول على معامل تصحيح (Correction Factor). ويمكن استناداً عليه استخدام المعادلات الرياضية مع هذا المعامل لإجراء حسابات تقييم الشكل لهذا الصنف المعين من المنتج. وتتجدر الإشارة إلى أن هناك العديد من الأشكال الهندسية المختلفة التي يمكن حساب حجمها ومساحتها مدرجة في عدد من المراجع الهندسية.

### (3) تقدير كروية (Sphericity) الثمار:

الأساس الهندسي لمفهوم الكروية (أو مدى الكروية) يستند على خاصية التساوي المحيطي للكرة. هناك عدة طرق لقياس مدى الكروية منها:

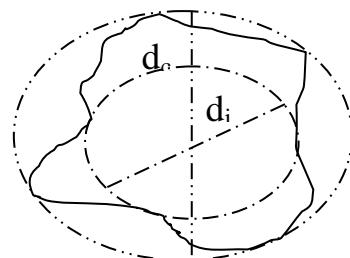


#### (أ) مدى الكروية (بأصغر وأكبر دائرة):

يمكن تعريف مدى الكروية (بدالة أصغر وأكبر دائرة) بالتعبير التالي:

$$d_i / d_c = \text{مدى الكروية} \quad (4)$$

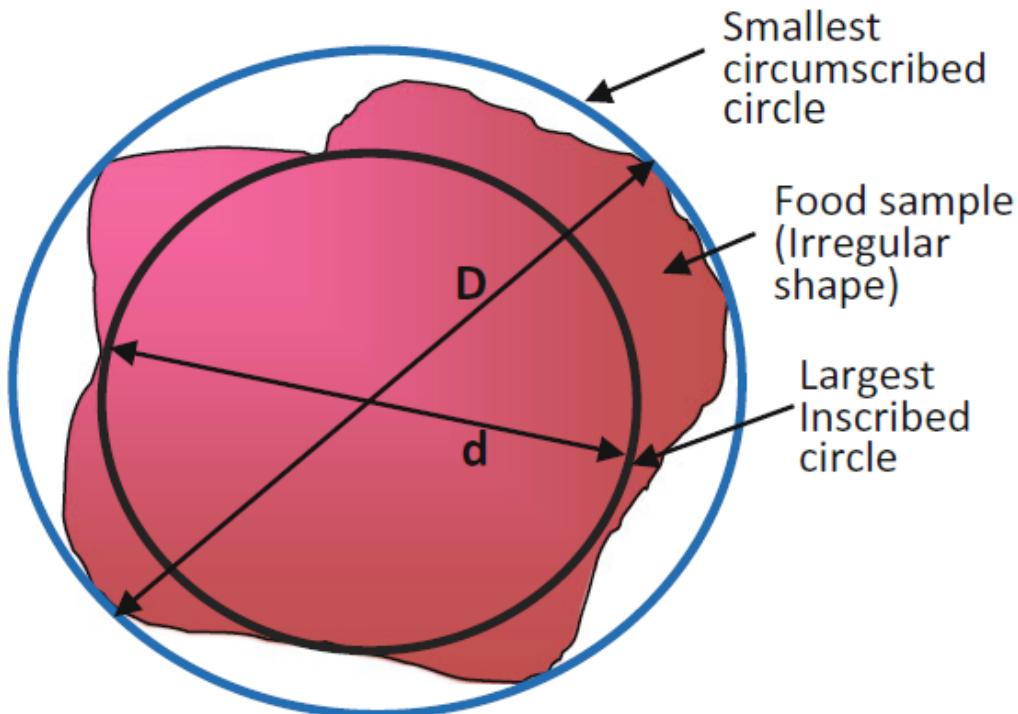
حيث:



$d_o$  = قطر أكبر دائرة محاطة من الداخل.  
 $d_c$  = قطر أصغر دائرة محاطة من الخارج.

والأبعاد كما هي في شكل (2).

شكل (2) أبعاد الكروية (طريقة أ)



ويعتبر هذا التعريف أبسط طرق تقدير الكروية. والجدول (3) يوضح مدى الكروية بهذه الطريقة لبعض الفواكه.

مدى الكروية (%)	المنتج	م
%90	تفاح ماكينتوش	1
%92	تفاح مليبا	2
%92	تفاح ذهبي	3
%92	تفاح أحمر	4
%90	تفاح ستايمان	5
%89	تفاح روماني	6
%90	التوت الأزرق	7

%95	الكريز	8
%93	الخوخ الأحمر	9
%97	خوخ البرتا	10
%89	كمثرى ماكسين	11

جدول (3). مدى الكروية لبعض الفواكه (طريقة أ).

(ب) مدى الكروية (المكافئة): تعبّر معادلة مدى الكروية الرياضية التالية

عن شكل جسم صلب مقارنة بكرة ذات حجم مساوٍ له.

$$d_e / d_c = \text{Sphericity} \quad (3)$$

حيث:

$d_e$  = قطر كرة ذات حجم مساوٍ لحجم الجسم ( $V_e = 4/3 \pi r_e^3$ )

$d_c$  = قطر أصغر كرة تحيط بالجسم أو عادةً أكبر قطر للجسم.

(ج) مدى الكروية (الشكل إهليجي): بافتراض أن حجم الجسم الصلب يساوي حجم إهليجي تقاطعاته (a ،

b و c ) وأن قطر الكرة المحيط هو خط التقاطع الأكبر (a ) للشكل الإهليجي فإنه كذلك يمكن

التعبير عن مدى الكروية بالمعادلة أدناه:

$$\text{مدى الكروية} = ( \text{حجم الجسم الصلب} / \text{حجم الكرة المحيطة بالجسم الصلب} )^{0.33}$$

$$\begin{aligned} \text{Sphericity} &= (\text{مدى الكروية}) = \left( \frac{\text{Volume of Solid}}{\text{Volume of Circumcribed Sphere}} \right)^{1/3} \\ &= \left( \frac{(\pi/6 \ a b c)}{(\pi/6)a^3} \right)^{1/3} \end{aligned} \quad (5)$$

$$= \left( \frac{b c}{a^2} \right)^{1/3}$$

$$= \frac{\text{Geometric mean diameter}}{\text{Major diameter}}$$

= القطر الهندسي المتوسط/ القطر الأكبر

$$= \frac{(a b c)^{1/3}}{a} \quad (6)$$

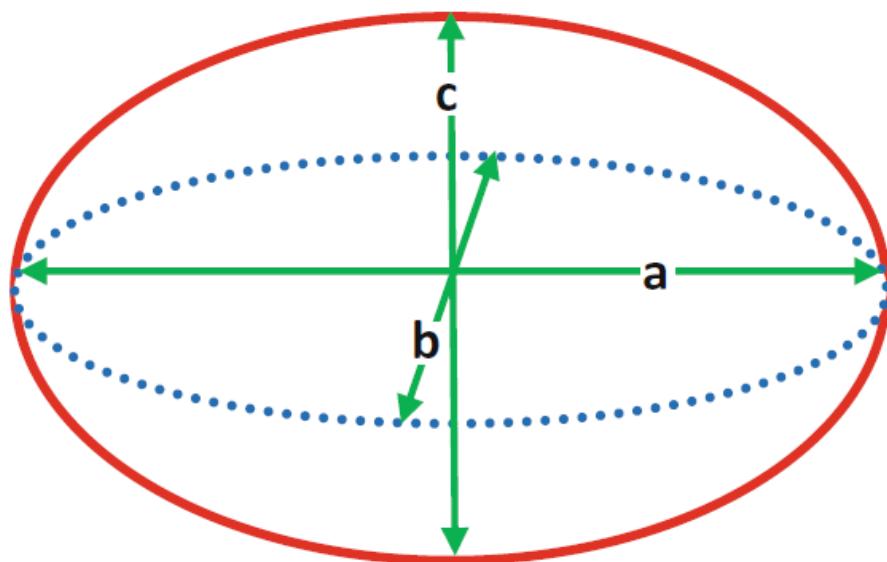
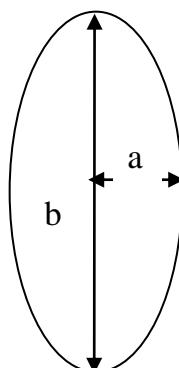
حيث:

التقطاع الأكبر (الارتفاع). = a

التقطاع الأكبر المتعامد على a (القطر الأكبر). = b

التقطاع الأكبر المتعامد على a و b. (القطر الأصغر) = c

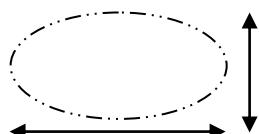
وليس بالضرورة أن تتقاطع التقطيعات مع بعضها في نقطة واحدة.



(د) مدى الكروية (القطر/الارتفاع) لجسم مدبب

اقرر هذه الطريقة الحمدان وحسن (1427هـ) وهي حالة خاصة من التعريف الأول وذلك للمنتجات الشبيهة بالتمور مثل ثمار الأصناف المدببة كالسكري ونبوت السيف.

$$\frac{d}{L} = \text{Sphericity} \quad (7)$$

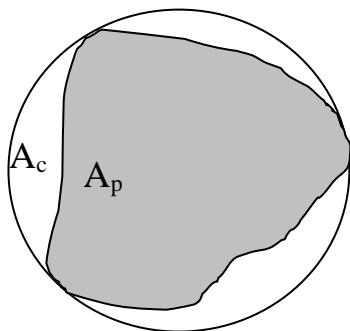


حيث d أكبر قطر في الثمرة و h طول الثمرة.

#### حساب استدارة (Roundness) (الثمار: (4)

تعتبر الاستدارة مقياساً لمدى حدة زوايا الجسم الصلب ولقد أقترح طرق كثيرة لتقديرها، وسنستعرض هنا أكثر هذه الطرق استخداماً فيما يلي.

##### أ. الطريقة الأولى لتقدير الاستدارة:



$$\text{Roundness} = A_p / A_c$$

حيث:

$A_p$  = المساحة المتساقطة الكبرى للجسم في حالة سكونه الطبيعية.

شكل (3) الاستدارة (1)

$A_c$  = مساحة أصغر دائرة تحيط بالجسم، كما في الشكل (3).

##### ب. الطريقة الثانية لتقدير الاستدارة:

$$\text{Roundness} = \sum r / nR$$

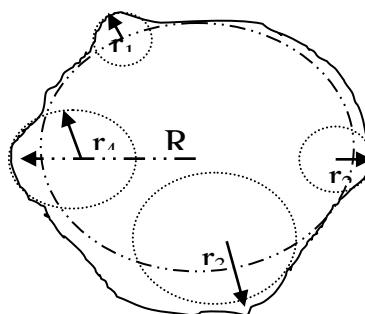
حيث:

$r$  = نصف قطر الانحناء كما هو موضح في الشكل (4)

$R$  = نصف قطر أكبر دائرة يمكن أن تحيط بالجسم من الداخل.

$n$  = العدد الكلى لزوايا التي تم من خلالها تحديد أنصاف

أقطار ( $r$ ) الانحناءات والتي تم جمعها في البسط ( $\sum r$ )

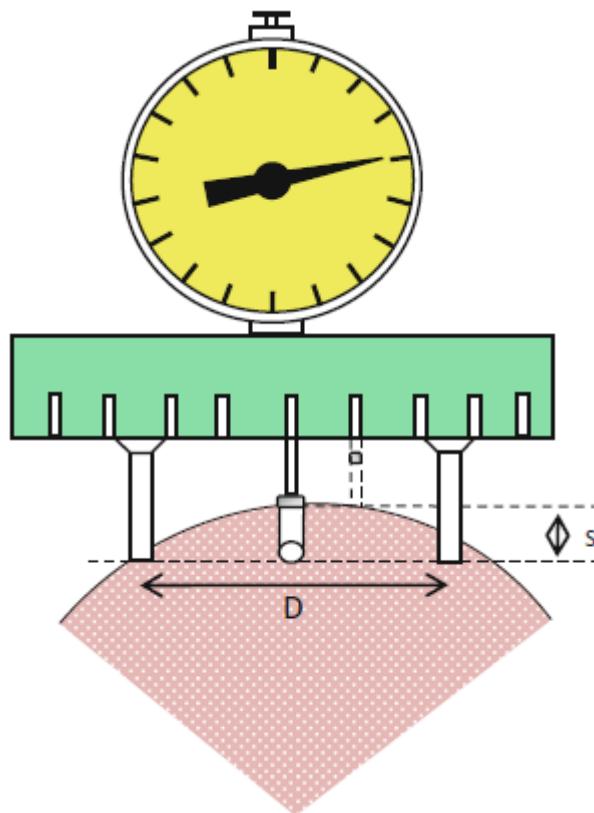


شكل (4) الاستدارة (2)

نصف قطر الانحناء

$$\text{Radius of curvature} = \frac{(D/2)^2 + S^2}{2S}$$

حيث  $D$  و  $S$  هما التباعد بين الدبابيس (م) والارتفاع للسهم (م)، على التوالي.



ج. الطريقة الثالثة لقياس الاستدارة: "نسبة الاستدارة"

$$\text{Roundness Ratio} = r_s / R_{\text{ave}}$$

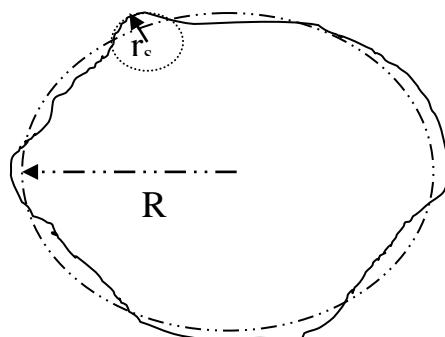
حيث:

( $R_{\text{ave}}$ ) في هذه الحالة هو نصف قطر المتوسط للجسم

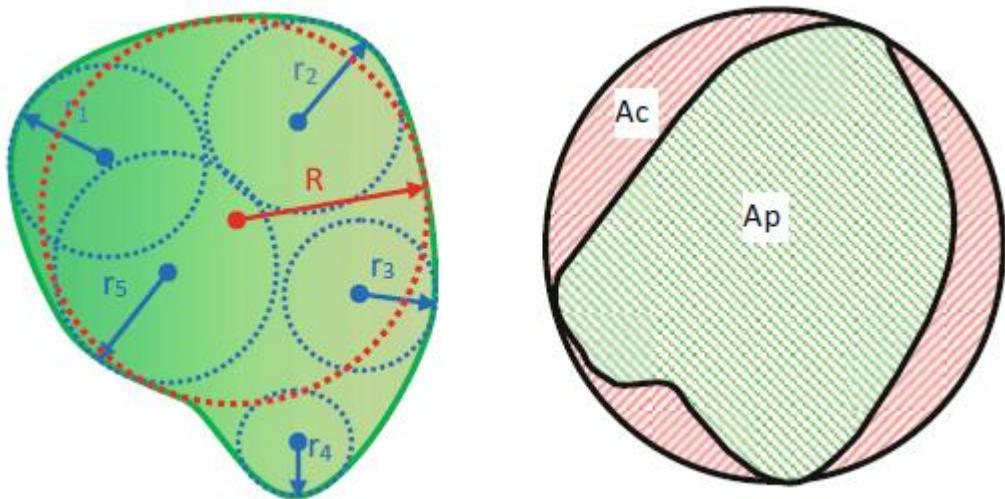
( $r_s$ ) هو نصف قطر الانحناء لأكثر الزوايا حدةً.

حيث أن نصف قطر الانحناء لزاوية منفردة يمكن من إيجاد مدى الدائرية (الاستدارة) أو التسطح، كما في

شكل (5).

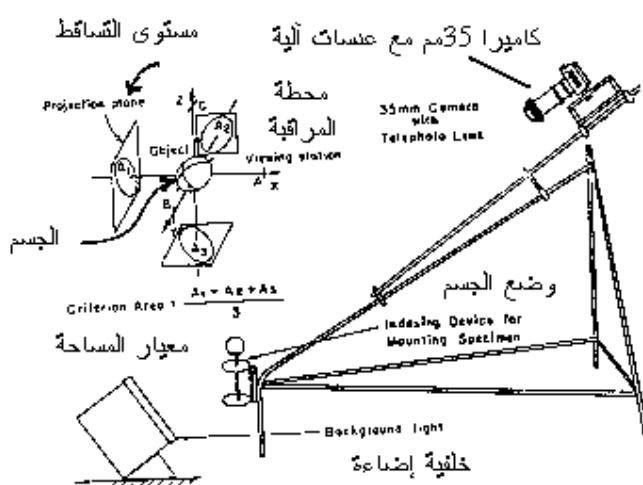


شكل (5) نسبة الاستدارة



### (5) المساحة المتساقطة المتوسطة : (Average Projected Area)

عند تصميم جهاز لتدريب الليمون (استناداً على المقاس) اقترح الباحث هوستن (Houston) معياراً للمقاس وعرفه بأنه مسقط المساحات المتساقطة والذي تم أخذها على طول ثلاثة أبعاد محورية متعمدة. هذا المعيار والذي يرجع له على أنه معيار المساحة  $A_c$  كما في شكل (6).



شكل (6) وضع نظام التصوير لتسجيل معيار المساحة (الجزء العلوي الأيسر) للفاكهة والخضروات في العديد من الاتجاهات.

ولاختبار مدى دقة هذا المعيار تم إيجاد علاقة بين متوسط المساحة المتساقطة الحقيقية  $A$  (وذلك بأن يؤخذ في الاعتبار كل الاتجاهات الممكنة للتساقط) إضافة إلى حجم الجسم. ومن حجم الجسم الذي يتم حسابه استناداً على  $A$  نستطيع مقارنته بذلك مع الحجم الفعلي الذي يتم إيجاده تجريبياً. واستناداً على نظرية الأجسام المحدبة (Convex bodies) يمكن التعبير عنها بالعلاقة الرياضية التالية:

$$\frac{V^2}{S^3} \geq \frac{1}{36\pi}$$

حيث:

$V$  = الحجم و  $S$  مساحة السطح للجسم الممكع.

وقد وُجد أن متوسط المساحة المتتساقطة  $A$  تساوي ربع المساحة السطحية أي أن  $A = 4V$  ،

وبالتعويض في المعادلة السابقة نحصل على الآتي:

$$A \leq \left( \frac{9\pi}{16} \right)^{0.33} \cdot V^{0.66}$$

$$A \leq K V^{0.66}$$

أو

حيث  $K$  ثابت.

بالنسبة للشكل الكروي المنتظم نجد أن:

$$K = \left( \frac{9\pi}{16} \right)^{0.33} = 1.2$$

وعند استخدام المعادلة السابقة يجب أن تؤخذ في الاعتبار القيود التالية:

(1) رمز التساوي (=) ينطبق فقط في حالة الأشكال الكروية المنتظمة.

(2) الثابت ( $K$ ) الذي لا وحدات له يتغير مع الأبعاد المميزة للجسم (Characteristic Dimensions).

ولكن لاحتفاظ بقيمة  $K$  ثابتة بشكل معقول يتغير تعريف الشكل الملائم لكل منتج بحيث تقع

معاملات الشكل (Shape Factors) للعينات داخل حدود معينة.

(3) التغير في  $A_c$  كما في شكل (7)، بالنسبة للاتجاهات الحرجة (Unrestricted Orientation) كبير جداً

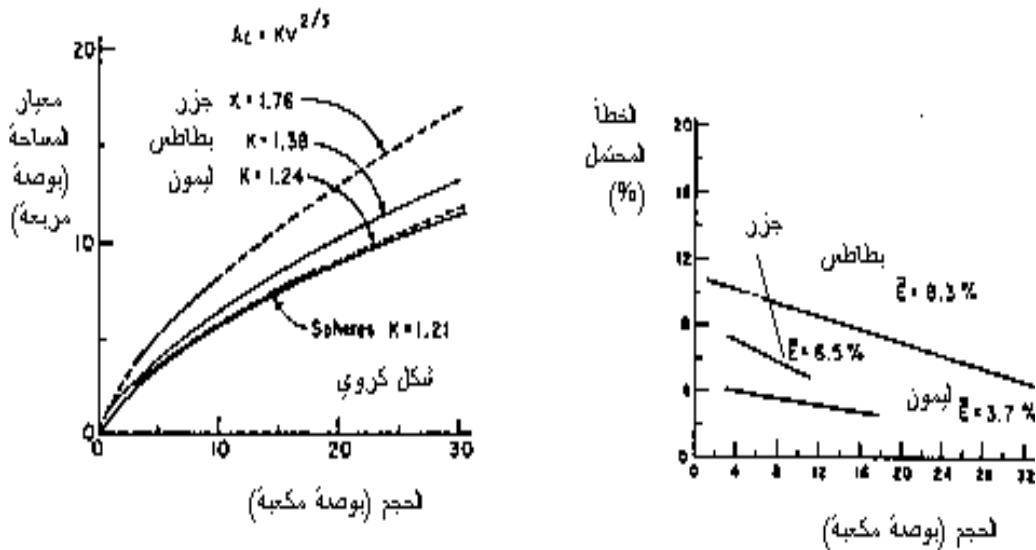
ولا يبشر بالحصول على مقاييس مقبول للحجم، ورغمًا عن ذلك يمكن تخفيض مدى هذا التغير لمستوى

مقبول بوضع الجسم في حالة ساكنة والحصول على ثلاثة محاور للتساقط من زوايا متساوية مع

السطح الأفقي. وتحدث حالة الاتجاه الحر عندما يمر الجسم خلال وحدة القياس في جهاز التدرج وهو

في حالة وقوع حر.

ونلاحظ أنها كذلك طريقة أخرى لتقدير مدى الكروية، كما هو في المنحنيات التالية:



شكل (7): العلاقة بين معيار المساحة والحجم للجزر والليمون والبطاطس بالمقارنة لمنحنى الشكل الكروي (يسار). (يمين) الخطأ المحتمل (Probable Error) في قياس الحجم استناداً على  $A = KV^{0.66}$  والحجم الفعلي.

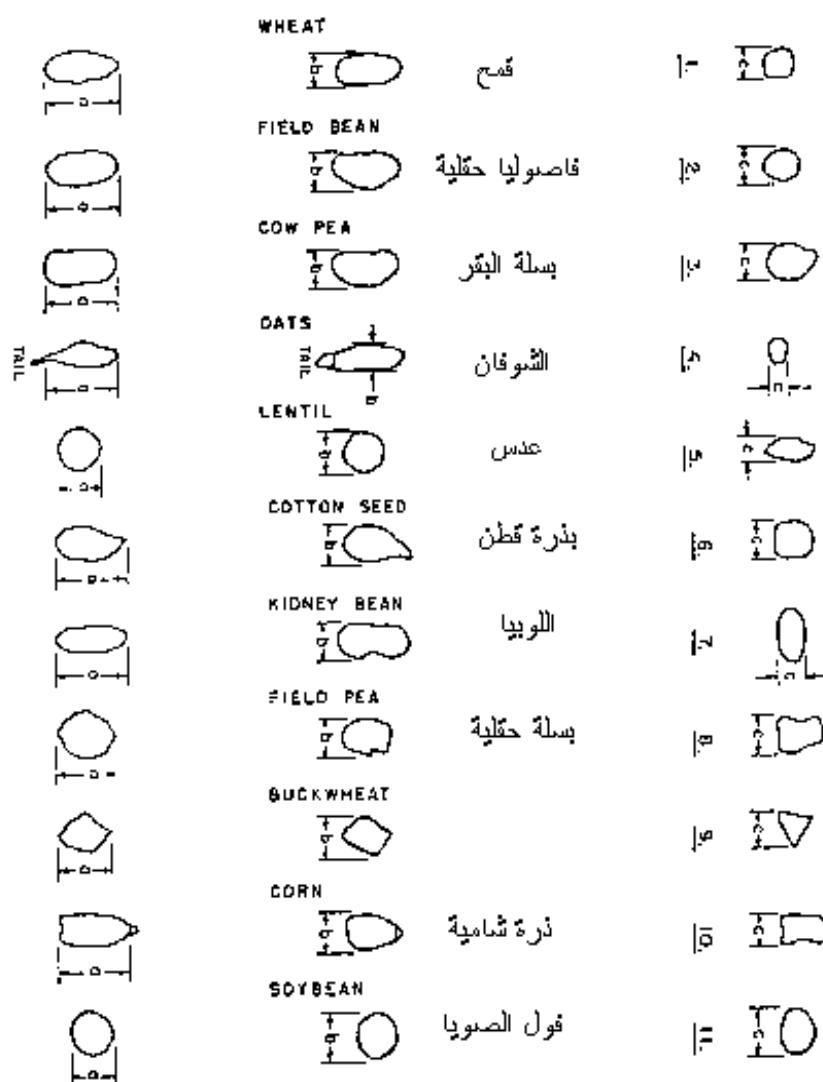
وقد تم الحصول على قياسات لمنتجات متعددة وتم إيجاد قيم  $K$  لليمون والبطاطس والجزر كما في شكل (11). ومن المنحنيات يتضح أن الليمون يمثل شكلاً أقرب إلى الشكل الكروي بينما يمثل الجزر شكلاً مطاولاً (Elongated). وتقع بين هذين الشكلين منتجات مثل البطاطس والطماطم والتفاح والكمثرى والبرقوق. وبصيغة أخرى فإن المنحنيات التي تم رسمها للجزر والشكل الكروي تحدد المدى الذي تقع فيه الأشكال والتي يتبعن على آلة التدرج التعامل معها. ويوضح الشكل (8) كذلك الخطأ المحتمل في التنبؤ بالحجم مقارنة بالحجم الحقيقي. ويلاحظ من الشكل أن التغير الكبير في الأبعاد المميزة لمنتجات مثل البطاطس تؤدي إلى متوسط كبير للخطأ المحتمل. كذلك يلاحظ أنه كلما صَرُّ مقياس الجسم يزداد متوسط الخطأ المحتمل.

#### (6) تكبير الأجسام الصغيرة (مثلاً الحبوب) لقياس الأبعاد المحورية وإيجاد أحجامها:

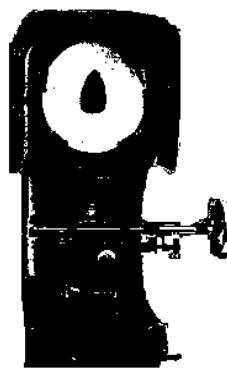
بالنسبة للأجسام الصغيرة مثل البذور نجد أنه يمكن تحديد مساقط كل عينة باستشافها عن طريق استخدام التكبير الفوتوغرافي. توضع الحبة على السطح الذي يوجد عليه الفلم الحساس ويتم تحريك الحبة بحيث يغطي ظلها أكبر مساحة ممكنة. ثم يُركز المكرو بؤريًا حتى يعطي حدوداً واضحة. وهناك تدرج بالملليمترات يعمل على استشاف صورة الحبة. ثم ثُحرك الحبة لتعطي المساحة المتتساقطة الصغرى بحيث يكون بُعدها الأطول مساوياً للبعد الأطول للمساحة المتتساقطة الكبرى. وبعد استشاف المساحات المتتساقطة الصغرى والكبرى يتم قياس المحاور  $a$  و  $b$  و  $c$  من الرسومات التي تم الحصول عليها. المحاور  $a$  و  $b$  يتم قياسها من رسومات المساحة الكبرى. ويمكن استخدام مجموعة مساطر متوازية لرسم مماسات في حدود

رسومات الحبة في أضيق مساحات الاستشفاف ورسم خطوط عمودية على هذه المماسات. المحور a هو أطول الواجهات المستطيلة والمحور b هو أقصرها. ويمكن إتباع نفس الطريقة في حدود رسومات الحبة للمساحة المتساقطة الصغرى لإيجاد المحور c . الشكل (9) يوضح الشكل والمحاور الثلاثة a و b و c للبذور والحبوب والتي تم إيجادها بالطريقة أعلاه.

وهناك طريقة أسرع وأكثر دقة وتعتمد على استخدام جهاز راسم الظل (Shadowgraph) كما هو واضح في شكل (10). وفي هذا الجهاز يتم استخدام عدد اثنين ميكروميترا (Micrometer) لمساعدة في القياس المباشر لأبعاد محورين في الحالة الساكنة أو أي حالة أخرى للبذرة على سبيل المثال. ويمكن الحصول على استشفاف حدود البذرة من ظل البذرة على الزجاج الأرضي للجهاز. كما يمكن أيضاً استخدام جهاز العرض الزجاجي لتكبير الصورة من على الورقة الشفافة على شاشة مقابلة.



شكل (9) استشفاف الشكل وتحديد التقاطعات الثلاثة للبذور والحبوب والتي تم إيجادها بالتكبير الفوتوغرافي.



شكل (10) راسم الظل نيكون (Nikon Shadowgraph) والذي يستخدم لقياس شكل ومقاس البذور.

#### (7) تقدير معاملات الشكل والمقياس معدلات رياضية تجريبية:

في بعض التطبيقات التي يؤثر الشكل والمقياس على عملياتها يمكن التعبير عنها بالعلاقة التالية:

$$I = f (sh, s) \quad (9)$$

حيث يتأثر ( $I$ ) معامل بالشكل ( $Sh$ ) والمقياس ( $S$ ). وفي التطبيقات الأخرى قد يتأثر المعامل ( $I$ ) ليس بالشكل والمقياس وحدهما بل بمعاملات أخرى مثل الاتجاه ( $O$ )، ومعامل الحشو ( $P$ )، ومعامل التماسك ( $F$ ) (Firmness) (Packing Index) وغيرها.

$$I = f ( Sh, S, O, P, F, \dots ) \quad (10)$$

**إيجاد العدد اللازم من فاكهة ما لملء صندوق:**

لتقدير عدد الفاكهة في عبوة يمكن تعويض ( $Y$ ) (بدلاً من ( $I$ ))، و( $x_1$ ) للشكل و( $x_2$ ) للمقياس و( $x_3$ ) للاتجاه و( $x_4$ ) لمعامل الحشو و( $x_5$ ) لمعامل التماسك في المعادلة السابقة. وبالتالي يمكن كتابة المعادلة الحدية المتعددة التالية:

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 \quad (11)$$

ويمكن الحصول على قيم هذه العلاقة بأخذ القياسات اللازمة لمجموعة من أعداد المنتج والحصول على قيم تغير  $x$  مع  $Y$  لكل معامل وتقديرها باستخدام التحليل التغيري (Analysis of Variance) وعلاقات الارتباط المتعدد (Multiple Correlation) باستخدام برامج إحصائية مثل (SAS) أو برامج جداول الكترونية مثل (Excel).

**إيجاد حجم بذور بدلالة الأبعاد:**

تعتبر البذور وحبوب الغلال والفاكهة والخضروات منتجات زراعية غير منتظمة الشكل ولكن يمكن معملياً أخذ قياسات عديدة للمحاور المترادفة لها. ويزداد عدد هذه القياسات اللازمة بازدياد عدم الانظام في الشكل. لذلك نجد أنه من الأهمية بمكان معرفة القاعدة التي يجب استخدامها لاتخاذ القرار السليم فيما يختص بالعدد اللازم من القياسات للتعریف الكامل بتكوین الجسم أو المنتج المعنی. وأحد هذه القواعد هو إيجاد علاقة بين حجم الجسم المعنی ومحاوره الملائمة، وعلى سبيل المثال بالنسبة للأجسام الكروية الشكل نستطيع الحصول على العلاقة التالية:

$$V = (a_1)^{b_1} (a_2)^{b_2} (a_3)^{b_3} \dots (a_n)^{b_n} \quad (12)$$

حيث  $V$  هو حجم الجسم و  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$  هي أقطار هذا الجسم التي تستخدم كمعيار للمقاس. وبأخذ اللوغاريتم العشري للمعادلة (4-2) نحصل على المعادلة الخطية التالية:

$$\log V = b_1 \log a_1 + b_2 \log a_2 + b_3 \log a_3 + \dots + b_n \log a_n \quad (13)$$

وباستخدام طريقة الانحسار الخطي المتعدد (multiple linear regression) - وهي طريقة إحصائية مشهورة - نستطيع إيجاد علاقة كمية بين الحجم  $V$  والمحاور المترادفة  $a$  ومدى مشاركتها في قيمة الحجم والذي يمكن إيجاده عن طريق استخدام طريقة التحليل التغیري (Analysis Of Variance).

**مثال 1**

معملياً، أوجد شكل وحجم حبوب الذرة الشامية المجففة بدلالة أبعادها من سنبلة (كوز ذرة) وكذلك من عدة أكواز.

تم أخذ عدد خمسين (50) حبة من حبوب الذرة الشامية ومن ثم قياس محاورها الأساسية والثانوية والمتوسطة إضافة إلى الوزن والنوعي لكل حبة. وقد تم اعتبار حجم الحبة كأحد المعاملات التي تُعرف شكل حبة الذرة وتم اعتبار قياسات المحاور الثلاثة المترادفة كمعيار لمقاس حبة الذرة. ولقد تم أيضاً الحصول على علاقة بين الشكل (Shape) والمقاس (Size) والوزن (Weight) والنوعي (Specific Gravity) لقطاعات مختلفة في سنبلة الذرة الشامية (كوز الذرة بأكمله) لنفس الصنف ولخلط من أصناف مختلفة كما هو واضح في جدول (4).

يمكن من الجدول (3) ملاحظة التغیر (Variance) في الأبعاد المحورية للعينات المأخوذة من المقطع الأوسط لعدة أكواز ذرة صفراء (سنابل الذرة الشامية) من نفس الصنف بالمقارنة للعينات المأخوذة من كوز الذرة بأكمله - وليس المقطع الأوسط فقط - لنفس الصنف أو العينات المأخوذة من أكواز الذرة بأكملها لأصناف متعددة. كما يلاحظ أن معامل الارتباط (Correlation Coefficient) بين الحجم والأبعاد المحورية أعلى بالنسبة للصنف الواحد بالمقارنة لخلط من أصناف متعددة.

ويستخلص من هذه التجربة أنه في حالة اعتبار أن تقديرات الحجم تمثل معياراً جيداً فإنه بقياس ثلاثة أبعاد محورية (a, b and c) يمكن الحصول على المعلومات اللازمة لإيجاد الشكل والمقاس للمنتجات الزراعية غير المنتظمة مثل حبات الذرة الشامية الصفراء.

#### (8) تقدير الشكل والمقاس عن طريق الحاسب الآلي وكاميرا ثلاثية الأبعاد:

في هذه الطريقة يتم تقدير الشكل وحساب المساحة أو الأبعاد باستخدام كاميرا أو ماسحة ضوئية ومن ثم التمييز باختلاف لون العينة عن الخلفية، أو تتم بالقياس المباشر عن طريق العرض على الشاشة وتتبع وقياس الأبعاد المطلوبة.

#### خلفية علمية

معرفة مساحة السطح لبعض الأجزاء من النباتات مثل الأوراق ومساحة سطح الفاكهة تعتبر من المعلومات الهامة لعلماء النبات ومهندسي مناولة وتصنيع المنتجات. وتعتبر مساحة سطح الأوراق مؤشراً لعدة تطبيقات، ومنها:

1. سعة التمثيل الضوئي، ومعدل الإنبات للنبات. وقياسه له أهمية في الدراسات المتعلقة بتنافس النباتات للحصول على الضوء والمواد الغذوية وعلاقات النبات والتربة والماء
2. في مكافحة الآفات للحصول على معدلات رش مبيدات الحشرات والفطريات. وبطبيعة الحال فإن مساحة سطح الفاكهة لها أهمية بالغة في الدراسات المتعلقة بالمساحات اللازمة لتغطيتها في عمليات الرش وإزالة الرواسب الناتجة عن الرش.
3. معدلات التنفس والعمليات الحيوية الأخرى. وكذلك خصائص أخرى مثل انعكاس الضوء وتقدير اللون..
4. الدراسات المتعلقة بانتقال الحرارة خلال عمليات التسخين والتبريد والتجميد.

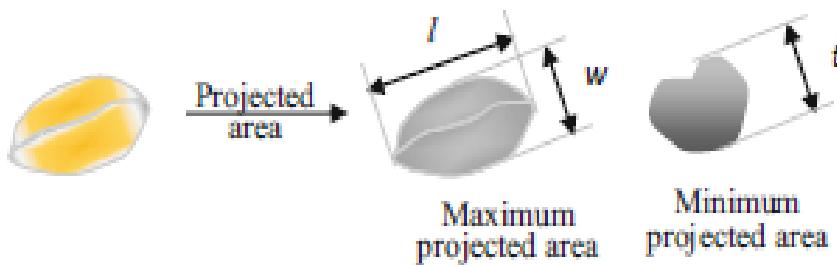
## قياس المساحة للمنتجات الزراعية

### المساحة المتوقعة Projected Area

يتم التقاط إسقاط المواد الغذائية على طول ثلاثة محاور متعامدة بشكل متبادل باستخدام أجهزة التقاط الصور. يتم تحديد الأبعاد التالية في هذه الطريقة (الشكل

:10)

1. يُشار إلى أقصى قطر / أطول بُعد لأقصى مساحة مُسقطة بالقطر أو الطول الرئيسي.
2. يُشار إلى القطر الأقصى / أطول بُعد للمساحة الدنيا المُسقطة أو القطر الأدنى / أصغر بُعد لأقصى مساحة مُسقطة بالقطر الوسيط أو العرض.
3. الحد الأدنى للقطر / أصغر بُعد للمساحة الدنيا المُسقطة هو القطر الصغير أو السماكة.



شكل 10

**مساحة السطح لسيقان وأوراق النباتات:** (Leaf and Stalk Surface Area)

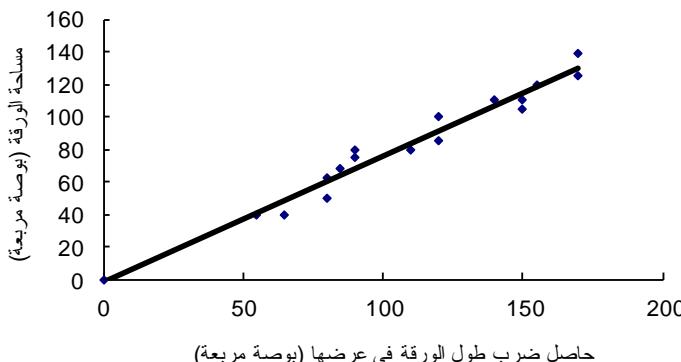
بعض الطرق المستخدمة لقياس مساحة سطح الأوراق والجذوع تعتمد على:

1. استشاف المساحة على ورقة رسم بياني وعد المربعات: وكانت تستخدم في السابق إلا أنها تستهلك الكثير من الوقت والجهد بالإضافة إلى محدودية دقتها.
2. الطباعة بالللامس (Contact Printing): وذلك بطباعة سطح العينة على ورقة حساسة للضوء ومن ثم قياس المساحة باستخدام البلانيميتير (Planimeter).
3. استخدام مساقط فوتوغرافي لأسطح المنتج: وهي طريقة تقريبية مشابهة لتلك التي استخدمت للحبوب والبذور عند تقدير شكلها.

4. بقياس طول وعرض الورقة: وإيجاد علاقة بينها ومساحة الورقة: الشكل (11) يوضح العلاقة بين (الطول × العرض) لورقة نبات مع مساحتها السطحية، كما تم إيجاد نفس العلاقة بالنسبة للخس ومنتجاته مشابهة أخرى.

$$\text{المساحة} = 0.64 \times \text{العرض} \times \text{الطول}$$

$$A = 0.64 L * D$$

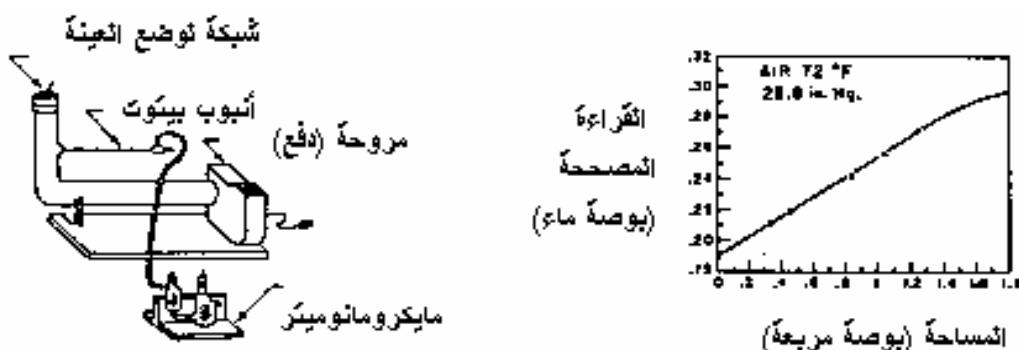


شكل (11) التنبؤ بمساحة سطح ورقة نباتية بدلالة طول الورقة في عرضها.

#### 5. طريقة البلانميتر الذي يعمل بضغط (تيار) الهواء:

تعتبر طريقة البلانميتر الذي يعمل بضغط (تيار) الهواء (Air Flow Planimeter) هي الأكثر دقة وسرعة بالمقارنة مع عدد من الطرق التي تم ذكرها لإيجاد مساحة السطح للجذوع والأوراق. وقد استخدم جهاز بلانميتر التيار الهوائي لقياس مساحة المقطع العرضية لساق الذرة الشامية (Corn Stalks).

ويكون الجهاز بشكل أساسى من مروحة نفخ وأنبوب بيتوت وأنبوب رأسي وأفقي ومنخل فتحاته (16 mesh) مثبت في حلقة خشبية ل تستند عليه العينة ومايكرو مانوميتر لقياس الضغط. الشكل (12) يوضح رسمياً تخطيطياً لبلانيميتر التيار الهوائي ومنحنى المعايرة للجهاز. والمثال التالي يوضح تطبيقاً على استخدام الجهاز. كما يعطي جدول (5) مقارنة بين بعض طرق القياس مع هذه الطريقة.



شكل (12) جهاز بلانيميتر التيار الهوائي ومنحنى المعايرة للجهاز.

جدول (5) مقارنة طرق قياس مساحة السطح لعشب نوع (Grass Rye)

(3) بلانيميتر تيار الهواء	المساحة حسب طريقة القياس		
	(1) الأوراق	(2) الطباعة بالتلامس	(3) الطول × العرض
36	37	35	5
36	37	34	5
74	72	72	10
71	71	67	10
103	105	113	15
127	126	125	15
142	141	143	20
148	146	153	20
الזמן المطلوب لوحدة عمل - ثانية لكل ورقة			
12	50	50	

#### مثال:

للتأكد من منحنى معايرة جهاز بلانيميتر التيار الهوائي تم اخذ المتوسط لأربعة قراءات من المايكرومانوميتр كما يلي:

○ قراءة الضغط بدون سريان تيار الهواء = **0.049** (بوصة ماء)

○ قراءة الضغط بسريان تيار الهواء وقرص دائري مساحته  $1.05 \text{ بوصة}^2$  = **0.309** (بوصة ماء)

○ قراءة الضغط المصححة لمساحة  $1.05 \text{ بوصة}^2 = 0.049 - 0.309 = 0.260$  (بوصة ماء)

وبالرجوع إلى منحنى المعايرة نجد أن المساحة المقدّرة تساوي 1, 1 (بوصة<sup>2</sup>) وبالمقارنة لمساحة المستخدمة أي 1.05 (بوصة<sup>2</sup>) نجد أن نسبة الخطأ تساوي 5% فقط.

#### 6. قياس المساحات باستشفاف أوراق النبات

في هذه الطريقة يتم استشفاف مساحة الورقة النباتية على ورقة رسم بياني (معلوم مساحتها وزنها). بعدها يتم قص مساحة الاستشفاف للورقة البيانية (وليس الورقة النباتية) وزنها. تعتبر هذه الطريقة سهلة وأكثر سرعة من طريقة بلانيميتر التيار الهوائي.

وكمثال إذا كان وزن ورقة الرسم البياني (المستخدمة للاستشفاف) يساوي 1 (جم) لكل 135 (سم<sup>2</sup>), يمكننا إيجاد مساحة السطح لكل ورقة نباتية (سم<sup>2</sup>) بضرب وزن ورقة الرسم البياني المقطوعة في 135.

#### طرق قياس مساحة السطح للثمار (Fruit Surface Area)

##### 1. إيجاد مساحة السطح الحقيقة:

يتم قياس مساحة فاكهة (مثل التفاح) بالخطوات التالية:

1) تقشير كامل الثمرة على شكل مقاطع طولية ضيقة.

- (2) استشاف هذه المقاطع على ورق رسم بياني.
- (3) استخدام البلاينيمتر (أو أي طريقة قياس) لقياس مساحاتها.
- (4) جمع هذه المساحات والتي تعتبر مساحة السطح الحقيقة للثمرة.

2. المقارنة بأشكال هندسية معلومة المساحة بدلالة أبعادها: كما سبق التطرق له في طرق قياس الشكل والمقاس مثل الأشكال الكروية والاسطوانية والكروي المدبب والمفلطح والمخروطي وغيرها. وكذلك للشكل الإهليجي (Elipsoid) بمحاوره a b c

3. الرابط بين مساحة الثمرة وزنها: وهي أكثر المعادلات عملية في التنبؤ بمساحة السطح التقريرية للتفاح. وهناك جداول توضح بعض المعادلات التي يمكن استخدامها للتنبؤ بمساحة السطح (S) اعتماداً على كتل (w) أصناف مختلفة من التفاح والكمثرى والبرقوق. وفي بحث أجرى لتقدير مساحة التفاح بدلالة الوزن تم استخدام 84 تفاحة تم قياس كتلتها ومساحتها معملياً ومن ثم تم رسم العلاقة بين المساحة والكتلة بعدة نماذج رياضية

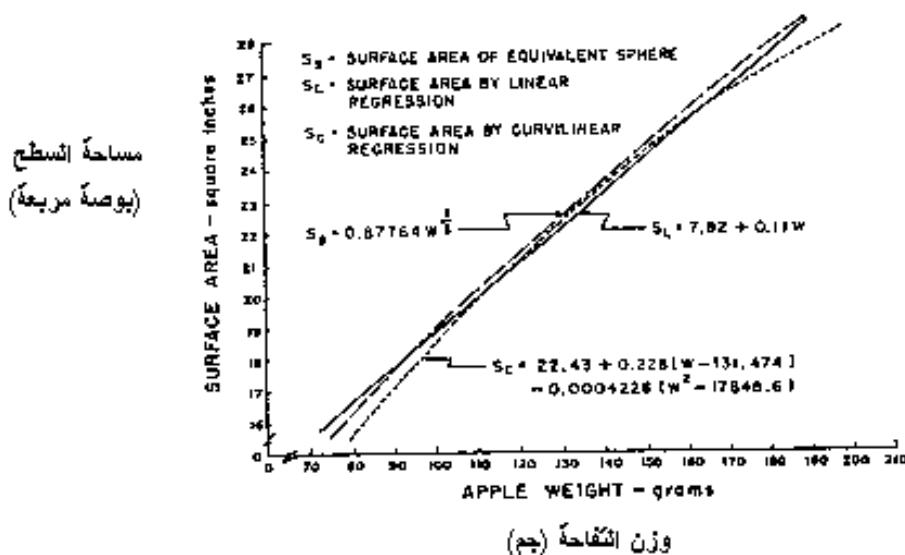
$$S = f(w)$$

يوضح شكل (16) ثلاث منحنيات لمعادلات التنبؤ لها. ومنها تم التوصية باستخدام منحنى معادلة الارتباط الخطي لتقدير مساحة السطح حيث كان معامل الارتباط (%) 97.5 و معادلتها:

$$S = 7.82 + 0.11 w$$

حيث:

مساحة السطح المقدرة بطريقة الكرة المكافئة.	$S_s$
مساحة السطح المقدرة بمعادلة الارتباط الخطي.	$S_L$
مساحة السطح المقدرة بمعادلة الارتباط غير الخطي.	$S_C$



#### 4- طرق أخرى

تعتمد على استخدام المقاطع والأقطار: تتم عبر تحديد المساحات السطحية للمقاطع العرضية المتعاكسة، للمقاطع الطولية أو المحورية، واستخدام الأقطار المتعاكسة والمحورية أو الطولية. ولقد وُجد أن الخطأ القياسي الناتج عن التنبؤ بمساحات السطح من مساحات المقاطع العرضية المتعاكسة والأقطار المتعاكسة وزن الفاكهة ، أصغر من طرق القياسات الأخرى التي تمت محاولتها.

##### 1- طرق قياس مساحة سطح البيض (Egg Surface Area)

مما سبق يمكن قياس مساحة سطح البيض بعدة طرق، ومنها:

(1) التشابه مع أشكال هندسية (الكروي المدبب): كما سبق التطرق له.

(2) الشريط اللاصق (المساحة الحقيقية): حيث بدلاً من التقشير يتم بحرص إحاطة كامل مساحة البيضة بشريط لاصق، ومن ثم حساب مساحة هذا الشريط.

(3) الرابط بين المساحة والوزن: تم اقتراح المعادلة شبه النظرية الخاصة للبيض الطازج التالية:

$$(14)$$

$$S = k W^m \quad \text{حيث: } S = \text{مساحة السطح ( سم}^2\text{ )} \quad W = \text{الكتلة ( جم )}$$

$k$  = ثابت بقيمة تتراوح بين 4.56 و 5.07 حسب الشكل

$m$ . = ثابت ويساوي 0.66.

(4) تقسيم الجسم إلى عدة أشكال هندسية ومن ثم حساب وتجميع مساحاتها وذلك بإيجاد مساحة السطح لجسم مcurved بانتظام (مثل البيض) بطريقة التساقط (Projection) ومن ثم تقسيم وتجميع المساحات باستخدام راسم الظل (Shadow graph) أو المكبر الفوتوغرافي (Photographic Enlarger) أو جهاز عرض الشفافيات. وبعد الحصول على القطاع الجانبي يتم تقسيمه تقسيماً متساوياً ويليه ذلك رسم خطوط موازية أو عمودية من محور التنساوي إلى نقطة التقاطع مع حدود القطاع الجانبي. وباستخدام الحسابات العاديّة أو عن طريق إجراء عملية التكامل أو باستخدام الحاسوب الآلي يمكن حساب مساحة السطح ( $S$ ) بجمع مساحات الدوران لكل المقاطع التي تم تقسيمها.

##### 2- عن طريق التشابه مع الشكل الكروي المدبب: (Prolate Spheroid)

من المقطع الجانبي للبيضة يمكننا إيجاد القطرتين الأساسية والثانوية، وكما هو واضح في شكل

(17) فهما يساويان 2.3 (بوصة) و 1.7 (بوصة) على الترتيب.

وباستخدام معادلة اللاتمركزية (Eccentricity eq.)

$$e = \left[ 1 - \left( \frac{b}{a} \right)^2 \right]^{0.5} = \left[ 1 - \left( \frac{0.85}{1.15} \right)^2 \right]^{0.5} = 0.674$$

يمكنا حساب مساحة السطح من المعادلة :

$$S = 2\pi b^2 + 2\pi \frac{ab}{e} \sin^{-1} e = 2\pi (0.85)^2 + 2\pi \frac{(0.85)(1.15)}{0.674} \sin^{-1} \frac{0.674\pi}{180} \\ = 11.29 (\text{in}^2)$$

### 3- عن طريق القياس المباشر للمساحة الحقيقة:

يمكنا وضع شرائح من شريط لاصق حتى نغطي مساحة سطح البيضة تغطية كاملة، ثم نزيل هذه الشرائح ونستشفها ومن ثم يتم إيجاد مساحتها باستخدام البلاينيتر.

ولقد تم إيجاد المساحة الفعلية بهذه الطريقة وكانت تساوي 11.3 (بوصة<sup>2</sup>).

واستناداً إلى النتائج بالطرق الثلاث أعلاه فإن تقدير مساحة سطح البيضة باستخدام طريقة التشابه مع الشكل الكروي المدبب، تعتبر طريقة سهلة و مباشرة وتعطي تقديرًا دقيقًا ومقبولًا.

### 4- علاقة الوزن والمساحة

ولإيجاد قيمة الثوابت k و m في المعادلة:

$$S = k W^m$$

يمكنا تعويض قيمة المساحة الحقيقة:

$$m = 0.66 \quad \text{وتعويض} \quad S = 11.3 (\text{in}^2) = 70.5 (\text{cm}^2)$$

ومن ثم:

$$k = \frac{S}{W^m} = \frac{70.5}{(60)^{0.66}} = 4.8$$

والتي تقع في الحدود المقصورة بين 4.56 و 5.07

وبمعرفة هذه الثوابت، يمكن التعبير عن مساحة البيضة بدلالة الكتلة بالمعادلة التالية:

$$S = 4.8 W^{0.66}$$

### تقدير الحجم والكتافة (Density and Volume)

خلفية علمية:

الكتافة (Density) للمواد الغذائية والمنتجات الزراعية تلعب دوراً هاماً في كثير من التطبيقات الحيوية. أمثلة لبعض هذه التطبيقات تشمل:

- التدريج والفرز وفصل الشوائب وإيجاد مدى نقاهة البذور
- عمليات تجفيف وكبس وتخزين الأعلاف.
- تصميم صوامع الغلال والأحمال على جدرانها.

- تقييم درجة النضج وجودة المنتجات الزراعية مثل البسلة والذرة الشامية الحلوة، والفاوصوليا والبطاطس والتي تزداد كثافتها كلما اقتربت من النضج.
- تقييم قوام ومدى ليونة الفواكه وتقدير المسامات في أنسجة النبات
- تستخدم في حسابات الانتقال الحراري وخاصة خرائط توزيع درجة الحرارة داخل الثمار المبردة أو المعالجة.

وتعرف الكثافة بأنها كتلة المنتج لوحدة الحجم،  $\rho = \frac{m}{V}$

بينما الكثافة النوعية هي نسبة كثافة المنتج لكتافة الماء، أي  $\rho_{SG} = \frac{\rho_p}{\rho_w}$

وهناك عدة تقسيمات للكثافة منها:

- أ. كثافة الحبة: ويكون الحجم للحبة الواحدة (مثل التفاح أو البطيخ)
- ب. الكثافة الظاهرية: ويكون الحجم لمجموعة من الحبوب مملوئة في وعاء ذو حجم محدد.
- ت. الكثافة الحقيقية: ويكون الحجم للحبوب بعد طحنها بحيث لا تكون هناك مسام (نسبة) بينية بين أو داخل الثمار أو الحبوب.

والأكثر شيوعاً استخدام كثافة الحبة للثمار الكبيرة (مثل الفواكه) والكثافة الظاهرية للثمار الصغيرة (الحبوب والمكسرات). وعلى كل حال فلابد من تحديد وتوضيح الكثافة المقصودة في المراجع العلمية والتجارية. ويتبين أيضاً أن تحديد الحجم هو الأكثر صعوبة حيث من السهولة قياس الكتلة للمنتجات.

القيم التالية للكثافة النوعية لعدد من المواد:

$\rho$	$m$	$\rho$	$m$	$\rho$	$m$	$\rho$	$m$
1.00	ماء (٠٠٥)	1.56	سكر	1.6-1.4	منتجات غذائية	11.33	رصاص
0.960	ماء (٩٧٠)	0.92	دهن	0.8-0.3	مسام	19.35	تنفسون
0.916	ثلج					8	حديد

## 2- طرق قياس الحجم والكثافة:

يسbib عدم الانتظام في شكل المنتجات الغذائية والحيوية عن تلك الأشكال المنتظمة فيتم إيجاد أحجامها غالباً بطرق تجريبية كما في التالي.

**أنواع الحجوم :**

1- حجم صلب

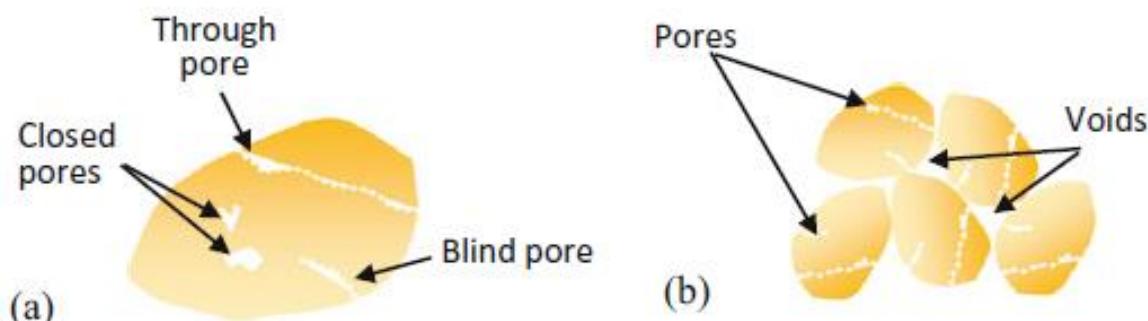
يُشار إلى حجم المادة الصلبة ، الذي يستثنى جميع المسام الداخلية الملئية بالهواء (المسام المغلقة) (الشكل a) ، بالحجم الصلب ، والذي يمكن قياسه بطريقة إزاحة الغاز.

## 2- الحجم الظاهري

يشير إلى الحجم الذي يشمل جميع المسام الداخلية (الشكل a). يتم تحديد الحجم الظاهري للعينات ذات الشكل المنتظم من الأبعاد المميزة ، في حين أن طريقة الإزاحة الصلبة أو السائلة يمكن أن تكون اختياراً للعينة ذات الشكل غير المنتظم.

## 3- حجم الجزء

هو حجم المادة عند تكديسها بكميات كبيرة. قد تشمل المادة جميع المسام وحجم الفراغ خارج الحدود (الشكل b). يمكن قياس حجم الكتلة عن طريق تحديد حجم العينة السائلة عن طريق الاحتفاظ بالمادة في الحاوية.



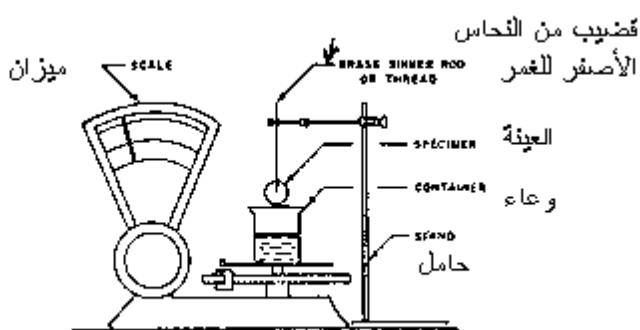
يمكن تقسيم طرق قياس الحجم والكتافة إلى عدة مجاميع وهي:

- (1) التشابه مع أشكال هندسية: حيث يمكن حساب حجم المنتج ذو الشكل المنتظم مباشرة بدلالة أبعاده.
- (2) طريقة الإزاحة الحجمية التقليدية: حيث يُسقط الجسم في إناء مدرج ويتم قراءة حجم الماء المزاح. وهذه الطريقة بالطبع غير دقيقة بسبب التوتر السطحي للسائل وكذلك دقة القراءة.
- (3) معادلات حسابية: بدلالة المحتوى الرطبوبي ومكونات المنتج الأخرى ودرجة الحرارة. وهي طريقة تقديرية وغير دقيقة وتعتمد على طبيعة المنتج وقد تقبل في حال أن تكون لمنتج واحد مثل محلول ذو تركيز مختلفة مثل الحليب والمركبات أو لمجموعة متجانسة من المواد.
- (4) طرق الإزاحة العلمية: وهي الطرق العلمية المتبعة في حساب الكثافة. في التالي سيتم التطرق إلى أربع تجارب معملية - علمية-لتقدير وحساب كثافة الفاكهة أو مجموعة من الحبوب، وهي:

### 1. طريقة ميزان المنصة (Platform Scale)

هذه الطريقة سهلة وتطبق على الأجسام الكبيرة مثل الفواكه والخضراوات كما هو موضح في الشكل

.(14)



شكل (14) ميزان المنصة لقياس الحجم والكتافة للأجسام الكبيرة.

حيث يتم في البداية قياس كتلة الماء والوعاء. ثم يتم غمر الفاكهة في الماء (بواسطة خيط أو قضيب غامر في حال أخف من السائل) وأخذ قراءة الميزان والفاكهة معلقة في الماء. ومنه يمكن حساب كتلة الماء المزاح بسبب الغمر والتي تساوي كتلة (الوعاء والماء والجسم مغموراً) ناقصاً كتلة (الوعاء والماء) والتي سيتم استخدامها في التعبير التالي لحساب الحجم: وحسب قاعدة أرخميدس للأجسام المغمورة فإن:

$$\text{كتلة الماء المزاح} = \text{كتلة الوعاء والماء والجسم مغمور} - \text{كتلة الوعاء والماء (جم)}$$

$$\begin{aligned} \text{حجم التفاحة} &= \text{حجم الماء المزاح (سم}^3\text{)} \\ &= \text{كتلة الماء المزاح (جم)}/\text{كتافة الماء (جم/سم}^3\text{)} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\text{Volume (cm}^3\text{)} = \frac{\text{m (gm)}}{\rho (\text{gm/cm}^3)}$$

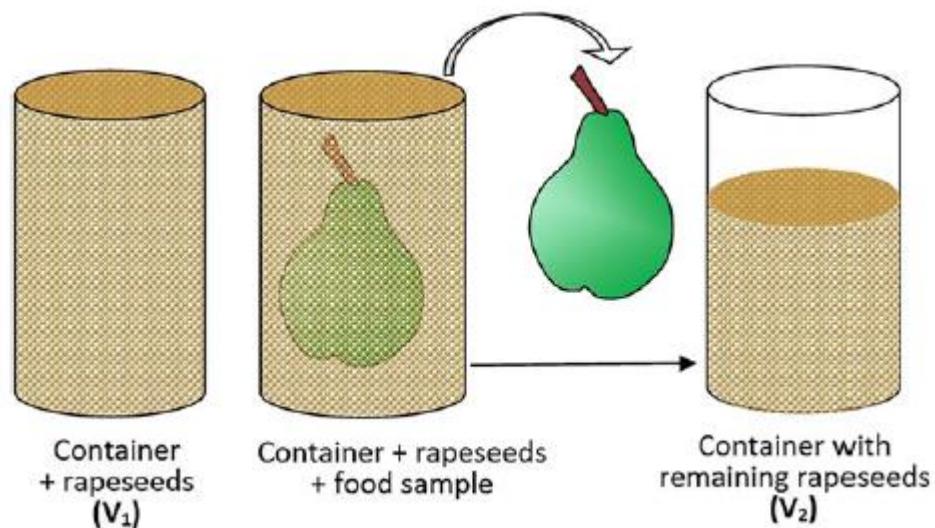
ومن ثم توزن الفاكهة بالميزان (في الهواء) وتؤخذ قرائتها. وبمعرفة كتلة الفاكهة على الهواء وحجمها من المعادلة (15) نستطيع حساب كثافة الفاكهة:

$$\text{كتافة التفاحة (جم/سم}^3\text{)} = \text{كتلة التفاحة في الهواء (جم)}/\text{حجم التفاحة (سم}^3\text{)}$$

ويمكن حساب الكثافة النوعية مباشرة كما يلي:

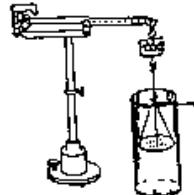
$$\text{الكتلة في الهواء} \times \text{الكتافة النوعية للماء} \\ \text{الكتافة النوعية}/\text{كتلة الماء المزاح} =$$

$$\text{أو الكثافة النوعية للمادة} = \text{كتافة المادة}/\text{كتافة الماء}$$



## 2. طريقة ميزان الكثافة النوعية: (Specific Gravity Balance)

بالنسبة للأجسام الصغيرة مثل الفواكه صغيرة الحجم والحبوب مثل البسلة والفول والذرة الشامية يمكن استخدام ميزان الكثافة النوعية كما هو موضح في الشكل (15) أدناه لإيجاد الحجم والكثافة والنوعية.



شكل (15) ميزان الكثافة النوعية لقياس الحجم والكثافة للأجسام الصغيرة.

فعندما تغمر مادة في ماء، فإن وزنها يقل مقارنة بالهواء، وتكون (الكتلة في الهواء - الكتلة في الماء) تساوي قوة الطفو (قوة الدفع) والتي تساوي وزن الماء المزاح.

ويمكن استخدام التعبيرات الرياضية التالية:

أ. في الحالة التي يكون فيها الجسم أثقل من الماء:

$$\frac{\text{الكتلة في الهواء} - \text{الكتلة في الماء}}{\text{حجم الماء المزاح}} = \frac{\text{الكتلة في الهواء} - \text{الكتلة في الماء}}{\text{كتافة الماء}}$$

$$\frac{\text{الكتلة في الهواء}}{\text{الكتلة في الهواء} - \text{الكتلة في الماء}} \times \text{الكتافة النوعية للماء} = \frac{\text{الكتافة النوعية}}{\text{الكتلة في الماء} - \text{الكتلة في الهواء}}$$

(ب) في الحالة التي يكون فيها الجسم أخف من الماء:

يوضع جسم آخر أثقل من الماء معه ليساعد على عملية الغمر في الماء ويمكن إيجاد الكثافة النوعية من المعادلة التالية:

$$Specific Gravity = \left[ \frac{(W_a)_{object}}{(W_a - W_w)_{both} - (W_a - W_w)_{sinker}} \right] [(SG)_L]$$

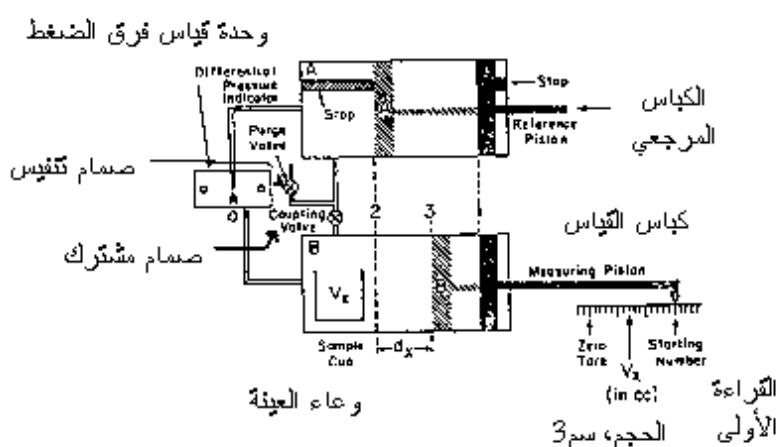
حيث:

$$\begin{aligned} \text{كتلة المادة الغذائية أو (الجسم الخفيف) في الهواء.} &= (W_a)_{object} \\ \text{كتلة الجسم الغامر في الهواء - وزن الجسم الغامر في الماء.} &= (W_a - W_w)_{sinker} \\ \text{كتلة الجسم} &= (W_a - W_w)_{both} \\ \text{الخفيف + الجسم الغامر) في الماء.} &= (W_a + W_w)_{both} \end{aligned}$$

حيث الرموز السفلية a للكتلة في الهواء (in air) بينما w للكتلة في الماء (in water) وبينما W للكتلة في الماء المقطر يؤدي إلى عند إضافة 3 سم<sup>3</sup> من وسط تبلييل (Wetting agent) إلى 500 سم<sup>3</sup> من الماء المقطر يؤدي إلى تقليل الخطأ الذي يمكن أن يحدث نتيجة لعملية الشد السطحي (Surface Tension) ونتيجة للغمر في الماء. أو يمكن حل مشكلة طفو المنتج باستخدام سائل أقل كثافة من المنتج الزراعي.

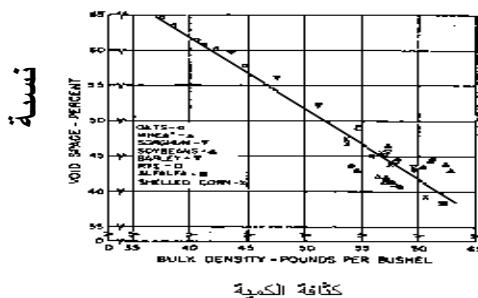
### 3. طريقة المقارنة الهوائية: (Air Comparison Pycnometer)

يستخدم هذا الجهاز لقياس حجم الحبوب وقامت بتصنيعه شركة Beckman Instrument, Inc. ويكون الجهاز من حيزين يحتوي كل منهما على كباس (Piston) ويوجد به صمام في الأنابيب الموصل بين الحيزين كما يحتوي الجهاز على وحدة لقياس فرق الضغط تمت معايرته لإعطاء القراءات (سم<sup>3</sup>) كما هو واضح في الشكل (16) أدناه:



شكل (16) بيكونوميتر المقارنة الهوائية.

- 1) عند فتح صمام التوصيل المشترك بين الحيزين، فإن أي تغيير في وضع واحد من الكباسين يؤدي إلى تغيير في الحجم مشابه تماماً للكباس الآخر حتى يتم الحصول على نفس الضغط في جانبي الحيزين وتكون القراءة على مقياس فرق الضغط صفرأً.
- 2) في حالة قفل صمام التوصيل المشترك وتحريك الكباسين مسافة متساوية، فإن وضع عينة في حيز قياس الحجم سيؤدي إلى فرق ضغط،
- 3) يمكن إرجاع فرق الضغط الناتج إلى صفر بجذب الكباس الموجود في حيز قياس الحجم للخلف لمسافة معينة،  $dx$  مثلاً كما هو واضح في شكل (20). وتحت هذه الظروف فإن المسافة  $dx$  تتناسب طردياً مع الحجم الذي يراد قياسه. هذا الجهاز يقيس حجم الحبيبات للعينة، وعند الحاجة لقياس الحجم الظاهري (Apparent Volume) أي حجم العينة المحاط بسطوحها الخارجية زائداً حجم الفتحات المسامية فإن الشركة المصنعة تتصح بملء الفتحات أو الفراغات المسامية عن طريق غمر العينة في حمام شمع سائج (Molten wax bath). وبمعرفتنا للحجم الظاهري والحجم الحقيقي للعينة نستطيع حساب حجم الفراغات أو الفتحات المسامية والتعبير عنها كمعامل للمسامية (Porosity) والشكل (21) يوضح نتائج استخدام جهاز البيكنوميتр الهوائي لإيجاد الكثافة الكمية (Bulk density) للحبوب.



شكل (21) الارتباط بين الفراغات (الفتحات المسامية) وكثافة الكمية لأنواع مختلفة من الحبوب والتي تم إيجادها باستخدام بيكنوميتر المقارنة الهوائية.

#### (4) طريقة قنية الكثافة والتولوين (البيكنوميتр (Pycnometer Method

تعتبر طريقة قنية الكثافة النوعية (البيكنوميتر) والتولوين ( $C_6H_5CH_3$ ) من الطرق المباشرة التي تم استخدامها للبذور والحبوب لسنوات عديدة. وتم هذه الطريقة بوضع الحبوب في القنية (وعاء) ثم تتم تعبئته المسام بين الحبيبات بمادة ذات مواصفات خاصة. حجم هذه المادة التي تم إضافتها يمثل حجم المسام بين الحبيبات. ويكون:

$$\text{حجم البذور} = \text{حجم القنية} - \text{حجم التولوين المضاف.}$$

ولسائل التولوين الذي تم اختياره فوائد عده يمكن تلخيصها فيما يلي:

- 1- لا يتسرب داخل الحبوب والبذور لتبليلها إلا بقدر بسيط جداً.
- 2- التوتر السطحي له (Surface Tension) منخفض وهذا يؤدي إلى سريانه سريانًا ناعمًا فوق سطح الحبة (Smooth Flow).
- 3- خاصيته التذويبية منخفضة خاصة للدهون والزيوت المتواجدة في الحبة.
- 4- نقطة غليانه عالية بصورة معقوله.
- 5- لا تتغير كثافته النوعية ولزوجته عند تعرضه للجو العادي.
- 6- كثافته النوعية منخفضة.

ويمكن تفصيل خطوات تجربة قنينة الكثافة للبذور لقياس الكثافة فيما يلى:

- 1- إيجاد حجم قنينة البيكنوميتр بوزنه فارغاً وبوزنه بعد ملئه بماء قطره عند درجة 20°C.
- 2- إيجاد الكثافة النوعية للتولوين الذي يراد استخدامه عن طريق وزن التولوين الذي يملأ البيكنوميتر ومقارنته بوزن الماء المقطار الذي يملأ البيكنوميتر عند نفس درجة الحرارة.

$$\frac{\text{كتلة التولوين}}{\text{كتلة الماء}} = \frac{\text{الكثافة النوعية للتولوين}}{\text{الكتافة النوعية للحبوب}}$$

- 3- اوزن عشرة جرامات -مثلاً- من الحبوب أو البذور التي يراد إيجاد الكثافة النوعية لها وضاغتها في البيكنوميتر ثم اسكب عليها كمية مناسبة من التولوين حتى تتغطى به الحبوب أو البذور.
- 4- اسحب الهواء تدريجياً من البيكنوميتر باستخدام مضخة تفريغ.
- 5- عند اختفاء فقاعات الهواء وبعد عدة دورات من التفريغ وسحب التفريغ مع إعادة ملء البيكنوميتر بالتولوين وانتظر حتى تصل درجة الحرارة إلى 20°C.
- 6- اوزن البيكنوميتر واحسب الكثافة النوعية للحبوب أو البذور كما يلى:

$$\text{الكتافة النوعية للحبوب} = \frac{\text{كتلة التولوين} \times \text{كتلة الحبوب أو البذور}}{\text{كتلة التولوين المزاح عن طرق الحبوب}}$$

كتلة التولوين المزاح عن طريق الحبوب أو البذور يمكن إيجاده بطرح الفرق في أوزان البيكنوميتر عند ملئه بالتولوين وعند احتوائه على الحبوب أو البذور من كتلة عينة الحبوب أو البذور (10 جرامات في هذه الحالة):

**كتلة التولوين المزاح = كتلة العينة - [ (كتلة الوعاء + التولوين + العينة) - (كتلة الوعاء + التولوين) ]**

وعند إجراء التجربة لنفس العينة باستخدام بيكنوميتر المقارنة الهوائية (Air Comparsion) والذي تم شرح طريقة عمله مسبقاً وجد أن حجم العينة كان مساوياً 3.49 سم³ أو ما يعادل (Pycnometer) أقل من نتيجة استخدام طريقة قنينة الكثافة والتولوين (Pycnometer Method) 2%.

(4) تقدیر الكثافة بمعادلات الارتباط مع مكونات المادة الغذائية ودرجة الحرارة:

تحسب الكثافة ( $\text{كجم}/\text{متر}^3$ ) لأى منتج حيوي بحساب كمية وكثافة كل عنصر من المنتج مثل الماء النقى ( $\rho_w$ ) ، الثلوج ( $\rho_{ic}$ ) ، البروتين ( $\rho_p$ ) ، الكربوهيدرات ( $\rho_c$ ) ، الألياف ( $\rho_{fi}$ ) ، والرماد ( $\rho_a$ ) كدالة لدرجة الحرارة ( ${}^\circ\text{م}$ ) من المعادلات التالية:

$$\rho_w = 997.18 + 0.0031439 T - 0.0037574 T^2$$

$$\rho_{ic} = 916.89 - 0.13071 T$$

$$\rho_p = 1329.9 - 0.51814 T$$

$$\rho_f = 925.59 - 0.41757 T$$

$$\rho_c = 1599.1 - 0.31046 T$$

$$\rho_{fi} = 1311.5 - 0.36589 T$$

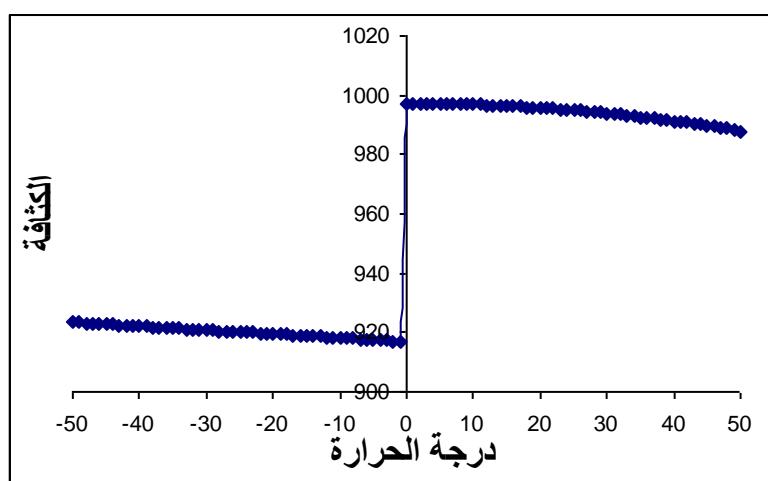
$$\rho_a = 2423.8 - 0.28063 T$$

وتحسب الكثافة الكلية للمادة الغذائية ( $\rho$ ) بمعرفة النسبة الكتالية  $X_i$  لكل عنصر  $i$  كالتالى:

$$\rho = 1 / \sum [X_i / \rho_i]$$

وهذه الطريقة قد تناسب مجموعة من المنتجات الزراعية ذات الخواص المتشابهة. إلا أنه وبشكل عام لا ينصح بها خاصة للمنتجات ذات الطبيعة الغير متجانسة. فمثلاً كثافة الكربوهيدرات تختلف حسب نوعها (بين السكر والنشا مثلاً) مما يقلل من دقة هذه المعادلات المقترحة.

في الشكل التالي يتبعن تأثير تغير الطور ودرجة الحرارة على كثافة الماء. حيث أن الخاصية الفريدة للماء بانخفاض كثافته عند التجمد (الثلج) بعكس السوائل الأخرى-يحمي بإذن الله الكائنات الحية في قعر البحار في القطب الشمالي والجنوبي من ترسب الثلوج وقل تلك الكائنات.



تأثير درجة الحرارة على كثافة الماء السائل والثلج.

#### 4-قياس المسامية: (Porosity)

النسبة المئوية لفراغات الموجودة بين حبيبات المواد مثل العلف والقش والحبوب والمنتجات المسامية الأخرى يتم الاحتياج إليها في أغلب الأحوال في الدراسات الخاصة بسريان الهواء وسريان الحرارة إضافة إلى عديد من التطبيقات الأخرى.

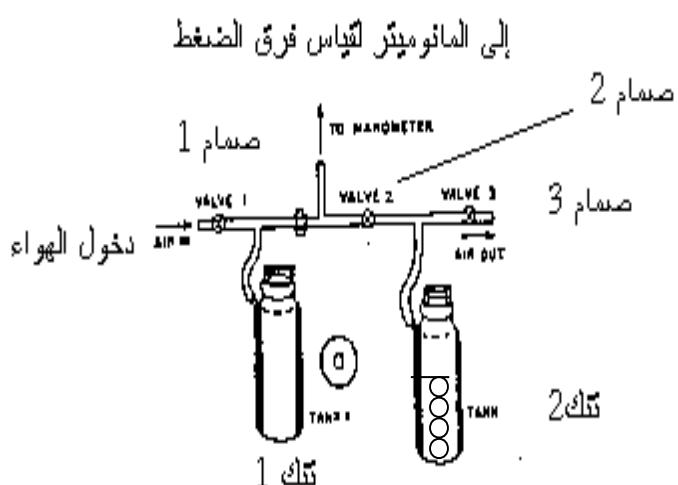
يطلق على المسامية (Porosity) في بعض الأحيان اسم معامل الحشو (Packing Factor) والتي يمكن حسابها من العلاقة التالية:

$$\text{المسامية (أو معامل الحشو (PF))} = \frac{\text{الكثافة الصلبة - الكثافة الظاهرية}}{\text{الكثافة الصلبة}}$$

ويمكن إيجاد كثافة المادة الصلبة باستخدام إحدى الطرق المعروفة لقياس الكثافة، وكثافة الحشو يمكن إيجادها بوزن حجم معين من الجسيمات المعبأة أو المحشوة (Packed Particle). هنا أحد الطرق الشائع استخدامها لقياس المسامية.

#### قياس المسامية بطريقة فرق الضغط:

الرسم (17) أدناه يوضح أحد الأجهزة المستخدمة لقياس المسامية.



شكل (17) جهاز قياس المسامية بطريقة فرق الضغط

يوضع المنتج في تناك (2) ثم يتم قفل صمام (2) ويفتح صمام (1) لدفع الهواء لتناك (1). وعند الحصول على قراءة ملائمة لفرق الضغط من المانوميتر يتم قفل صمام (1) وبعد وصول المانوميتر إلى مرحلة التوازن يتم قراءة الضغط ( $P_1$ ). وتحت هذه الظروف يمكننا تطبيق قانون الغاز المثالي كما يلى:

$$P_1 V_1 = M R_1 T_1$$

حيث  $P_1$  الضغط المطلق،  $V_1$  الحجم في تناك (1)،  $M$  كتلة الهواء،  $R_1$  ثابت الغاز العام. و  $T_1$  درجة الحرارة المطلقة.

وفي الخطوة التالية يتم قفل صمام (3) وفتح صمام (2) ثم يتلو ذلك قراءة الضغط ( $P_3$ ). وتحت هذه الظروف حيث يكون الصمام (1) والصمام (3) مفتوحين، تنقسم كتلة الهواء الكلية  $M$  إلى كتلة  $M_1$  لملء تناك (1) وكتلة  $M_2$  لملء الفراغات التي يساوي حجمها  $V_2$  في تناك (2).

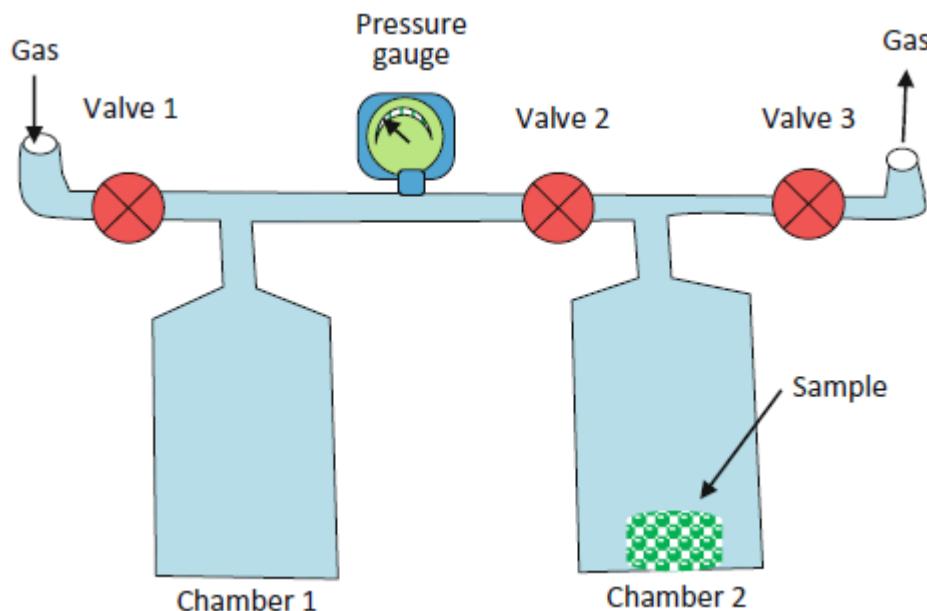
وبافتراض أن :  $R_1 T_1 = R_2 T_2 = R T$ ، نستطيع استخلاص العلاقات التالية:

$$M = M_1 + M_2$$

$$\frac{P_1 V_1}{R T} = \frac{P_3 V_1}{R T} + \frac{P_3 V_2}{R T}$$

ومنها يمكن حساب النسبة المئوية لحجم الفراغات من المعادلة أدناه:

$$(17) \quad \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1 - P_3}{P_3}$$



## خواص الكثافة ، الأنكماس أو التمدد والمسامية

هذه الخواص مرتبطة بكلة وحجم المواد الغذائية وتشكل إحدى المجموعات الرئيسية للخواص الميكانيكية وأهميتها يمكن تلخيصها في النقاط التالية :

- تصميم عمليات التصنيع ، التشغيل وتحقيق الأفضلية : مثل تقدير إرتفاع المواد الصلبة في مجففة ناقلة أثناء عملية التجفيف.
- توصيف المنتج : تعنى تحديد الجودة .
- تحديد خواص أخرى : مثل تحديد خاصية الانشارية الحرارية ، بمعرفة خاصية الكثافة ، وهي من الخواص الحرارية .
- تداول المواد الغذائية .
- تصنيف الفاكهة والخضر .
- فصل الشوائب عن المواد الغذائية : إستغلال فروقات الكثافة .
- تحديد مساحة الأرضية في المخزن .

### 1. الكثافة (Density) :

في الفيزياء كثافة المادة تعنى : كتلة المادة على وحدة القياس في النظام العالمي (SI) هي  $\text{Kg/m}^3$  .  
المواد الغذائية تختلف في تركيبها حيث أن هناك مواد تحوي فراغات هوائية وأخرى لاتحوي تلك الفراغات مثل المواد الغذائية السائلة والصلبة لذلك نجد أن هناك نوعان من الكثافة هما

الكثافة الصلبة أو كثافة الجسيمات (Solid or particle density) : تعنى كتلة جسيمات المادة الغذائية مقسومة على الحجم الذي تحتله تلك الجسيمات .

الكثافة الظاهرية (Bulk density): تعنى الكتلة الظاهرية للمادة الغذائية مقسومة على الحجم الظاهري الذي تحتله المادة الغذائية نفسها .

المواد الغذائية السائلة والصلبة كثافتها الصلبة تساوي كثافتها الظاهرية .

#### جدول 1.3 : الكثافة الصلبة لبعض المكونات الغذائية

المكون الغذائي	الكتافة ( $\text{kg/m}^3$ )
النشاء	1500
البروتين	1400
الدهون	950 – 900

السليلوز	1610 – 1270
السكروز	1590
الملح	2160
الماء	1000

## **جدول 2.36 : الكثافة الصلبة والكثافة الظاهرية لبعض محاصيل الغلال**

المادة الغذائية	الكتافة (kg/m <sup>3</sup> )	الصلبة (kg/m <sup>3</sup> )	الرطوبـي (%)	الظاهرية (أساس رطب %)
الشعير	650 - 565	1415 - 1374	2.8 – 7.5	
الشوفان	511 – 358	1378 – 1350	8.8 – 8.5	
الأرز	591 – 561	1386 – 1358	9.2 – 8.6	
القمح	819 – 790	1430 – 1409	8.5 – 6.2	

## قياس الكثافة الصلبة أو كثافة الجسيمات :

في هذه الطريقة يتم قياس كتلة العينة بواسطة ميزان حساس وبعد ذلك يتم قياس حجم العينة عن طريق إزاحة حجم سائل . يتم غمر العينة في سائل موضوع في إناء لقياس الحجم حيث يتم قياس حجم العينة مباشرةً وذلك بمعرفة حجم السائل المُزاح نتيجة لعملية غمر العينة . الفرق بين الحجم الابتدائي للسائل في إناء القياس وحجم السائل النهائي بعد غمر العينة يساوي حجم العينة نفسها . جهاز القياس الأكثر استخداماً هو ما يُسمى زجاجة الكثافة النوعية (Specific gravity bottle) كما هو موضح في الشريحة التالية و السائل الأكثر استخداماً هو التولوين ومن ثم يتم قياس الكثافة الصلبة للعينة بالمعادلة التالية :

$$\rho_{\text{solid}} = \frac{m_{\text{solid}}}{V_{\text{solid}}}$$

حلث :-

$\rho_{solid}$  = الكثافة الصلبة للعينة Kg/m<sup>3</sup>

**$m_{solid}$**  = الكتلة الصلبة للعينة

$m_3$  = الحجم الصلب للعينة .

قياس الكثافة الظاهرية :

يتم قياس الكثافة الظاهرية بوضع العينة في إناء مثل أسطوانة قياس (مُدرجة) معلومة الحجم . في هذه الطريقة يتم تعبئة الأسطوانة المدرجة بالعينة وأي كمية زيادة عن حجم الأسطوانة في عاليها تزال بواسطة

تحريك خيط أو مسطرة أفقياً على الحد الأعلى للأسطوانة . بعد ذلك يجب أن تُنقر الأسطوانة المعبأة رأسياً إلى الأسفل نفراً خفيفاً عدة مرات على سطح منضدة للتأكد من العينة التي تمت تعبئتها تحتل حجم الأسطوانة المدرجة تماماً . يتم قياس كتلة العينة بواسطة ميزان حساس ومن ثم يتم قياس الكثافة الظاهرية للعينة بالمعادلة التالية :

$$\rho_{\text{bulk}} = \frac{m_{\text{bulk}}}{V_{\text{bulk}}}$$

حيث :-

$$Kg/m^3 = \rho_{\text{bulk}}$$

$$kg = m_{\text{bulk}}$$

$$m^3 = V_{\text{bulk}}$$

بالإضافة إلى ماذكر من أهمية لهذه الخواص ، فإن معرفة كثافة المادة الغذائية عموماً مهمة في : تحويل كتلتها إلى حجمها ، تحديد إناء التعبئة من حيث الحجم والقدرة أيضاً تؤثر الكثافة على ملمس المادة الغذائية .

## 2. الإنكمash أو التمدد (Shrinkage or Expansion)

يمكن تعريف الإنكمash أو التمدد بأنه التغير في حجم المادة الغذائية التي تمر بعمليات تصنيع غذائي مثل فقد الرطوبة أثناء التجفيف ، تشكيل الثلج أثناء التجميد أو تشكيل فراغات هوائية أثناء عملية صنع الخبز . المعادلة 3.3 بواسطتها يمكن حساب الإنكمash أو التمدد للمواد الغذائية:

$$S \text{ or } E = \frac{V_t}{V_0} \quad 3.3$$

حيث :-

$$S \text{ or } E = \text{ الإنكمash أو التمدد لعينة المادة الغذائية ، كسر عشري}$$

$$V_t = \text{حجم عينة المادة الغذائية عند محتوى رطوي معين ، } m^3$$

$$V_0 = \text{حجم عينة المادة الغذائية عند المحتوى الرطوي الإبتدائي ، } m^3$$

قياس الإنكمash أو التمدد :

يتم قياس الإنكمash أو التمدد للمواد الغذائية بواسطة طريقة إزاحة حجم السائل التي تم ذكرها لقياس الكثافة الصلبة سابقاً .

$$Q = \frac{W_i(M_f - M_i)}{(100 - M_f)}$$

المحتوى الرطوي:

Where: Q is the mass of water to added in kg;

$W_i$  is the initial mass of the sample in kg;

$M_i$  is the initial moisture content of the sample in % d.b. and

$M_f$  is the final moisture content of the sample in % d.b.

### 3. المسامية : (Porosity)

تعنى ذلك الجزء من حجم المادة الغذائية التي تحله فراغات هوائية ورياضياً هو حجم هذه الفراغات الهوائية مقسوماً على الحجم الظاهري للمادة الغذائية كما في المعادلة التالية :

$$\varepsilon = \frac{V_{air}}{V_{bulk}} = \frac{V_{bulk} - V_{solid}}{V_{bulk}} = \frac{V_{bulk}}{V_{bulk}} - \frac{V_{solid}}{V_{bulk}} = 1 - \frac{V_{solid}}{V_{bulk}}$$

كما هو معلوم فإن كتلة الجسيمات أو المادة الصلبة تساوي الكتلة الظاهرية للمادة نفسها وأن حجم المادة يساوي كتلتها مقسومة على كثافتها عليه يمكن كتابة المعادلة أعلاه كما يلى :

$$\varepsilon = 1 - \frac{V_{solid}}{V_{bulk}} = 1 - \frac{m_{solid}/\rho_{solid}}{m_{bulk}/\rho_{bulk}} = 1 - \frac{m_{solid}}{\rho_{solid}} * \frac{\rho_{bulk}}{m_{bulk}} = 1 - \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{solid}}$$

وبصورة مختصرة يمكن كتابة المعادلة في صورة نهائية كما يلى :

$$\varepsilon = 1 - \frac{\rho_{bulk}}{\rho_{solid}}$$

حيث:-

$\varepsilon$  = المسامية للعينة , كسر عشري

$\rho_{bulk}$  = الكثافة الظاهرية للعينة , Kg/m<sup>3</sup>

$\rho_{solid}$  = الكثافة الصلبة للعينة , Kg/m<sup>3</sup>

## خاصية النشاط المائي

الماء (الرطوبة): مكون مهم لكل المواد الغذائية حيث نجد أن الفاكهة والخضر الطازجة تحتوي على أكثر من 80% من كتلتها كماء. الرطوبة المحتواة في المادة الغذائية تُسمى المحتوى الرطوبى للمادة نفسها . قابلية التخزين للمادة الغذائية تعتمد على : المحتوى الرطوبى للمادة ، درجة حرارة ونسبة الاوكسجين لهواء المخزن . إرتفاع المحتوى الرطوبى للمادة الغذائية يؤدي إلى نمو الفطريات والنشاط الميكروبي . لذلك لابد من تجفيف الفاكهة والخضر إلى محتوى رطوبى أقل من 30% وأن تجفف الحبوب إلى محتوى رطوبى أقل من 12% لكي تخزن تلك المنتجات لفترة طويلة بصورة جيدة .

**المحتوى الرطوبى :**

هو كمية الرطوبة الموجودة في المادة ، ويُعبر عنه ككسر عشري أو نسبة مئوية . المحتوى الرطوبى يمكن حسابه على أساس رطب (Wet basis) أو على أساس جاف (Dry basis) كما في المعادلتين 1.2 و 2.2 ، على التوالي:

$$M_{wb} = \frac{W_m}{W_T} * 100 = \frac{W_m}{W_m + W_d} * 100$$

$$M_{db} = \frac{W_m}{W_d} * 100$$

المحتوى الرطوبى على أساس رطب يُستخدم في المعادلات التجارية بينما يُستخدم المحتوى الرطوبى على أساس جاف في التطبيقات العلمية .

- حيث:-

**$M_{wb}$**  = المحتوى الرطوبى على أساس رطب , %

**$W_m$**  = كتلة الرطوبة في العينة , kg

**$W_d$**  = كتلة المادة الجافة (Dry matter) في العينة , kg

**$W_T$**  = الكتلة الكلية للعينة , kg

**$M_{db}$**  = المحتوى الرطوبى على أساس جاف , %

لتحويل المحتوى الرطوبى من على أساس جاف إلى محتوى رطوبى على أساس رطب تُستخدم المعادلة 3.2 بينما تُستخدم المعادلة 4.2 لتحويل المحتوى الرطوبى من على أساس رطب إلى محتوى رطوبى على أساس جاف كما يلي :

$$M_{wb} = \frac{100 * M_{db}}{100 + M_{db}}$$

$$M_{db} = \frac{100 * M_{wb}}{100 - M_{wb}}$$

طالما أن خواص الماء تختلف من خواص المكونات الأخرى للمادة الغذائية وأيضاً طالما أن الماء المكون الرئيسي ، لذلك يؤثر الماء على بقية الخواص الأخرى . المواد الغذائية لها قابلية تبادل الرطوبة في شكل بخار ماء مع هواء الوسط المحيط بها للوصول إلى حالة التوازن . المحتوى الرطوبى للمادة عند حالة التوازن يُسمى المحتوى الرطوبى المتوازن عند رطوبة نسبية ودرجة حرارة معينتين للهواء المحيط . تتبع أهمية المحتوى الرطوبى للتوازن في تأثيره على إمكانية التجفيف للهواء و إمكانية التخزين للمواد الغذائية ، حيث نجد أن المواد الغذائية ذات المحتوى الرطوبى الأقل من قيمته في حالة التوازن تقوم بكسب الرطوبة من هواء الوسط المحيط بينما العكس هو الصحيح للمواد الغذائية ذات المحتوى الرطوبى الأعلى من قيمته في حالة التوازن .

مصطلح المحتوى الرطوبى المتوازن يُستخدم للمواد الغذائية ذات المحتوى الرطوبى المنخفض أي أقل من 30% و هو الأمر الغالب بالنسبة لمعظم المواد الغذائية فإن الخاصية المرتبطة برطوبة المادة والأكثر استخداماً هي النشاط المائي . النشاط المائي : هو إحدى الخواص الديناميكية الحرارية . الإمكانية الكيميائية للرطوبة المحتوامة في المادة الغذائية مرتبطة بضغط بخار الرطوبة نفسها منسوباً إلى ضغط بخار الماء النقى . ضغط البخار النسبي هذا يُسمى النشاط المائي للمادة الغذائية وهو عامل يؤثر بقدر كبير على قابلية المادة الغذائية للفساد للرطوبة المحتوامة في المادة الغذائية قابلية أن تتحرك في شكل بخار ماء من المكان ذي ضغط البخار العالى إلى المكان ذي ضغط البخار المنخفض . فمثلاً إذا تم وضع ثمار فاكهة أو خضر طازجة في هواء الغرفة فإن المنتجات سوف تجف خلال زمن وجيز ، تفقد رطوبتها وأخيراً تصبح غير صالحة للأكل . لذا فإن تغليف هذا النوع وغيره من المواد الغذائية بمواد تغليف مختلفة يعمل على منع أو الحد من تبادل الرطوبة في شكل بخار ماء بين المادة الغذائية وهواء الوسط المحيط بها

#### قياس خاصية النشاط المائي

توجد عدة طرق لقياس النشاط المائي للمواد الغذائية وكل طريقة مزاياها وعيوبها وسوف ننطرق إلى ثلاثة طرق فقط كما يلي :

► الطريقة الوزنية Gravimetric method

► طريقة مقياس النشاط المائي Water activity meter

► طريقة مقياس الرطوبة النسبية Hygrometer method

### ► الطريقة الوزنية Gravimetric method

في هذه الطريقة توضع عينة للمادة الغذائية في إناء زجاجي محكم السد حيث تُعرض العينة إلى هواء رطوبته النسبية مُثبته عن طريق تحضير محلول ملحي مركز . درجة حرارة الهواء أيضاً مُثبته وذلك بوضع الإناء الزجاجي برمهته داخل حاضنة أو فرن عند درجة حرارة معينة. يتمأخذ قراءات لوزن العينة عند فترات زمنية منتظمة حتى الوصول إلى وزن ثابت وعندها يتم تحديد المحتوى الرطوبى للتوازن للمادة والذي يعني النشاط المائي لها. تميز هذه الطريقة في أنها سهلة . أقل تكلفة لكن يعاب عليها أنها قد تستغرق وقتاً طويلاً مما يعرض العينة المختبرة إلى نشاطات ميكروبية وفيزوكيميائية.

### ► طريقة مقياس النشاط المائي Water activity meter

في هذه الطريقة توضع عينة للمادة الغذائية في جهاز المقياس حيث تُعطى مباشرةً قيمة النشاط المائي للمادة. كما هو واضح فإنها سهلة وتتوفر كثير من الوقت والجهد والمال.

### ► طريقة مقياس الرطوبة النسبية Hygrometer method

في هذه الطريقة توضع عينة للمادة الغذائية في إناء محكم السد وتترك حتى نصل إلى حالة التوازن مع هواء الوسط المحيط بها وعندئذ يتم مباشرةً بجهاز قياس الرطوبة النسبية للتوازن للهواء والتي تعنى في نفس الوقت النشاط المائي للعينة . لذلك فهي أيضاً طريقة سهلة وتتوفر كثير من الوقت والجهد والمال . كما ورد سابقاً فإن تقدير الخواص الغذائية يتم بالالجوء إلى المصادر التي لا تشمل القياس التجارى مثل البيانات المنشورة في الكتب الدراسية ، الكنوبيات أو المعادلات الرياضية والبيانات المنشورة في هذه الكتب عادةً توجد في شكل جدول ، الجدول 1.2 في الشريحة التالية يوضح قيم النشاط المائي لبعض المواد الغذائية السائلة .

### جدول 1.2 : النشاط المائي لبعض المواد الغذائية السائلة

طور (Chen 1989) معادلة رياضية لحساب النشاط المائي لبعض المحاليل الغذائية والمعادلة المطورة هي مما يلى :

$$a_w = \frac{1}{1 + 0.018 * (\beta + Bm^n) * m}$$

حيث :-

$a_w$  = النشاط المائي للمحلول الغذائي ، كسر عشري

$m$  = المolarية ، بلا تمييز

$n$  = ثوابت تعتمد على نوع محلول الغذائي  $B$  ،  $\beta$

جدول 2.2 في الشريحة التالية يوضح قيم ثوابت المعادلة 6.2

المحلول	$\beta$	B	n	مدى المolarية
الجلوكوز	1	0.0424	0.926	اقل من 7.5
السكروز	1	0.1136	0.955	اقل من 6
كلوريد الصوديوم	1.868	0.0582	1.618	اقل من 6

طور (1967) Pfost et al. معادلة رياضية لحساب النشاط المائي لمعظم الحبوب والبقوليات والمعادلة المطورة هي كما يلي :

$$a_w = \exp\left\{\frac{-A}{(T + C)} * \exp(-B * M)\right\}$$

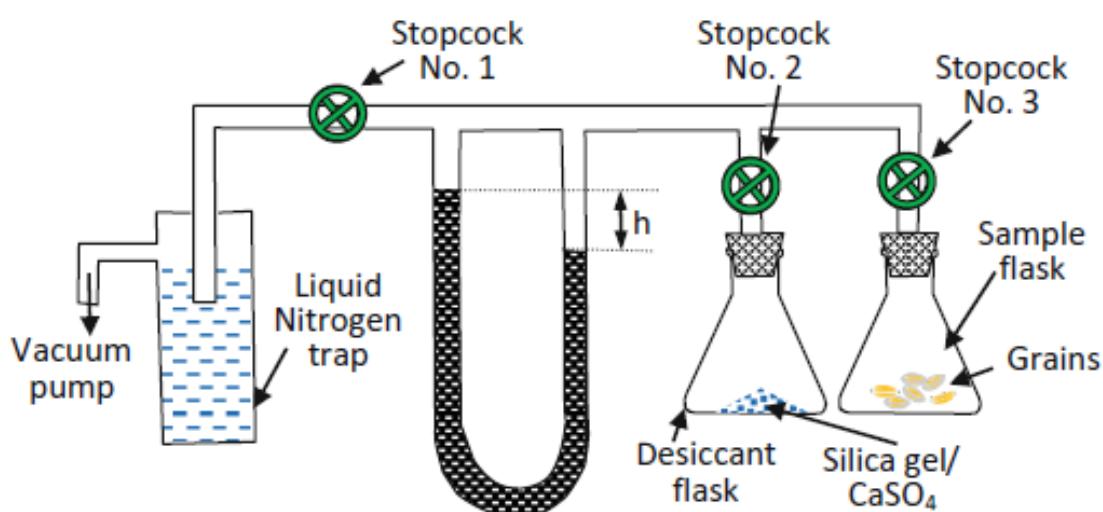
حيث :-

$a_w$  = النشاط المائي للمادة الغذائية كسر عشري

C , B , A = ثوابت تعتمد على نوع المادة الغذائية

T = درجة حرارة المادة الغذائية ,  $^{\circ}\text{C}$

M = المحتوى الرطوبي للتوازن للمادة الغذائية على أساس جاف , كسر عشري



جدول 3.2 في الشريحة التالية يوضح قيم ثوابت المعادلة 7.2

C	B	A	المادة الغذائية
91.323	19.889	761.66	الشعير
30.205	16.958	312.30	الذرة الصفراء
160.29	15.975	962.58	البقوليات
35.703	21.732	594.61	الأرز
33.892	29.243	254.90	الفول السوداني
50.998	17.609	529.43	القمح

طور (1968) Henderson et al. معادلة رياضية لحساب النشاط المائي لمعظم الحبوب والبقوليات والمعادلة المطورة هي كما يلي :

$$a_w = 1 - \exp\{-K * (T + C) * (100 * M)^N\}$$

حيث :-

$a_w$  = النشاط المائي للمادة الغذائية , كسر عشري

$N, C, K$  = ثوابت تعتمد على نوع المادة الغذائية

$T$  = درجة حرارة المادة الغذائية ,  $^{\circ}C$

$M$  = المحتوى الرطوبى للتوازن للمادة الغذائية على أساس جاف , كسر عشري

جدول 4.2 في الشريحة التالية يوضح قيم ثوابت المعادلة 8.2

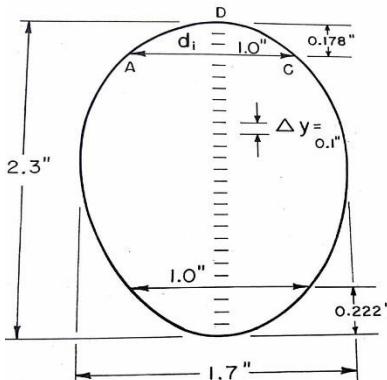
N	C	$K (* 10^{-5})$	المادة الغذائية
2.0123	195.267	2.2919	الشعيرية
1.8634	49.810	8.6541	الذرة الصفراء
1.8812	254.23	2.0899	البقوليات
2.4451	51.161	1.9187	الأرز
1.4984	50.561	65.0413	الفول السوداني

2.2857	55.815	2.3007	القمح
--------	--------	--------	-------

## أمثلة وتمارين

مثال 2:

أوجد مساحة السطح لبيضة طازجة تزن 60 جرام الموضع أبعادها في شكل 17.



شكل (17) أبعاد شكل البيضة لتحديد مساحة سطحها

الحل:  
1- عن طريق جمع مساحات الأسطح المختلفة.

في البداية، تم استشاف مقطعها المتتساقط (المواجه) باستخدام المكبر الفوتوغرافي (أو أي جهاز آخر). بعد ذلك تم تقسيم المقطع إلى قطعة دائرية عليا وقطعة دائرية سفلی وبينهما المقاطع الوسطى التي يساوي سمك كل منها ( $\Delta y$ ) كما هو واضح في شكل (17).

يمكننا افتراض أن القطعتين الدائرتين العليا والسفلى هي قطع دائرية من أشكال كروية. كما يمكننا افتراض أن المقاطع الوسطى بين القطعتين الدائرتين العليا والسفلى هي عبارة عن أسطوانات ارتفاعها ( $\Delta y$ ) وقطر كل منها ( $d_i$ ). وبافتراض أن هذه القطعات عبارة عن أشكال ناقصة لمخاريط دائرية مستقيمة والذي لا يغير كثيراً من مساحة السطح لهذا المقطع.

مساحة السطح لقطعة الكرة تساوي  $A = 2 \pi r_e h$ . حيث ( $r_e$ ) هو نصف قطر الكرة المكافئ

ويمكن إيجاده من المعادلة أدناه:

$$r_e = \frac{(AC)^2}{8BD} + \left( \frac{BD}{2} \right) = \frac{(AC)^2}{8h} + \frac{h}{2}$$

نصف قطر القطعة العليا:

$$\text{Upper radius} = \frac{(1)^2}{8 \times 0.178} + \frac{0.178}{2} = 0.791(\text{inch})$$

نصف قطر القطعة السفلی:

$$\text{Lower radius} = \frac{(1)^2}{8 \times 0.222} + \frac{0.222}{2} = 0.647 \text{ (inch)}$$

مساحة سطح القطعة العليا:

$$A_1 = 2\pi(0.791)(0.178) = 0.885 \text{ (in}^2\text{)}$$

مساحة سطح القطعة السفلى:

$$A_2 = 2\pi(0.674)(0.222) = 0.904 \text{ (in}^2\text{)}$$

مساحة مجموع أسطح الأسطوانات بين القطعتين العليا والسفلى:

$$A_3 = \sum_{i=1}^n \pi di \Delta y = \pi \Delta y \sum_{i=1}^n di$$

وبقياس القطر المتوسط  $(d_i = (d_{i1} + d_{i2})/2)$  على أبعاد  $(\Delta y)$  وجمع هذه الأقطار  $(\sum_{i=1}^n di)$  كما

هو واضح في العلاقة أعلاه نستطيع حساب قيمة  $(A_3)$ :

$$A_3 = 8.95 \text{ (in}^2\text{)}$$

إذن، المساحة الكلية  $(A_T)$  وهي مجموع مساحة القطعة الدائرية العليا والسفلى والاسطوانات هي:

$$\text{Total Area } (A_T) = A_1 + A_2 + A_3$$

$$= 0.885 + 0.904 + 8.95 = 10.24 \text{ in}^2$$

### مثال 3:

أوجد الحجم والكتافة النوعية لتفاحة باستخدام ميزان المنصة، البيانات المتحصلة كالتالي:

$$\text{كتلة التفاحة في الهواء} = 129.78 \text{ جم}$$

$$\text{كتلة الوعاء + الماء} = 1000 \text{ جم}$$

$$\text{كتلة الوعاء + الماء + التفاحة المغمورة} = 1160 \text{ جم}$$

بافتراض أن الكثافة النوعية للماء تساوي 1 وأن كثافته تساوي  $1 \text{ (جم/سم}^3\text{)}$  = كتلة/حجم

الحل:

$$\text{كتلة الماء المزاح} = 1000 - 1160 = 160 \text{ جم}$$

$$\text{حجم التفاحة} = \text{حجم الماء المزاح} = 160 \text{ (جم) / 1 (جم/سم}^3\text{)} = 160 \text{ سم}^3$$

$$\text{كثافة التفاحة} = \text{كتلة التفاحة في الهواء} / \text{حجم التفاحة} = 129.78 / 160 = 0.811 \text{ جم/سم}^3 \text{ و}$$

$$\text{الكتافة النوعية لتفاحة} = 0.811 = 160 / (1 \times 129.78)$$

مثال 4:

أوجد حجم 16 حبة من الذرة الشامية إذا تم تزويدك بالمعلومات التالية:

$$\begin{array}{lll}
 \text{كتلة العينة} & = & 4.4598 \text{ جم} \\
 \text{كتلة الوعاء} & = & 55.6468 \text{ جم} \\
 \text{كتلة الوعاء + التولوين} & = & 78.2399 \text{ جم} \\
 \text{كتلة الوعاء + التولوين + العينة} & = & 79.6226 \text{ جم} \\
 \text{كتلة الوعاء + الماء} & = & 81.7709 \text{ جم}
 \end{array}$$

الحل:

$$\text{الكثافة النوعية للتولوين} = \frac{78.2399 - 79.6226}{55.6468 - 4.4598} = 0.8648$$

$$1.256 = \frac{4.4598 \times 0.8648}{[(78.2399 - 79.6226) - 4.4598]} = \text{الكثافة النوعية للذرة الشامية}$$

$$3.558 = \frac{\frac{4.4598}{1.256}}{\frac{78.2399 - 79.6226}{4.4598}} = \frac{\text{كتلة العينة}}{\text{كثافة العينة}} = \text{حجم العينة}$$

مثال 5:

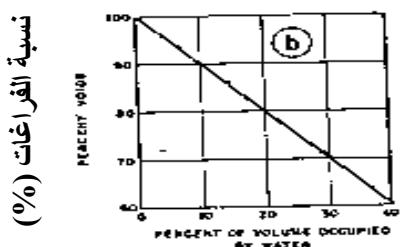
أوجد المسامية لحبوب الذرة الشامية الجافة عند ملء تنك (2) (كما هو واضح في شكل 22) بعينة من المنتج، وكانت كثافته الكمية 47 رطل/قدم<sup>3</sup>. وكانت قراءات الضغط كما يلى:  $P_1 = 15.2$  (in Hg) ،  $P_3 = 10.4$  (in Hg)

الحل:

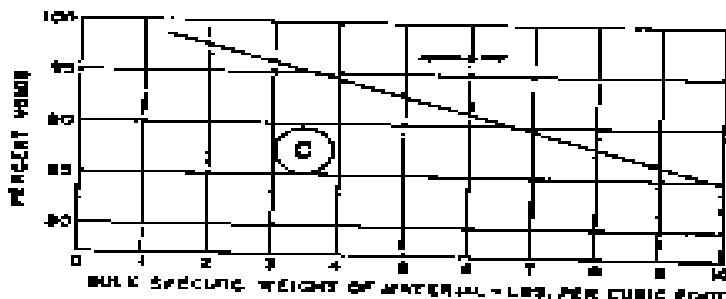
باستخدام معادلة (17) يمكن إيجاد مسامية حبوب الذرة الشامية كما يلى:  
 $\text{المسامية} = (\text{حجم الفراغات} \div \text{الحجم الكلى})$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{15.2 - 10.4}{10.4} = 0.46$$

وقد تم معايرة الجهاز باستخدام الماء في تنك (2) والنسبة المئوية للفراغات في علف البرسيم المقطع كما في الشكلين (23) و (24) على الترتيب.



شكل (23) معايرة جهاز إيجاد المسامية باستخدام الماء في تتك (2).



الكثافة النوعية الكمية للمنتج (رطل/قدم³).

### مثال 6

عينة من القمح كتلتها g 20 وُضعت في فرن عند درجة حرارة 130 oC لمدة ساعتين حيث أُزيلت الرطوبة تماماً من عينة القمح . إذا كانت الكتلة النهائية للعينة g 16 ، أحسب المحتوى الرطوبي لعينة القمح على أساس رطب وعلى أساس جاف .

### الحل

تُستخدم المعادلة 1.2 لحساب المحتوى الرطوبي على أساس رطب و المعادلة 2.2 لحساب المحتوى الرطوبي على أساس جاف كالتالي

$$M_{wb} = \frac{W_m}{W_T} * 100 = \frac{W_m}{W_m + W_d} * 100 \quad 1.2$$

$$M_{wb} = \frac{4g}{4g + 16g} * 100 = 20\%$$

$$M_{db} = \frac{W_m}{W_d} * 100$$

$$M_{db} = \frac{4G}{16G} * 100 = 25\% \quad 2.2$$

**مثال 7:**

محلول جلوكوز له مولارية 4 , بإستخدام المعادلة 6.2 والجدول 2.2 أحسب النشاط المائي للمحلول .

**الحل:**

تُستخدم المعادلة 6.2 والجدول 2.2 لحساب قيمة النشاط المائي لمحلول الجلوكوز وبالتعويض المباشر في

مدى المولارية	N	B	$\beta$	المحلول
أقل من 7.5	0.926	0.0424	1	الجلوكوز

المعادلة نحصل على الجواب كما يلي:

من الجدول 2.2 فإن قيم الثوابت للمعادلة 6.2 هي كما يلي :

$$a_w = \frac{1}{1 + 0.018 * (\beta + Bm^n) * m} = 6.2$$

$$a_w = \frac{1}{1 + 0.018 * (1 + 0.0424 * 6^{0.926}) * 6} = 0.88$$

**مثال 8:**

فول سوداني عند درجة حرارة 30°C وله محتوى رطوبى للتوازن يساوى 5.8% على أساس جاف .  
بإستخدام المعادلة 7.2 والجدول 3.2 أحسب قيمة النشاط المائي للفول تحت ظروف التخزين هذه .

**الحل**

تُستخدم المعادلة 7.2 والجدول 3.2 لحساب قيمة النشاط المائي للفول السوداني بعد تحويل المحتوى الرطوبى للتوازن من نسبة إلى كسر عشري أي يصبح 0.058 وبالتعويض المباشر في المعادلة نحصل على الجواب كما يلي : من الجدول 3.2 فإن قيم الثوابت للمعادلة 7.2 هي كما يلي :

C	B	A	المادة الغذائية
7.2	33.892	29.243	الفول السوداني

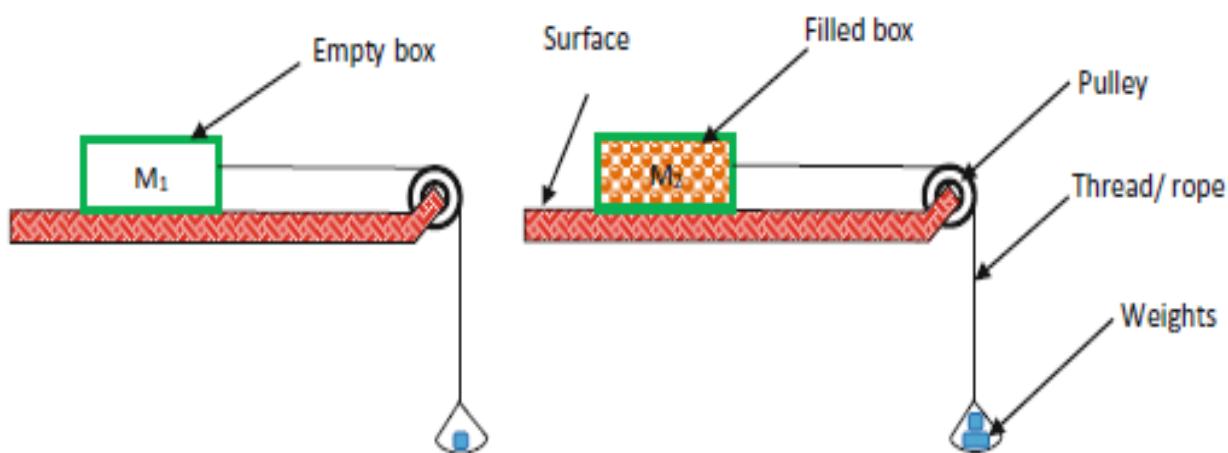
$$a_w = \exp\left\{\frac{-A}{(T + C)} * \exp(-B * M)\right\}$$

$$a_w = \exp\left\{\frac{-254.90}{(30 + 33.892)} * \exp(-29.243 * 0.058)\right\} = 0.48$$

## قياس معامل الاحتكاك

### Coefficient of External Friction

يتميز المعامل الخارجي للاحتكاك بالاحتكاك بين الحبيبات وسطح الآلة أو هيكل التخزين. جهاز تحديد معامل الاحتكاك الخارجي له صندوق / إطار لحفظ المادة (الشكل 20). يظل الصندوق مفتوحاً من الأسفل حتى تظل الحبيبات على اتصال بسطح مادة الاختبار. في البداية ، يتم الاحتفاظ بالأوزان على المقلة لبدء حركة الصندوق الفارغ. يتم إجراء الاختبار مرة أخرى بعد ملء المادة الموجودة في الصندوق ، ويستخدم التعبير التالي لتقدير معامل الاحتكاك الخارجي:



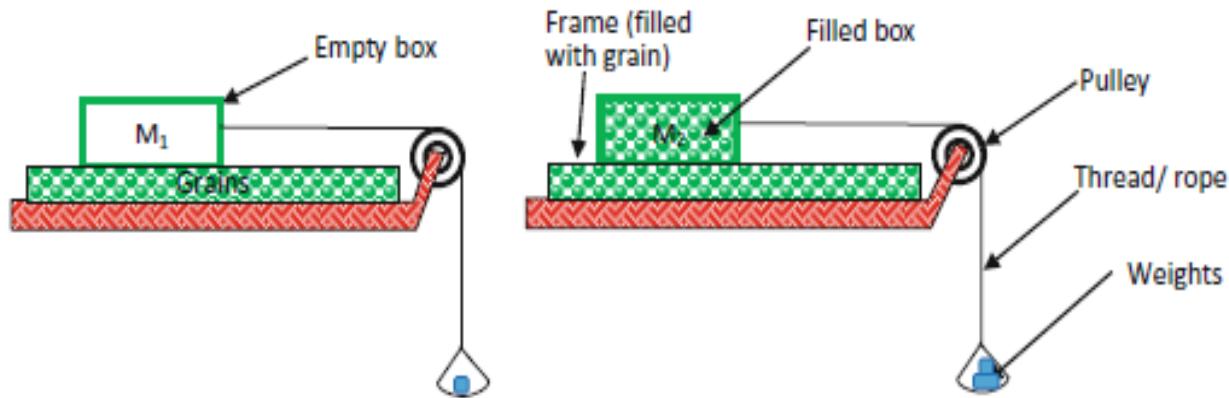
$$\text{Coefficient of external friction, } \mu' = \frac{M_2 - M_1}{M}$$

حيث  $M$  هي كتلة العينة في الصندوق (g) ، والكتلة  $M_1$  التي يتم الاحتفاظ بها على كفة الميزان لتسبيب انزلاق الصندوق الفارغ (g) ، والكتلة  $M_2$  التي يتم الاحتفاظ بها على كفة الميزان للتسبيب في انزلاق الصندوق المملوء (z).

### معامل الاحتكاك الداخلي

يتميز معامل الاحتكاك الداخلي بالاحتكاك بين الحبيبات. يتم تعديل جهاز تحديد معامل الاحتكاك الخارجي عن طريق تثبيت إطار على السطح المنزلاق لحفظ المادة على الحبيبات وجعل السطح متساوياً (الشكل 2.15). يظل الصندوق مفتوحاً من الأسفل كما هو مذكور في الاحتكاك الخارجي بحيث تظل الحبيبات على اتصال مع سطح الحبوب المنتشرة بالتساوي في الإطار. في البداية ، تم الاحتفاظ بالأوزان على المقلة لبدء حركة

الصندوق الفارغ. يتم إجراء الاختبار مرة أخرى بعد ملء المادة الموجودة في الصندوق ، ويستخدم التعبير التالي لتقدير معامل الاحتكاك الداخلي:



$$\text{Coefficient of internal friction, } \mu = \frac{M_2 - M_1}{M}$$

حيث  $M$  هي كتلة العينة في الصندوق (g) ، والكتلة  $M_1$  التي يتم الاحتفاظ بها على كفة الميزان لتسبيب انزلاق الصندوق الفارغ (g) ، والكتلة  $M_2$  التي يتم الاحتفاظ بها على كفة الميزان للتسبيب في انزلاق الصندوق المملوء (z).

## تمارين

- 1- فول سوداني عند درجة حرارة  ${}^{\circ}\text{C}$  30 وله محتوى رطوبى للتوازن يساوى 5.8% على أساس جاف . بإستخدام المعادلة 8.2 والجدول 4.2 أحسب قيمة النشاط المائي للفول تحت ظروف التخزين.
- 2- تقاحة كتلتها تساوى g 140 وحجمها يساوى  $2 \times 10^{-4} \text{ m}^3$  ، أحسب الكثافة الظاهرية للتقاحة بوحدات  $\text{Kg/m}^3$  .
- 3- صومعة خرسانية تسع 100000 tones من الحبوب . إذا كانت متوسط الكثافة الظاهرية للقمح يساوى 800 ، أحسب حجم الصومعة بالأمتار المكعبة (1 tone = 1000 kg)

## الخواص الريولوجية للمنتجات الزراعية

### Rheological properties of Agricultural Products

الاهداف: فى نهاية هذا الفصل يكون الطالب قادرًا على :

- 1 معرفة أهمية الخواص الريولوجية
- 2 تصنیف المنتجات الغذائية طبقاً للسلوك الريولوجي
- 3 قیاس اللزوجة للمنتجات
- 4 دراسة اختبارات المواد اللزجة المرنة

مقدمة:

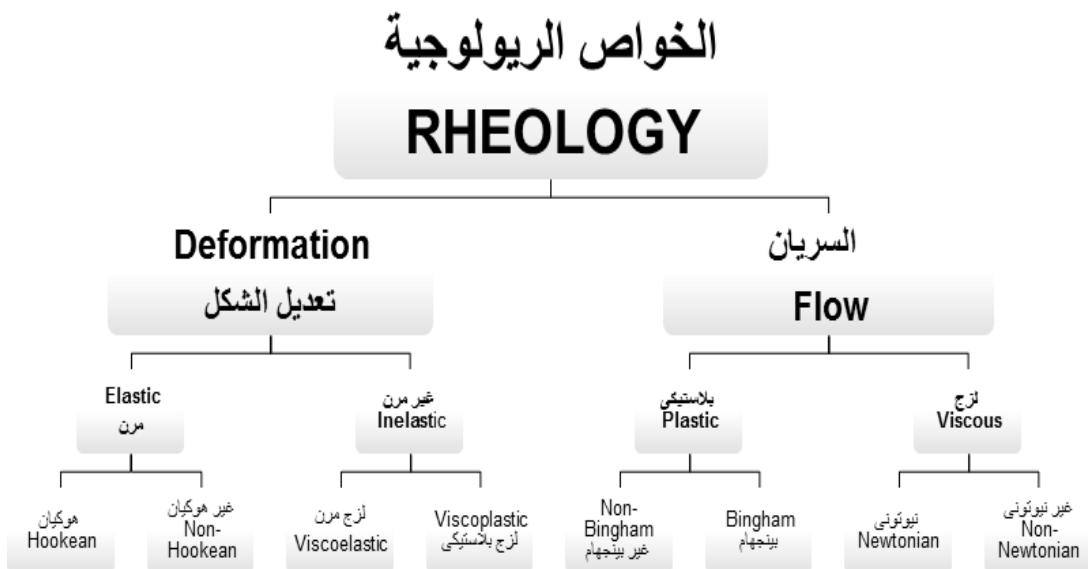
في هذا الفصل ، تتم مناقشة الخصائص الريولوجية للأغذية ، مع التركيز على مبادئ سلوك التدفق وتشكل النظم الغذائية. مبادئ الزوجة وقياس الملمس والأجهزة المستخدمة في هذه القياسات تم شرحها بالتفصيل. بالإضافة إلى ذلك ، النماذج المستخدمة لفهم ريلوجيا المواد الغذائية.

يتم تعريف الخواص الريولوجية كخصائص ميكانيكية تؤدي إلى التشكيل وتدفق المواد في وجود الإجهاد. الزوجة ثابتة ومستقلة عن معدل القص في السوائل النيوتونية. أما إذا كان السائل غير نيوتوني ، فقد تزداد الزوجة أو تقل مع زياده معدل القص. وبالنسبة للسوائل الرقيقة ، تتناقص الزوجة مع زيادة معدل القص و أثناء القص السوائل السميكة تزداد الزوجة مع زيادة معدل القص. وتحتاج السوائل المرنة إلى اجهاد وذلك للتدفق . بالنسبة للسوائل المعتمدة على الوقت ، تتغير الزوجة فيما يتعلق بالوقت. ومن أدوات قياس الزوجة الأكثر شيوعا هي الخاصيه الشعريه ، فتحة النوع ، كرة السقوط ، ومقاييس الزوجة الدورانية. الأطعمة التي تظهر على حد سواء المكونات اللزجة والمرنة تعرف باسم الاطعمه الزوجة. يمكن تحديد خواص المواد الزوجة المرنة بواسطة اختبار استرخاء الإجهاد واختبار الزحف والاختبار الديناميكي. يستخدم نموذج ماكسويل لتقدير استرخاء الإجهاد في السوائل اللزجة.. يستخدم نموذج كيلفن فويت لوصف الزحف. وعند الجمع بين نموذج كافن ونموذج ماكسويل ينتج نموذج باسم نموذج برغر.

التشكيل الجانبي للمواد من المواد الغذائية بما في ذلك الخصائص مثل صلابة ، اللثة ، التصاق ، يمكن تحديد التماسك والكسور والبراعة والمضخن باستخدام نسيج محل. و يمكن دراسة الريولوجيا العجين باستخدام (الألفيغراف والاكتسوسوجراف والفارينوجراف والمكسوجراف )

#### أهمية علم الريولوجي:

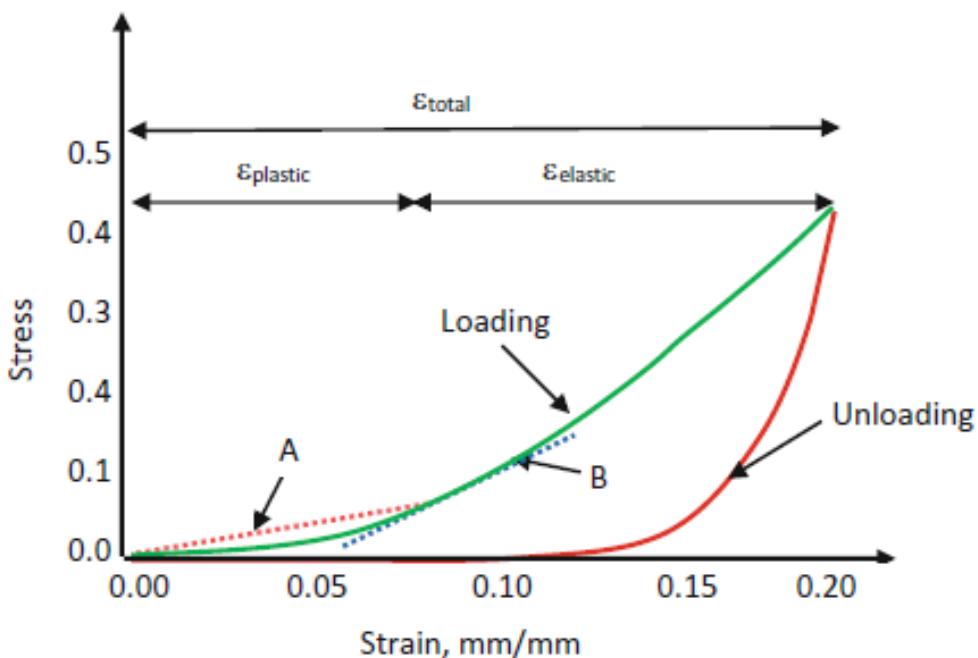
الريولوجي هو العلم الذي يدرس تشكل المواد تحت تأثير الإجهادات والصفات الريولوجية مطلوبة في تقييم جودة المنتج ، والحسابات الهندسية الخاصة بتصميم خطوط التصنيع الغذائي. حيث يعتبر فهم سلوك التدفق ضروري لتحديد حجم المضخة والأنباب المستخدمة وكذلك ومتطلبات الطاقة مثل على ذلك. ويمكن تقسيم علم الريولوجي إلى عده فروع مختلفه كما هو واضح في الشكل التالي:



عندما يتم تطبيق الضغط ، فإن الانفعال المنتجة على الفور تتناسب مع الإجهاد المطبق. في ضغط عينة الطعام ، يظهر سلوك منحنى الإجهاد والانفعال في الشكل 2.20. أثناء تفريغ الضغط ، تُعرف كمية الإجهاد التي يتم استعادتها بسبب المكون المرن لعينة الطعام بالضغط المرن ، بينما تُعرف الانفعال غير المسترد بسبب الطبيعة البلاستيكية لعينة الطعام باسم الإجهاد البلاستيكي. يُعرف جزء السلاسل المرنة والبلاستيكية بدرجة المرونة ودرجة اللدونة ، على التوالي. تُعرف المواد الصلبة التي تتعاوِن تمامًا بعد إزالة الضغط بأنها صلبة مرنة خالصة أو صلبة خطافية. حجم نسبة الإجهاد إلى الإجهاد يسمى المعامل. بالنسبة للمواد الصلبة الخطافية ، اعتماداً على طريقة تطبيق الضغط ، يمكن تحديد ثلاثة أنواع من المعاملات (الجدول 2.2).

يمكن حساب نسبة بواسون ( $\mu$ ) من خلال نسبة الانفعالات ، بشكل عمودي وفي اتجاه القوة المطبقة [6].

إذا لم يحدث تغيير الحجم في المادة ، عند شدها أو ضغطها ، تكون نسبة بواسون لهذه المادة 0.5. المادة التي يمكن ضغطها دون أي تغيير في القطر بسبب وجود كمية كبيرة من الهواء في الهيكل ، نسبة بواسون هي صفر

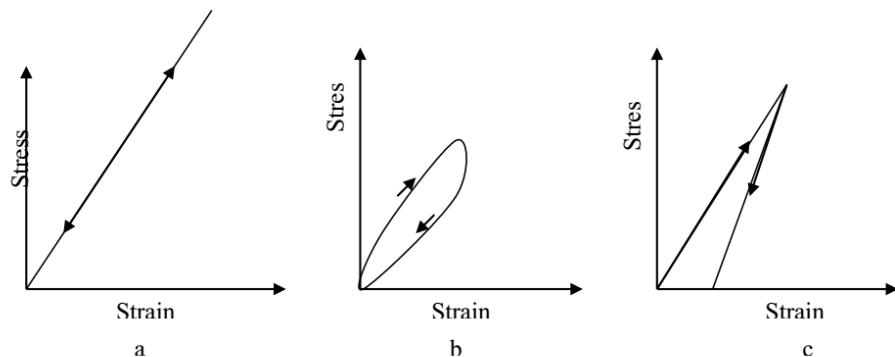


شكل 5-1

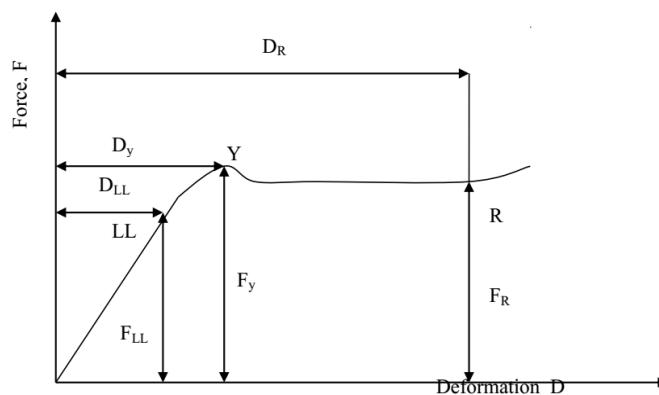
جدول 2-2

Modulus	Stress type	Strain type	Expression
Modulus of elasticity: It is referred to as Young's modulus and can be defined as the ratio of normal stress to normal strain	(E)	Normal ( $\sigma$ )	$E = \sigma/\epsilon$
Modulus of rigidity: It is referred to as shear modulus and can be defined as the ratio of shear stress to shear strain	(G)	Shear ( $\tau$ )	$G = \tau/\gamma$
Bulk modulus: It can be defined as the ratio of pressure applied from all the directions to volumetric strain	(K)	Pressure ( $\Delta P$ )	$K = \Delta P / \Delta V$

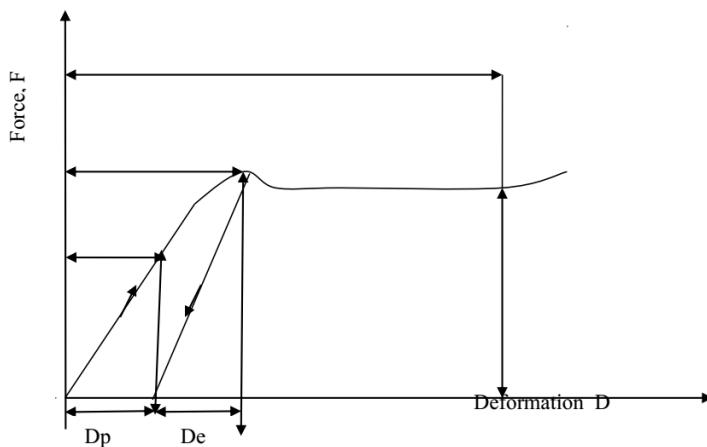
$$\mu = \frac{\text{Change in width per unit width}}{\text{Change in length per unit length}} = \frac{\Delta D/D}{\Delta L/L}$$



a, An ideal elastic behavior linear elasticity    b, non linear elasticity              c, inelasticity in agricultural material



Force – Deformation curve for an agricultural product LL- Linear Limit; Y - Biyield point;  
R – rapture point



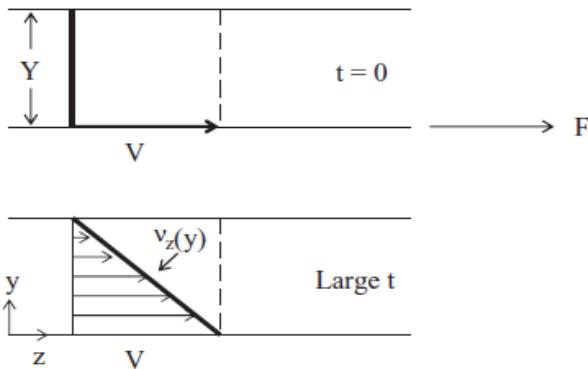
Degree of elasticity for loading – unloading curve  $D_e$  elastic or recoverable deformation;  $D_p$  plastic or residual deformation

## تدفق المواد Flow of Materials

### قانون نيوتن للزوجة : Newton,s law of viscosity

بفرض وجود سائل ما بين اثنين من الألواح الكبيرة المتوازية ذات مساحه A ، بينهما مسافة صغيرة (y) النظام في البداية في راحة او سكون ولكن عن زمن (t=0) ، يتحرك اللوح السفلى في الحركة في اتجاه z وبسرعة ثابتة ( V ) من خلال تعرضه لقوة ( F ) في اتجاه z بينما يبقى اللوح العلوي ثابت . وعند زمن

(t=0) تكون السرعة صفر في كل مكان باستثناء اللوح السفلى ، التي لها سرعة V (الشكل 18). ثم يبدأ توزيع السرعة في الزيادة كدالة للزمن وأخيرا ، يتم الوصول إلى حالة مستقرة و يتم الحصول على توزيع منتظم للسرعة الخطية. تم العثور على سرعة السائل تجريبياً على أنها تختلف بطريقه خطياً عن صفر في اللوح العلوي إلى السرعة V في اللوح السفلى.



شكل 18

تظهر النتائج التجريبية أن القوة المطلوبة لحفظ على حركة اللوح السفلى لكل وحدة المساحة متناسبة مع التدرج الكبير في السرعة وثابت التناوب ( $\mu$ ) هي لزوجة المائع والقانون المستخدم هو

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{V}{Y} \quad (2.1)$$

يُعرف الصيغة النهاية لهذه المعادلة بقانون لزوجة نيوتن

$$\tau_{yz} = -\mu \frac{dv_z}{dy} = -\mu \dot{\gamma}_{yz}$$

where

$\tau_{yz}$  = shear stress ( $N/m^2$ ),  
 $\mu$  = viscosity (Pa·s),  
 $\dot{\gamma}_{yz}$  = shear rate (1/s).

يحتوى إجهاد القص ومعدل القص على جزئين: يمثل z اتجاه القوة ويمثل y الاتجاه الطبيعي إلى السطح الذي تعمل عليه القوة. يتم تقديم علامة سلبية في المعادلة لأن تدرج السرعة سالبة ، أي تقل السرعة في اتجاه نقل الحركة .

## مثال 2.1

لوحين متوازيين على بعد 0.1 متر. اللوح السفلى ثابت بينما اللوح العلوي يتحرك بسرعة V (الشكل E.2.2.1). والسائل المار بين اللوحين هو الماء، والتي لديها لزوجة 1 cp

1- حساب جهد القص اللازم لحفظ على اللوح العلوي في الحركة بسرعة 0.30 متر / ثانية

2- إذا تم استبدال الماء بسائل اخر ذو اللزوجة 100 cp ، وظل جهد القص ثابت اوجد السرعة الجديدة للوح العلوي.

### الحل

$$\mu_w = 1 \text{ cp} = 1 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

$$\tau_{yx} = -1 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s} \frac{(0 - 0.3) \text{ m/s}}{(0.1 - 0) \text{ m}} = 0.003 \text{ Pa}$$

$$(b) \mu = 100 \text{ cp} = 0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$0.003 = -0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s} \frac{(0 - V) \text{ m/s}}{(0.1 - 0) \text{ m}} \Rightarrow V = 0.003 \text{ m/s}$$

تعرف اللزوجة الديناميكية بأنها مقاومة السائل للتدفق. وحدة اللزوجة الديناميكية هي البواز (g / cm · s) في نظام CGS. اللزوجة تختلف مع درجة الحرارة. تأثير درجة الحرارة على لزوجة السوائل والغازات مرتبطة بالفرق في تركيبها الجزيئي. لزوجة معظم السوائل يتناقص مع زيادة درجة الحرارة.

تم اقتراح نظريات حول تأثير درجة الحرارة على لزوجة السوائل. علي حسب نظرية Bird، (1960)، هناك فراغات في السائل وجزيئات المادة تنتقل باستمرار إلى هذه الفراغات. هذه العملية تسمح بالتدفق ولكنها تتطلب طاقة التحفيز وهي مطلوبة بدرجات الحرارة المرتفعة وبالتالي يتدفق السائل بسهولة. تأثير درجة الحرارة على اللزوجة يمكن وصفه بواسطة معادلة نوع Arrhenius

$$\mu = \mu_\infty \exp \left( \frac{E_a}{RT} \right) \quad (2.3)$$

where

$E_a$  = activation energy (J/kg mol),

$R$  = gas constant (8314.34 J/kg mol K),

$T$  = absolute temperature (K),

جزيئات السائل متقاربة بواسطه قوى تماسك قوية بينهما. يمكن تفسير اعتماد اللزوجة على درجه الحراره بواسطه قوى التماسك بين الجزيئات (Munson ، يونغ ، وأوكيشي ، 1994). مع ارتفاع درجة الحرارة تنخفض قوى التماسك بين الجزيئات ويصبح تدفق السائل اكثربسهوله ونتيجة لذلك ، تتناقص لزوجة السوائل مع زيادة درجة الحرارة. تلعب قوى الجزيئات (المتماسكة) دوراً مهماً.

في معظم السوائل ، تكون اللزوجة ثابتة حتى ضغط 10.134 ميجاباسكال ، لكن تزداد اللزوجة عند زياده الضغط عن القيمه المحدده.

في الغازات ، على عكس السوائل ، الجزيئات متباude على نطاق واسع والقوى الجزيئية ضئيلة. و في معظم الغازات تزداد اللزوجة مع زيادة درجة الحرارة ، والتي يمكن التعبير عنها بواسطة النظرية الحركية . و تم إجراء أول تحليل للزوجe بواسطة النظرية الحركية بواسطة ماكسويل في عام 1860. المقاومة للحركة النسبية هي نتيجة لتبادل قوة دفع جزيئات الغاز بين طبقات متجاورة. كما يتم نقل الجزيئات عن طريق حركة عشوائية من منطقة منخفضة السرعة حتى يختلط مع الجزيئات في منطقة السرعة العالية (والعكس بالعكس) وهناك تبادل لقوى الدفع حيث يقاوم الحركة النسبية بين الطبقات.

### **الموائع الزلجية : Viscous fluids**

الموائع الزلجية : تميل إلى تغيير شكلها باستمرار تحت تأثير إجهاد مطبق عليها ويمكن تقسيمها إلى نوعين مما :

#### **موائع نيوتونية Newtonian fluids**

تسمى السوائل التي تتبع قانون لزوجة نيوتن (مثال 2.2) السوائل النيوتونية. ميل منحنى إجهاد القص في الرسم البياني لمعدل القص واللزوجة ثابت ومستقل عن معدل القص في السوائل النيوتونية (الشكل 2.4). الغازات والزيوت والماء؛ ومعظم السوائل التي تحتوي على أكثر من 90 % الماء مثل الشاي والقهوة والمشروبات الغازية وعصائر الفاكهة واللحمي تظهر السلوك النيوتوني.

#### **موائع غير نيوتونية Non – Newtonian fluids**

تعرف السوائل التي لا تتبع قانون لزوجة نيوتن بالسوائل غير النيوتونية. سواء القص الرقيق أو القص السميك وتتبع نموذج قانون الطاقة (معادلة Ostwald-de Waele :

$$\tau_{yz} = k \left( \frac{dv_z}{dy} \right)^n = k(\dot{\gamma}_{yz})^n \quad (2.12)$$

where

$k$  = the consistency coefficient ( $\text{Pa} \cdot \text{s}^n$ ),  
 $n$  = flow behavior index.

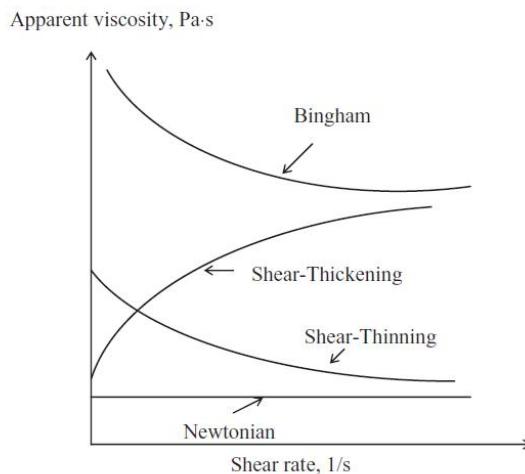


Figure 2.4 Apparent viscosities of time-independent fluids.

للسوائل ذات القص الرقيق (سوائل مرنة)  $n < 1$  ، للسوائل ذات القص السميك  $n > 1$  مكن اعتبار السوائل النيوتونية حالة خاصة لهذا النموذج حيث  $n = 1$  و  $\mu = k$ . ميل منحنى إجهاد القص في الرسم البياني لمعدل القص ليس ثابتة للسوائل غير النيوتونية (الشكل 2.4). بالنسبة لمعدلات القص المختلفة ، يتم ملاحظة لزوجة مختلفة. تباين الزوجة الواضحة مع معدلات القص لأنواع مختلفة من السوائل غير النيوتونية مبينة في الشكل 2.4.

غالباً ما يستخدم الرمز ( $\eta$ ) لتمثيل الزوجة الواضحة عن الزوجة البحتة والزوجة النيوتونية ( $\mu$ ). لذلك تسمى نسبة إجهاد القص إلى معدل القص المقابل للزوجة الواضحة عند معدل القص.

$$\eta(\dot{\gamma}) = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.13)$$

الزوجة النيوتونية متطابقة مع السوائل النيوتونية ولكن الزوجة الظاهره تتبع قانون الطاقة وهو

$$\eta(\dot{\gamma}) = \frac{k(\dot{\gamma})^n}{\dot{\gamma}} = k(\dot{\gamma})^{n-1} \quad (2.14)$$

السوائل القص الرقيق . في هذه الأنواع من السوائل ، حيث كلما زاد معدل القص قل الاحتكاك بين الطبقات . القص يسبب جزيئات متشابكة طولية السلسلة تتماشى مع التدفق ، مما يقلل من الزوجة. مثال نموذجي لسوائل القص الرقيق هو الطلاء. عندما يكون الطلاء على السطح عندما لا يتم تطبيق الفرشاة تزداد الزوجة ويعنها من التتدفق تحت تأثير الجاذبية و عندما يتم تطبيق الطلاء على سطح بالفرشاة تقل الزوجه.. منتجات الفاكهة والخضروات مثل التفاح يعتبر هريس الموز وعصائر الفاكهة المركزه من الأمثلة الجيدة على السوائل اللزجة .

لذلك تقسم السوائل الغير نيوتنية الى:

### موابع مُخففة القص Shear – thinning fluids

في هذا النوع من الموابع (يُمثله المنحنى الأحمر في الشكل 4.8) ، كلما إزداد معدل القص يزداد إجهاد القص بمعدل متنافق في شكل المنحنى مُقعرًا إلى أسفل . معجون الموز ، **صلصة التفاح** وعصائر الفاكهة المركزة تُعتبر من أمثلة جيدة لهذا النوع من الموابع

### موابع مُقلظة القص Shear – thickening fluids

في هذا النوع من الموابع (يُمثله المنحنى الأخضر في الشكل 4.8) ، كلما إزداد معدل القص يزداد إجهاد القص بمعدل متزايد في شكل المنحنى مُقعرًا إلى أعلى . **معلقات نشا الذرة الصفراء** يُعتبر مثال جيد لهذا النوع من الموابع.

## سريان الموائع اللانيوتونية Non-Newtonian Fluid flow

تكلمنا عن سريان الموائع النيوتونية بمعنى أنها يتحكم في تدفقها أو سريانها قانون نيوتن وعامة سلوك أي مادة يتبع احدى الحالات الثلاثة التالية :

المرنة Elasticity - اللدونة Plasticity - اللزوجة Viscosity .

ففي حالة السلوك المرن المثالي يكون الاجهاد ( $\tau$ ) الواقع على جسم ما يتناسب تناسبا طرديا مع الانفعال (٧) والذي يحكمه قانون هوك Hook's Law

$$\tau = E \gamma$$

حيث  $E$  هو معامل المرنة أو معامل يانج Young Modulus وإذا أثرت قوة ما على مادة صلبة لا ينتج عنها حركة حتى نصل الى اجهاد الخضوع Yield Stress حيث تكون الحركة لا حدود لها تحت تأثير هذه القوة فيكون ذلك ممثلا للدونة .

ومعظم المنتجات الغذائية تسلك سلوكا مختطا بين المواد المرنة واللزجة وتختلف في ذلك عن سلوك المواد (الموائع) النيوتونية بمعنى أن العلاقة التي تحكم تتناسب اجهاد القص مع معدل القص علاقة غير خطية تعتمد على كل من الزمن ومعدل التناقص في سرعة الطبقات على بعضها .

وفي محاولات عديدة وجد أن أنساب علاقة لتمثيل السلوك الغير نيوتوني رياضيا هو استخدام ما يسمى قانون الأس Power Law

$$\tau = K \gamma^n$$

حيث :

$k$  = معامل القوام وهو ما يعادل معامل اللزوجة في حالة الموائع النيوتونية .

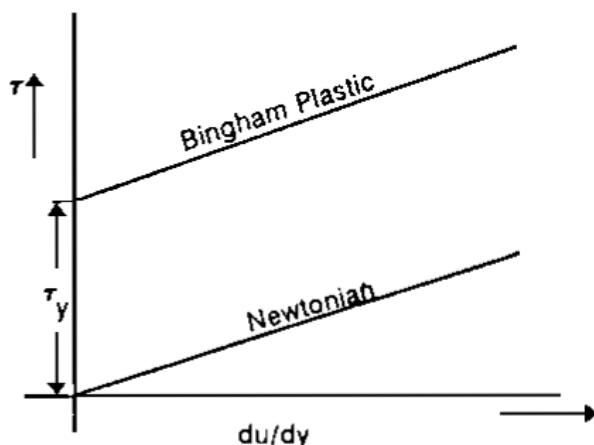
$n$  = الأس ويساوي الواحد الصحيح في حالة الموائع النيوتونية .

ويمكن تقسيم الموائع غير النيوتونية الى مائي .

### 1- موائع بنجهام بلاستيك Bingham Plastic Fluids

وهي مواد لها خاصية عدم البدء في السريان أو التدفق قبل الوصول الى اجهاد خضوع Yield Stress وبعدها يكون السريان لزج عادي .

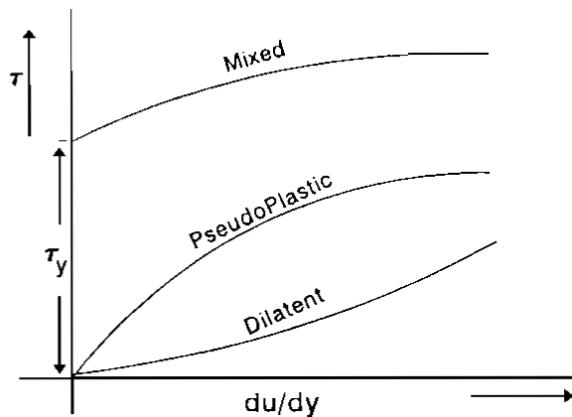
$$\tau = K \left( -\frac{du}{dy} \right) + \tau_y$$



العلاقة بين اجهاد القص ومعدل القص

### 2- موائع شبیهه البلاستيك : Pseudo Plastic Fluids

وهي تمثل أغلبية السوائل الغير نيوتونيه حيث يكون هناك تناقص في اجهاد القص كلما زاد معدل القص وبذلك تكون قيمة  $n$  أقل من الواحد الصحيح ويكون منحنى السريان مقعرًا الى اسفل .



الموائع المختلفة

### 3- موائع ديلاتينيه : Dilatent Fluids

وفيها يكون هناك زيادة في اجهاد القص كلما زاد معدل القص وتكون قيمة  $n$  أكبر من الواحد الصحيح وبذلك يكون منحنى السريان مقعرًا الى اعلي كما بالشكل السابق

### 4- موائع مختلطة : Mixed Fluids

وفيها يكون هناك اجهاد خضوع قبل السريان الشبه بلاستيكي كما هو مبين في الشكل السابق و يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية :

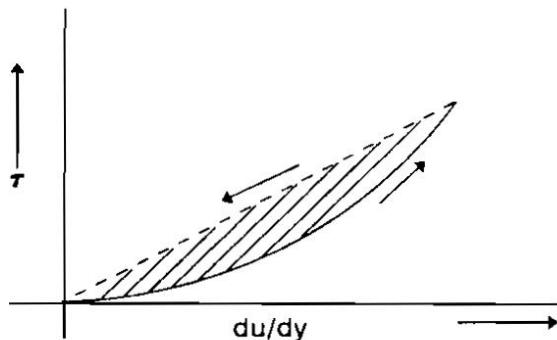
$$\tau = K \left( -\frac{du}{dy} \right)^n + \tau_y$$

وهي الحالة العامة للموائع المختلطة .

في حالة المواد شبه بلاستيكية و تكون  $n > 1$  ،  $\tau_y = \text{صفر}$

في حالة المواد الديلاتينية و تكون  $n < 1$  ،  $\tau_y = \text{صفر}$

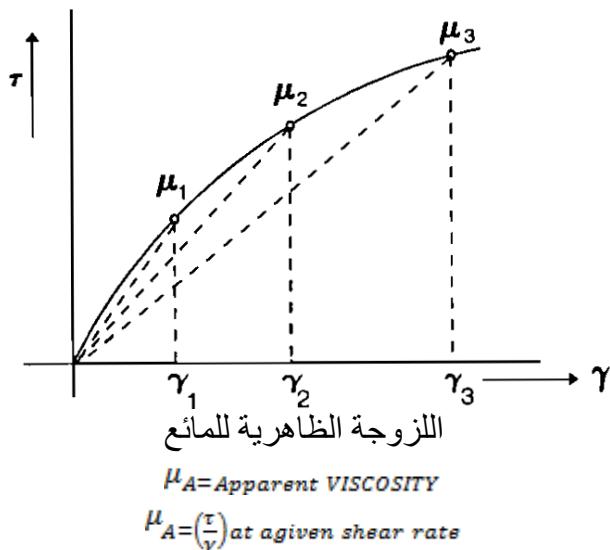
وتتقسم المواد الديلاتينية Dilatent إلى نوعين طبقاً لتغير إجهاد القص بالنسبة للزمن مع معدل القص . فإذا زاد إجهاد القص مع الزمن فإنه يطلق عليها موائع متزايدة القوام Rheoplectic . وإذا ما نقص إجهاد القص مع الزمن فإنه يطلق عليها مواد متناقصة القوام Thixotropic وينتج عن ذلك قصور في طاقة الاحتكاك بين الطبقات Hysteresis كما بالشكل التالي



طاقة الاحتكاك بين طبقات المائع

وتتأثر كل من اللزوجة والقوام إلى حد كبير بدرجة الحرارة ويعتبر استخدام معادلة ار هيبيوس Arrhenius Equation على نطاق واسع معبراً عن هذه العلاقة حيث يتاسب معامل اللزوجة أو معامل القوام تناوباً عكسياً مع درجة الحرارة المطلقة للمائع .

وفي كثير من تطبيقات صناعة الأغذية نجد أن هناك محاولات لقياس اللزوجة النيوتونية دون الحاجة إلى معرفة خصائص انسياب السائل وينتج عن ذلك قياس اللزوجة الظاهرية Apparent Viscosity وهي التي تعبّر عن اللزوجة لسائل نيوتوني له مقاومة للسريان عند قص محدد Shear Rate كما بالشكل وفي أغلب حالات الموائع الشبه بلاستيكية تتناقص اللزوجة الظاهرية عند زيادة معدل القص .

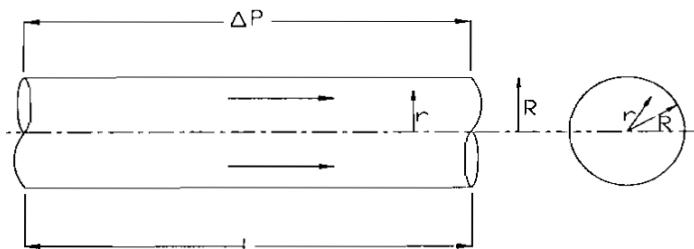


### قياس اللزوجة أو القوام

لقياس اللزوجة أو القوام لأي موائع غذائية يمكن استخدام أجهزة خاصة تسمى فيسكومترات Viscometers أو ريمومترات Rheometers . ويوجد عادة جهازين أو طريقتين رئيسيتين : جهاز يعتمد على سريان المائع داخل الأنابيب ويسمي Viscometer وجهاز يعتمد على دوران المائع حول اسطوانة ومن خلال فراغ ضيق ويسمي Tube Viscometer . Rotational or Coaxial Viscometer

#### النوع الأول :

#### ريومترات الانبوبة الشعرية Capillary Tube Rheometers



#### ريومترات الانبوبة الشعرية

بصفة عامة تتضمن ريمومترات الانبوبة الشعرية عدداً من الأجهزة التي تدفع السائل خلال أنبوبة معلوم قياساتها الهندسية كما بالشكل . نستطيع الحصول على علاقة بين معدل القص

وأجهاز القص وذلك بقياس تدرج الضغط ومعدل السريان الحجمي للمائع خلال الانبوبة الشعرية

ويمكن الحصول على العلاقة بين معدل القص وأجهاز القص اللازمة لدفع المائع خلال الانبوبة الشعرية عن طريق عمل ميزان القوى على المقطع العرضي للأنبوبة الشعرية .

القوة المسببة للسريان هي فرق الضغط بين طرفين الانبوبة  $\Delta P$

$$\tau = \frac{\Delta P \pi r^2}{2\pi r L}$$

حيث  $\pi r^2$  = المساحة المقطوعية

$2\pi r L$  = المساحة السطحية للشريحة

$$\therefore \tau = \frac{\Delta p \cdot r}{2L}$$

$$\tau = K \gamma^n = -K \left( \frac{du}{dr} \right)^n$$

$$\frac{\Delta p \cdot r}{2L} = -K \left( \frac{du}{dr} \right)^n$$

$$-\int_0^u du = \left( \frac{\Delta p}{2kL} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot \int_0^r r^{\frac{1}{n}} dr$$

$$\int_0^u du = \left( \frac{\Delta p}{2kL} \right)^{\frac{1}{n}} \left[ \frac{r^{\frac{n}{n+1}}}{\frac{n+1}{n}} \right]_0^R$$

$$\therefore u = \left( \frac{\Delta p}{2kL} \right)^{\frac{1}{n}} \frac{R^{\frac{1+n}{n}}}{\left( \frac{1+n}{n} \right)}$$

ومعدل السريان الحجمي Q

$$Q = \pi R^2 \cdot u$$

$$Q = \pi \left( \frac{n}{n+1} \right) R^{\frac{3n+1}{n}} \left( \frac{\Delta p}{2kL} \right)^{\frac{1}{n}}$$

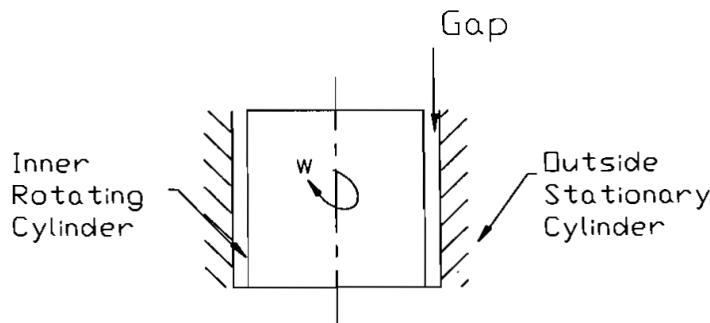
ويمكن حساب كل من معامل القوام k والأس n وذلك برسم معدل السريان الحجمي Q

قيمة  $\left( \frac{\Delta p}{2L} \right)$  على رسم بياني لوغاريثمي فيكون ميل الخط المستقيم الناتج هو قيمة الأس n ومقدار

الجزء المقطوع من المحور الرأسي يمكن حساب قيمة القوام k منه .

النوع الثاني :

الريومترات الدورانية المتمركزة Rotational Coaxial Rheometers



ريومترات الاسطوانة الدورانية

تستخدم الريومترات الدورانية لقياس اجهاد القص حيث تتعرض العينة الى معدل قص منتظم وتم عملية القياس على اساس قياس عزم الدوران اللازم لادارة الاسطوانة الداخلية عند عدد معلوم من الدوران لكل وحدة زمن ويكون :

$$\Omega = (2\pi r L) \tau \cdot r$$

$$\gamma = -r \frac{d\omega}{dr}$$

حيث  $\Omega$  = عزم الدوران = القوة  $\times$  ذراع العزم

$= \omega$  = السرعة الزاوية

وحيث ان

$$\tau = k(-r \frac{d\omega}{dr})^n$$

$$\therefore \frac{\Omega}{2\pi L r^2} = k(-r \frac{d\omega}{dr})^n$$

$$\therefore -r \frac{d\omega}{dr} = \left( \frac{\Omega}{2\pi k L} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{1}{r^{2/n}}$$

$$-d\omega = \left( \frac{\Omega}{2\pi k L} \right)^{\frac{1}{n}} \cdot \frac{dr}{r^{2/n+1}}$$

$$-\int_0^{\omega_i} d\omega = \left( \frac{\Omega}{2\pi k L} \right)^{\frac{1}{n}} \int_{R_0}^{R_i} \frac{dr}{r^{2/n}}$$

$$-\omega_i := \left( \frac{\Omega}{2\pi k L} \right)^{\frac{1}{n}} \left[ \frac{r^{\frac{2+n}{n}+1}}{\frac{2+n}{n}+1} \right]_{R_0}^{R_i}$$

$$\therefore -\omega_i = -\frac{n}{2} \left( \frac{\Omega}{2\pi k L} \right)^{\frac{1}{n}} \left( \frac{1}{R_i^{2/n}} - \frac{1}{R_0^{2/n}} \right)$$

ومن هذه المعادلة يمكننا ايجاد قيمة كل من معامل القوام  $K$  وقيمة الاس  $n$  وذلك عن طريق العلاقة التجريبية لقيم مختلفة للوغاريتم السرعة الزاوية مع قيم لوغاريتم عزم الدوران على احداثيات بيانية .

ويمكننا الحصول على معامل الزوجة لسوائل النيوتونية من هذه المعادلة بوضع قيمة  $n = 1$  وبذلك

$$\mu = \frac{\Omega}{4\pi\omega_i L} \left[ \frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_0^2} \right]$$

وبمقارنة المعادلتين الاخيرتين يمكننا الحصول على صيغة للعلاقة بين الزوجة الظاهرة وكل من معامل القوام  $k$  والاس  $n$  . فإذا كانت السرعة الدورانية للاسطوانة الداخلية لجهاز قياس الزوجة هي  $N$

$$\therefore \omega_i = 2\pi N$$

وبذلك تكون العلاقة المطلوبة هي :

$$\mu_A = -\left(\frac{1}{n}\right)^n \cdot (4\pi N)^{n-1} \cdot K$$

### مثال (1) :

تم الحصول على النتائج التجريبية التالية من جهاز قياس لزوجة أنبوبي Tube Viscometer قطره . Apple Sauce و كان المائع المستخدم هو صلصة التفاح cm 0.267 و طوله 0.91 m

$\Delta p$	Q
Pascal $\times 10^5$	m <sup>3</sup> /sec.10-4
1.3	0.91
1.45	2.5
2.56	2.1
1.99	3.2
2.13	5.2
2.41	8.5
2.7	12.49

احسب كل من معامل القوام  $K$  وقيمة الاس  $n$

الحل

معدل السريان الحجمي في الانبوبة الشعرية يمكن الحصول عليه من المعادلة :

$$Q = \pi \left( \frac{n}{n+1} \right) R^{\frac{3n+1}{n}} \cdot \left( \frac{\Delta p}{2kL} \right)^{\frac{1}{n}}$$

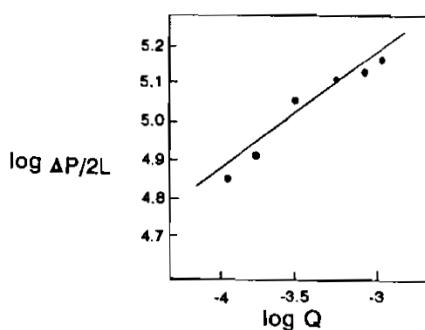
ويمكن اعادة الصياغة بدلالة الفقد في الضغط كالتالي :

$$\frac{\Delta p}{2L} = \left( \frac{k}{\pi^n} \right) \left( \frac{n+1}{n} \right)^n \cdot \frac{1}{R^{3n+1}} \cdot Q^n$$

$$\log \left( \frac{\Delta p}{2L} \right) = \log k - n \log \pi + n \log \frac{n+1}{n} - (3n+1) \log R + n \log Q$$

وبتمثيل هذه المعادلة بيانيا بحيث يكون المحور الرأسي يمثل  $\log \frac{\Delta p}{2L}$  والمحور الافقى يمثل  $\log Q$  فيكون ميل الخط المستقيم هو قيمة الاس n .

$\frac{\Delta p}{2L} \times 10^5$	$\log \frac{\Delta p}{2L}$	$\log Q$
0.715	4.85	4.04 -
0.795	4.90	3.82 -
0.855	4.93	3.68 -
1.095	5.04	3.50 -
1.17	5.07	3.29 -
1.33	5.12	3.07 -
1.49	5.17	2.90 -



ومن الرسم البياني يكون الميل :

$$n = 0.28$$

وبالتعويض في المعادلة يمكن حساب قيمة k عند اي نقطة من نقاط الخط المستقيم

$$k = 4.074 \text{ pa.s}^n$$

**أجهزة قياس الزوجة:****1- مقياس الزوجة بخاصيه الشعريه**

مقياس الزوجة بالتدفق الشعري يشكل عام في شكل أنبوب U. هذه الأنواع من الزوجة هي بسيطة للغاية وغير مكلفة ومناسبة للسوائل منخفضة الزوجة. هناك تصاميم مختلفة من مقياس الزوجة الشعري . يوضح الشكل 2.8 تصميماً نموذجياً لقياس الزوجة. الاهم في مقياس الزوجة الشعري هو الوقت المناسب لحجم السائل القياسي للمرور عبر طول الأنابيب الشعرية المعروفة . معدل تدفق الماء بسبب التدرج المعروف في الضغط يتم تحديده. عادة ما يتولد ضغط عن طريق قوة الجاذبية التي تعمل على عمود من السائل على الرغم من أنه يمكن أن تتولد عن طريق تسلیط الهواء المضغوط أو بطرق ميكانيكية. الشعيرات الزجاجية التي تعمل بالجاذبية مناسبة فقط للسوائل النيوتونية الزوجة في حدود 0.4 إلى 20000 ملي باسكال. ثانية (Steffe، 1996). و لقياس الزوجة لعده سوائل لزجه قد يتم تطبيق الضغط الخارجي. بالنسبة للسوائل غير النيوتونية فإن هذا الجهاز أقل ملاءمة لأنه لا يمكن إجراء القياس بمعدل القص الثابت. يمكن أن تكون الزوجة الشعرية يستخدم فقط للسوائل غير النيوتونية إذا كان الضغط الخارجي المطبق أكثر أهمية من ثبات الضغط.

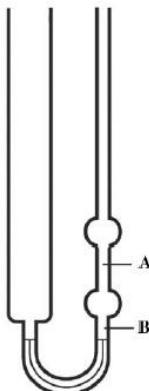


Figure 2.8 Cannon-Fenske capillary flow viscometer.

يجب أن يكون قطر الانبوبه الشعرية صغيراً بدرجة كافية لتوفير تدفق صحي. الانبوبه الشعرية تتم معايريتها بواسطه زيوت نيوتونية ذات لزوجة معروفة لأن معدل التدفق يعتمد عليها نصف قطر الشعيرات ، وهو أمر صعب القياس.

لقياس الزوجة يتم ملء مقياس الزوجة بدقة مع حجم معروف بدقة من سائل الاختبار والجهاز هو مغمورة في حمام ذو درجة حرارة ثابتة حتى يتم الوصول إلى التوازن. ثم يمتص السائل من الطرف الآخر من خلال الأنابيب الشعرية حتى يكون أعلى من العلامة المستوى (A) (الشكل 2.8). ثم يتم إزالة تدفق السوائل من خلال أنبوب الشعرية تحت تأثير الجاذبية و وقت تدفق السائل من العلامة A إلى B تم تسجيله. هذه المرة مقياس مباشر للزوجة الحركية لأنها تعتمد على كل من الزوجة وكثافة السوائل. يمكن كتابة هذا:

$$v = Ct \quad (2.27)$$

where  $C$  is the calibration constant.

على افتراض أن التدفق رقائقي يكون السائل غير قابل للضغط تكون سرعة المائع عند الحائط صفر(حالة عدم الانزلاق) والأثار النهائية ضئيلة مما يجعل توازن القوة للسوائل تتدفق عبر أنبوب أسطواني أفقي بطول ( $L$ ) ونصف قطر داخلي ( $r$ ) ، يتم الحصول على المعادلة التالية

$$\Delta P\pi r^2 = \tau 2\pi rL \quad (2.28)$$

حيث  $\tau$  هو انخفاض الضغط الذي يسبب التدفق و  $\tau$  هو مقاومة إجهاد القص

$$\tau = \frac{\Delta P r}{2L} \quad (2.29)$$

بالنسبة للسائل النيوتوني يختلف كل من إجهاد القص ومعدل القص خطياً من الصفر في الوسط ( $r=0$ ) من الخاصية الشعريه إلى الحد الأقصى عند الجدار ( $R=r$ ). بالنسبة للسائل النيوتوني ، ينتج عن هذا المكافئ السرعة. ثم يرتبط إجهاد القص على السائل الموجود في الجدار ( $w$ ) بانخفاض الضغط على طول الأنابيب

$$\tau_w = \frac{\Delta P R}{2L} \quad (2.30)$$

يوصف التدفق في مقياس اللزوجة الشعريه بواسطة معادلة هاجن بويزويل

$$\Delta P = \frac{8\mu v L}{R^2} \quad (2.31)$$

$$\tau_w = \mu \frac{4v}{R} \quad (2.32)$$

يتم إعطاء معدل القص عند الجدار ( $w$ ) لسائل نيوتوني بواسطة

$$\dot{\gamma}_w = \frac{4v}{R} = \frac{4Q}{\pi R^3} \quad (2.33)$$

حيث  $Q$  هو معدل التدفق الحجمي. يمكن كتابة قانون نيوتن الخاص باللزوجة من حيث الضغط معدل التدفق التدريجي والحجمي

$$\frac{\Delta P R}{2L} = \mu \left( \frac{4Q}{\pi R^3} \right) \quad (2.34)$$

ويمكن تحديد لزوجة المائع من انخفاض الضغط ومعدل التدفق الحجمي أو بيانات السرعة بالنسبة للسوائل غير النيوتونية و يجب معرفة العلاقة بين إجهاد القص ومعدل القص هذه المعادلات. مقارنة بالقطع

المكافئ للسائل النيوتونى الشكل الجانبي للسائل رقيق القص أكثر حدة. يمكن تحديد معدل القص في الجدار من - المعادلة ( Wilkes ، Steffe 1996 ، 1999 ) :

$$\dot{\gamma}_w = \left( \frac{3Q}{\pi R^3} \right) + \tau_w \left[ \frac{d(Q/\pi R^3)}{d\tau_w} \right] \quad (2.35)$$

This equation can also be expressed in terms of the apparent wall shear rate,  $\dot{\gamma}_{app} = 4Q/\pi R^3$ :

$$\dot{\gamma}_w = \left( \frac{3}{4} \right) \dot{\gamma}_{app} + \left( \frac{\tau_w}{4} \right) \left( \frac{d\dot{\gamma}_{app}}{d\tau_w} \right) \quad (2.36)$$

Equation (2.36) can also be written as:

$$\dot{\gamma}_w = \left[ \left( \frac{3}{4} \right) + \left( \frac{1}{4} \right) \left( \frac{d(\ln \dot{\gamma}_{app})}{d(\ln \tau_w)} \right) \right] \dot{\gamma}_{app} \quad (2.37)$$

Equation (2.37) can be written in the following simplified form:

$$\dot{\gamma}_w = \left( \frac{3n' + 1}{4n'} \right) \dot{\gamma}_{app} \quad (2.38)$$

where  $n'$  is the point slope of the  $\ln(\tau_w)$  versus  $\ln(\dot{\gamma}_{app})$ . That is:

$$n' = \frac{d(\ln \tau_w)}{d(\ln \dot{\gamma}_{app})} \quad (2.39)$$

If the fluid behaves as a power law fluid, the slope of the derivative is a straight line and  $n' = n$ .

**Table E.2.2.1 Pressure Drop Versus Volumetric Flow Rate Data for Chocolate Melt in Capillary Viscometer**

Pressure Drop (Pa)	Flow Rate ( $cm^3/s$ )
3840	0.01
4646	0.06
5762	0.13
6742	0.24
7798	0.37
10,454	0.72
11,760	0.94

يمكن تحقيق معدلات قص مختلفة عن طريق تغيير معدل التدفق لمقطع شعري واحد أو بواسطة باستخدام عدة أقسام الشعرية بأقطار مختلفة في السلسلة.

## 2- قياس الزوجه بطريقه الکره الساقطه

تضمن هذه الأنواع من مقياس الزوجة أنبوباً رأسياً حيث يُسمح للكرة بالسقوط تحت التأثير من الجاذبية. وهي تعمل على مبدأ قياس الوقت لسقوط الكرة من تحت تأثير الجاذبية .

عندما تسقط الكرة خلال السائل فإنها تتعرض لقوة الجاذبية وقوة السحب و قوه الطفو (الشكل 2.9). مما يسبب توازن فى القوى

القوه الصافيه ( $F_{Net}$ ) = قوه الجاذبية ( $FG$ ) - قوه الطفو ( $FB$ ) - قوه السحب ( $FD$ )

$$\frac{\pi D_p^3 \rho_p}{6} \frac{dv}{dt} = \frac{\pi D_p^3 \rho_p g}{6} - \frac{\pi D_p^3 \rho_f g}{6} - \frac{c_D \pi D_p^2 \rho_f v^2}{8} \quad (2.40)$$

where

$D_p$  = diameter of the ball (m),  
 $\rho_p$  = density of the ball ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  
 $\rho_f$  = density of the fluid ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),  
 $c_D$  = drag coefficient,  
 $v$  = velocity of the ball (m/s).

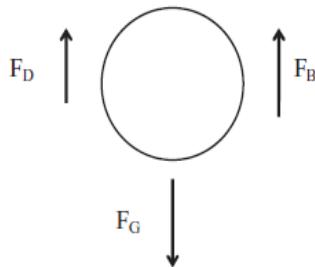


Figure 2.9 Forces acting on a ball in falling ball viscometer.

عندما يتم تحقيق التوازن تتواءز قوى الصعود والهبوط وتحرك الكرة عند سرعة ثابتة. أي أن الكرة الساقطة تصل إلى السرعة النهائية ( $vt$ ) عندما يكون التسارع الحادث بواسطه قوى الجاذبية يتم تعويضه عن طريق احتكاك الكرة على السائل

$$\frac{dv}{dt} = 0 \quad (2.41)$$

In the Stoke's region, the drag coefficient is:

$$c_D = \frac{24}{Re} \quad (2.42)$$

Substituting Eqs. (2.41) and (2.42) into Eq. (2.40) gives:

$$\frac{\pi D_p^3 \rho_p g}{6} = \frac{\pi D_p^3 \rho_f g}{6} + \frac{6\pi D_p \mu v_t}{2} \quad (2.43)$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{D_p^2 (\rho_p - \rho_f) g}{18 v_t} \quad (2.44)$$

إذا تم حساب السرعة النهائية للكرة فمن الممكن تحديد اللزوجة الديناميكية للسائل. تعتبر أجهزة قياس اللزوجة بطريقه الكرة المتتساقطه أكثر ملاءمة للسوائل اللزجة عندما تكون السرعة النهائية منخفضه وينطبق قانون ستوك عندما يكون قطر الكرة أصغر بكثير من قطر الانبوب الذي تسقط فيه الكرة . وبالتالي لا يوجد أي تأثير للجدار على معدل سقوط الكرة. وإذا كان قطر الانبوب 10 أضعاف قطر الكرة يمكن إهمال تأثير الجدار.

كلما كانت الكرة كبيره زادت سرعه سقوطها لذلك من الضروري اختيار قطر صغير للكره بما يكفي للسقوط بمعدل يمكن قياسه بدرجة من الدقة.

مثال :

لتحديد لزوجة زيت عباد الشمس ، تم استخدام مقياس الزوجة الكروية المتساقطة. يبلغ طول أنبوب الزوجة 10 سم وقطرته 0.68 مم. النفط والكرة لها كثافة 921 كجم / م 3 و 2420 كجم / م 3 ، على التوالي. إذا استغرق الأمر 44.5 ثانية لتسقط الكرة من الأعلى من الأنابيب ، وحساب لزوجة النفط.

**Solution:**

Terminal velocity is:

$$\begin{aligned} v_t &= \frac{L}{t} \\ &= \frac{0.1 \text{ m}}{44.5 \text{ s}} \\ &= 0.0022 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Then, viscosity can be calculated using Eq. (2.44):

$$\begin{aligned} \Rightarrow \mu &= \frac{D_p^2(\rho_p - \rho_f)g}{18v_t} \quad (2.44) \\ \mu &= \frac{(0.68 \times 10^{-3} \text{ m})^2(2420 \text{ kg/m}^3 - 921 \text{ kg/m}^3)(9.81 \text{ m/s}^2)}{(18)(0.0022 \text{ m/s})} = 0.172 \text{ Pa} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

### 3- مقياس الزوجة الدورانية.

في مقياس الزوجة الدورانية ، يتم قطع العينة بين الجزأين من جهاز القياس وسائل الدوران. في التحريرض ، فإن معدل القص يتتناسب مع سرعة الدوران. من الممكن قياس الإجهاد القص كما يتم تغيير معدل القص. بالإضافة إلى ذلك ، يمكن القص عينة لفترة طويلة حسب الرغبة لذلك ، الزوجة التناوب هي الأفضل لتوصيف غير النيوتونية و سلوك يعتمد على الوقت. هناك أشكال مختلفة من هذه الزوجة ، كما هو موضح في ما يلي:

#### 1 مقياس الزوجة المركزية (محوري الدوران)

تكون هذا النوع من مقياس الزوجة من أسطوانتين حلقيتين بهما فجوة ضيقة بينهما (الشكل 2.10). يتم وضع السائل المراد قياسه في الفجوة. إما الداخلية (نظام Searle) أو يتم تدوير الأسطوانة الخارجية (نظام Couette). على الرغم من أن نظام Searle هو أكثر شيوعا ، فإن يستخدم Couette في الغالب للإشارة إلى أي نوع من نظام أسطوانة متحدة المركز. لكل من Searle و Couette الأنظمة ، المعادلات المتعلقة بالتناوب إلى التوااء (M) هي نفسها. عن طريق تغيير معدل القص أو إجهاد القص ، من الممكن الحصول على قياسات الزوجة على مجموعة من ظروف القص على نفس العينة. يمكن استخدامه لكل من الأطعمة النيوتونية وغير النيوتونية. ينبغي وضع الافتراضات التالية في تطوير العلاقات الرياضية Steffe (1996) :

1. التدفق هو الرقائقى والثابت.

2. مكونات السرعة الشعاعية والمحورية صفرية.

3. سائل الاختبار غير قابل للضغط.

4. درجة الحرارة ثابتة.

5. الآثار النهائية لا تذكر.

6. ليس هناك ميل على جدار الجهاز

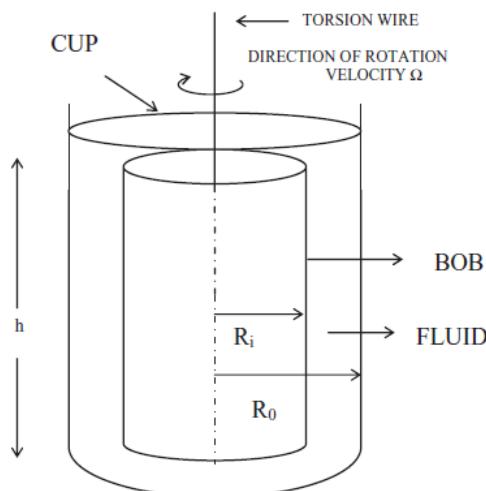


Figure 2.10 Concentric cylinder viscometer.

مقياس اللزوجة من نوع Searle عندما تدور الاسطوانة الداخلية بشكل ثابت السرعة الزاوية ( $\omega$ ) والاسطوانة الخارجية ثابتة ، يقىس الجهاز العزم ( $M$ ) المطلوبة لحفظ على هذه السرعة الزاوية الثابتة للأسطوانة الداخلية. ويأتي عزم الدوران المقابل من إجهاد القص الذي يمارسه السائل على الأسطوانة الداخلية. صنع توازن القوة:

$$M = 2\pi r h r \tau = 2\pi h r^2 \tau \quad (2.45)$$

حيث  $r$  هو أي مكان في السائل و  $h$  هو ارتفاع الأسطوانة. حل مكافئ (2.45) للقص ضغط عصبي

$$\tau = \frac{M}{2\pi h r^2} \quad (2.46)$$

توضح هذه المعادلة أن إجهاد القص ليس ثابتاً على الفجوة بين المركزين اسطوانات ولكن يتناقص في الانتقال من الأسطوانة الداخلية من دائرة نصف قطرها ،  $R_i$ ، إلى الأسطوانة الخارجية من دائرة نصف قطرها ،  $R_o$  .. يمكن كتابة إجهاد القص في الأسطوانة الداخلية على النحو التالي

$$\tau_i = \frac{M}{2\pi h R_i^2} \quad (2.47)$$

لتحديد معدل القص ، يتم التعبير عن السرعة الخطية ( $v$ ) من حيث السرعة الزاوية ( $\omega$ ) عند  $r$ :

$$\dot{\gamma} = -\frac{dv}{dr} = -r \frac{d\omega}{dr} \quad (2.48)$$

معدل القص هو وظيفة إجهاد القص ، والعلاقة بين إجهاد القص و يظهر معدل القص بواسطة

$$\dot{\gamma} = -r \frac{d\omega}{dr} = f(\tau) \quad (2.49)$$

تعتبر الفرق بين السرعة الزاوية ينتج عنه:

$$d\omega = -\frac{dr}{r} f(\tau) \quad (2.50)$$

تعتبر  $r$  يمكن تحديده من Eq.

$$r = \left( \frac{M}{2\pi h \tau} \right)^{1/2} \quad (2.51)$$

يتم التمييز بين المعادلة (2.51) فيما يتعلق  $\tau$  واستبدالها في (Eq. 2.50) بعد استبدال قيمة عزم الدوران من Eq. (2.45)

$$d\omega = \frac{1}{2} f(\tau) \frac{d\tau}{\tau} \quad (2.52)$$

التكامل مكافئ. (2.52) فوق السائل الموجود في الحلقة يعطي التعبير العام عن السرعة الزاوية من الاسطوانة الداخلية بوصفها وظيفة من الإجهاد القص في الفجوة

$$\int_{\Omega}^0 d\omega = \frac{1}{2} \int_{\tau_i}^{\tau_0} f(\tau) \frac{d\tau}{\tau} \quad (2.53)$$

مع ذلك ، فإن حل مكافئ. (2.53) يعتمد على (f) ، والذي يعتمد على سلوك السائل

If the fluid is Newtonian:

$$\dot{\gamma} = f(\tau) = \frac{\tau}{\mu} \quad (2.54)$$

استبدال (2.54) في مكافئ. (2.53) يعطي

$$\Omega = -\frac{1}{2\mu} \int_{\tau_i}^{\tau_0} d\tau = \frac{1}{2\mu} (\tau_i - \tau_0) \quad (2.55)$$

$$\Omega = \frac{M}{4\pi \mu h} \left( \frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right) \quad (2.56)$$

For a power law fluid:

$$\dot{\gamma} = f(\tau) = \left( \frac{\tau}{k} \right)^{1/n} \quad (2.57)$$

$$\Omega = -\frac{1}{2} \int_{\tau_i}^{\tau_0} \left( \frac{\tau}{k} \right)^{1/n} \frac{d\tau}{\tau} = \frac{n}{2k^{1/n}} [(\tau_i)^{1/n} - (\tau_0)^{1/n}] \quad (2.58)$$

$$\Omega = \frac{n}{2k^{1/n}} \left( \frac{M}{2\pi h R_i^2} \right)^{1/n} \left[ 1 - \left( \frac{R_i}{R_o} \right)^{2/n} \right] \quad (2.59)$$

عند دراسة الأطعمة السائلة ، غالباً ما يتم استخدام التقديرات البسيطة للنيوتون أو قانون الطاقة (ستيف ، 1996).

أ) تقرير القص البسيط. إذا كان هناك فجوة صغيرة جداً بين الاسطوانات مقارنة بدائرة نصف قطرها ، يمكن أن تؤخذ الإجهاد القص كما هو ثابت. بافتراض وجود معدل قص موحد عبر الفجوة:

$$\dot{\gamma}_i = \frac{\Omega R_i}{R_0 - R_i} = \frac{\Omega}{\alpha - 1} \quad (2.60)$$

$$\text{where } \alpha = \frac{R_o}{R_i}$$

عند حساب معدلات القص مع Eq. (2.60) ، يجب استخدام متوسط إجهاد القص المقابل

$$\tau_{ave} = \frac{1}{2} (\tau_i + \tau_o) = \frac{M (1 + \alpha^2)}{4\pi h R_o^2} \quad (2.61)$$

ب) التقرير النيوتوني. يمكن حساب إجهاد القص في الاسطوانة الداخلية باستخدام Eq. (2.47). يمكن اشتقاق معادلة لمعدل القص في الأسطوانة الداخلية باستبدال (Margules Eq. 2.56) (Eq. 2.45) في (2.47) والتعبير عن إجهاد القص من حيث معدل القص باستخدام قانون نيوتن الزوجة:

$$\dot{\gamma}_i = 2\Omega \left( \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - 1} \right) \quad (2.62)$$

((ج) تقرير قانون الطاقة ، يمكن حساب إجهاد القص في الأسطوانة الداخلية باستخدام Eq. (2.47). يمكن اشتقاق معادلة لمعدل القص في الأسطوانة الداخلية باستبدال (2.45) (Eq. 2.59) في المعادلة (2.59) والتعبير عن إجهاد القص من حيث معدل القص باستخدام معادلة قانون القوة:

$$\dot{\gamma}_i = \left( \frac{2\Omega}{n} \right) \left( \frac{\alpha^{2/n}}{\alpha^{2/n} - 1} \right) \quad (2.63)$$

where the flow behavior index  $n$  is:

$$n = \frac{d(\ln \tau_i)}{d(\ln \Omega)} = \frac{d(\ln M)}{d(\ln \Omega)} \quad (2.64)$$

### أنواع أخرى من مقاييس الزوجة

#### مقاييس الاهتزاز (التذبذب)

تستخدم مقاييس الزوجة الاهتزازية مبدأ تحمل السطح حيث يتم تحمل سطح مغمور يولد المسبار موجة قص تتبدد في الوسط المحيط. القوة اللازمة لحفظ على السعة الثابتة للتذبذب يتتناسب مع لزوجة السائل. الحاوية يجب أن تكون كبيرة بما يكفي بحيث لا تصل قوى القص إلى الجدار وتعكس مرة أخرى على المسبار. تعتمد القياسات على قدرة السائل المحيط على تثبيط اهتزاز المجرس. التخميد خاصية السائل

النيوتونى هي وظيفة لزوجة المائع وكثافته. هذه الأنواع من أدوات قياس اللزوجة شائعة الاستخدام كأدوات مضمنة لأنظمة التحكم في العمليات.

## إختبارات دراسة المواد اللزجة المرنة:

• إختبار إسترخاء الإجهاد Stress relaxation test

• إختبار الزحف Creep test

• الإختبار الديناميكى (الذبذبى) Dynamic (oscillatory) test

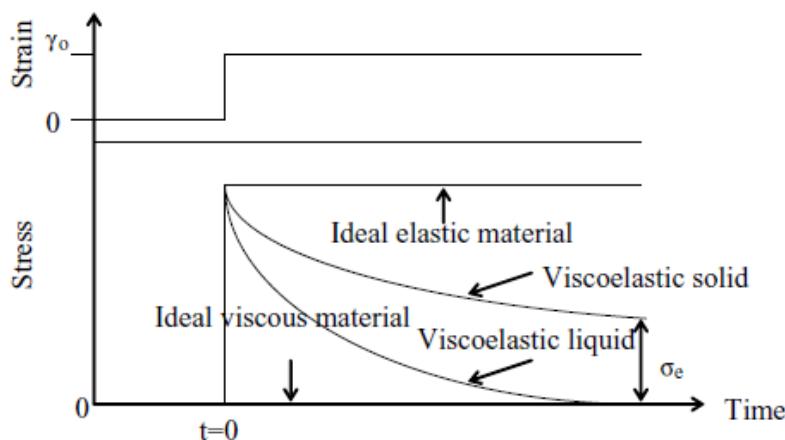
### 1- إختبار إسترخاء الإجهاد : Stress relaxation test

عندما يتم تعديل شكل مادة غذائية إلى وضع ثابت وبعدئذ يتم تثبيت هذا التعديل ، فإن الإجهاد المطلوب للمحافظة على هذا التعديل في شكل المادة الغذائية سوف يتناقص منع الزمن ويسُمى إسترخاء الإجهاد . هذا الإختبار يمكن إجراءه في حالات القص ، الشد الأحادي والضغط الأحادي . الشريحة التالية توضح منحنيات إسترخاء الإجهاد للمواد المرنة اللزجة و اللزجة المرنة . من الشكل يتضح أن المواد اللزجة المثلالية تسترخي على الفور ، لكن ليس هنالك إسترخاء بالنسبة للمواد المرنة المثالية . فيما يختص المواد اللزجة المرنة فإنها تسترخي تدريجياً ثم تتوقف اعتماداً على التركيب الجزيئي للمادة . لذا نجد أن إجهاد المواد الصلبة اللزجة المرنة يتدنى إلى إجهاد توازن بينما بينما إجهاد المواد السائلة اللزجة المرنة يتدنى إلى قيمة تساوي صفر .

كما يتضح من الشكل 19 ، المواد اللزجة المثالية تسترخي على الفور ولكن لا يوجد إسترخاء لوحظ في مواد المرنة المثالية. المواد اللزجة تسترخي تدريجياً وتتوقف اعتماداً على التركيب الجزيئي للمادة. الإجهاد في المواد الصلبة اللزجة سوف ينحل إلى إجهاد التوازن، وهو أكبر من الصفر ولكن الإجهاد المتبقى في السوائل اللزجة هو صفر. يمكن للضغط في سوائل الاسترخاء بسرعة أكبر من تلك الموجودة في المواد الصلبة بسبب ارتفاع القدرة على حركة جزيئات سائلة. وقت الاسترخاء قصير للغاية بالنسبة للسوائل ، والتي تتراوح من 10 إلى 13 ثانية بالنسبة للماء بينما تكون منخفضة للغاية طويلة للمواد الصلبة المرنة. بالنسبة للمواد اللزجة ، يتراوح وقت الاسترخاء بين 10 و 10 ثوانٍ (فان فليت ، 1999). في السنوات الأخيرة ، تم إجراء اختبار الاسترخاء لدراسة سلوك الزوجة نشا الساغو ، دقيق القمح ، خليط دقيق القمح ساغو (زيدل ، كريم ، مانان ، أزان ، نورولاني ، عمر ، 2003) ، درنة البطاطا (Blahovec ، 2003) ، البطاطا المطبوخة (Kaur ، Singh ، Sodhi ، & Gujral ، 2002)، عجين القمح (Li ، 2003) ، Safari-Ardi & Phan-Thien ، 1998 ، Schofield & Dobraszczyk ، 2003 ، Osmotically التفاح المجفف والموز (كروكيدا ، كاراثانوس ، وماروليس ، 2000).

أظهرت الدراسات التي أجريت على عجين دقيق القمح ضعيف وقوى أن اختبارات إجهاد الاسترخاء عند الضغط العالي القيم يمكن أن تميز العجين عن أصناف القمح الغنية بالبروتين والبروتين المنخفض (Safari-Ardi & فان ثين ، 1998). وأظهرت قياسات إجهاد الاسترخاء على عجين دقيق القمح

والجلوتين في القص يمكن شرح سلوك الاسترخاء للعجين من خلال عمليتي استرخاء: الاسترخاء السريع أكثر من 0.1 إلى 10 ثوانٍ وراحة أبطأ تحدث لأكثر من 10 إلى 10,000 ثانية (بوهلين وكارلسون ، 1980). ترتبط عملية الاسترخاء السريع بالبوليمرات الصغيرة التي تسترخي بسرعة وتستغرق وقتاً أطول يرتبط مع البوليمرات عالية الوزن الجزيئي الموجودة داخل الغلوتين. وبالمثل ، إجهاد الاسترخاء أظهر سلوك عجين القمح والجلوتين وبروتين الجلوتين الناتج عن دقق البسكويت اثنين عمليات الاسترخاء: ذروة كبيرة في أوقات قصيرة وذروة ثانية في أوقات أطول من 10 ثوان (Li et al 2003). أظهر العديد من الباحثين أن وقت الاسترخاء البطيء يرتبط بنوعية الخبز الجيدة (Wang & Sun 1990؛ Bloksma 1990؛ Bloksma 2002).



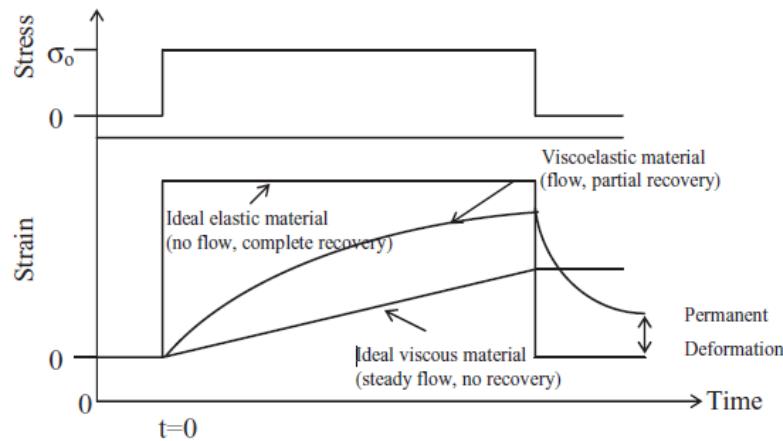
الشكل 19 منحنيات إجهاد استرخاء للمواد المرنة واللزجة واللزجة [من (J.F. Steffe 1996)].

## 2- اختبار الزحف : Creep test

إذا تم تطبيق حمولة ثابتة على المواد البيولوجية وإذا كانت الضغوط كبيرة نسبياً ، فإن المادة سوف تستمرة في تشويف مع مرور الوقت. هذا هو المعروف باسم زحف. في اختبار زحف ، يتم تطبيق الإجهاد على المواد وتقاس القيم الناتجة كدالة للوقت. هناك احتمالية حدوث بعض الاسترداد للمادة عندما يتم تحري الإجهاد حيث تحاول المادة العودة إلى شكله الأصلي. يمكن إجراء اختبار الزحف بتوتر أو ضغط أحادي المحور. منحنيات زحف لمرونة ، المواد اللزجة واللزجة تظهر في الشكل 20. للسوائل ، يزيد الضغط مع مرور الوقت بطريقة ثابتة والضغط الملاحظ سيكون ثابتاً مع مرور الوقت.

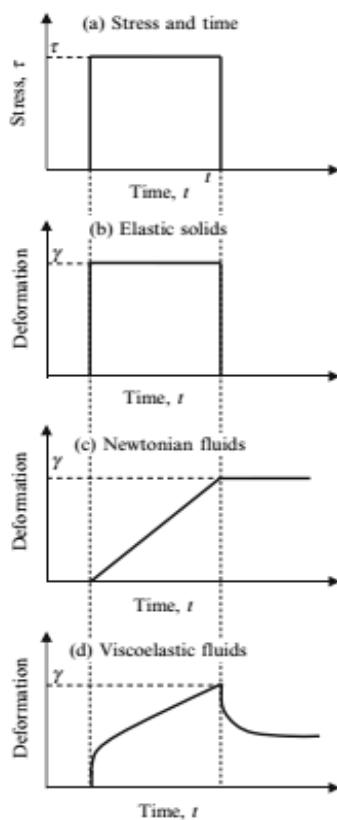
عندما تم تطبيق اختبار استرداد زحف على عجينة البسكويت ، كانت هناك زيادة في نسبة تمت زيادة التعافي مع مرور الوقت (Bergsøe، Pederson، Kaack، Adler-Nissen، 2004). هذا يبين ان هذه العجينة أصبحت أقل قابلية للتمدد ولكنها قابلة للاسترداد مع زيادة العمر. أقصى وأظهرت اختبارات

الزحف أن عجين الأرز بنسبة 1.5 % و 3.0 % HPMC كان له خصائص ريلوجية مماثلة إلى عجين دقيق القمح (2004 ، & Chattopadhyay ، Senge ، Sivaramakrishnan)



الشكل 20 منحنيات زحف واسترداد للمواد المرنة واللزجة. [من ستيف ، ج. ف. (1996).]

الشكل التالي يوضح التشكل او الانفعال بالتغير مع الزمن للمواد اللزجة عند تطبيق حمل ثابت عليها.



## خواص التزحف والتراخي

الخاصيتين الريولوجيتين لهما علاقة بالزمن عند ثبات الجهد أو الإجهاد. فتعرف خاصية التزحف بأنها الزيادة في الإجهاد مع الزمن عندما يعمل جهد ثابت على جسم. نسبة الإجهاد عند أي زمن  $t$  للجهد الثابت يدعى "استجابة التزحف". وتعرف خاصية ترائي الجهد بأنها النقص في الجهد مع الزمن عندما يعمل إجهاد ثابت على جسم. ويسبب هذه الخاصية السريان الداخلي للمادة والتي تتأثر بزوجة المادة. نسبة الزوجة إلى معلم القص يدعى "زمن التراخي". وهي كالتالي:

**(أ) ترائي الجهد Relaxation Stress اختبار التراخي:**

يراعي عند تحديد عمق الكبس (الأفعال أو التشوه) أن يكون في حدود المنطقة المرنة (zone of elasticity).

تم تعريفها بأنها النقص في الجهد مع الزمن عندما يعمل إجهاد ثابت على جسم. الشكل التالي يبين منحنى نموذجي لاختبار ترائي الجهد للمواد الزراعية. من المنحنى يتبيّن اعتماد معدل التراخي والجهد المتبقى عند أي زمن على القوة الابتدائية والتشوه الحاصل والمعدل الذي بدأ به المادة بالتشوه. كلما زاد التشوه الابتدائي والقوة المستخدمة كلما زاد الجهد المتبقى وسرعة معدل التراخي بينما بطئ معدل التشوه الابتدائي (أو القوة المستخدمة) يبطيء التراخي للمادة. وهذا يرجع الحقيقة أن المادة قد بدأت بالتراخي خلال مرحلة تطبيق القوة الابتدائية. لهذا السبب، ينصح بأن يطبق الحمل الابتدائي بأسرع ما يمكن، مع الاحتياط لتجنب الأخطاء التي قد تنتج من سرعة الرسم. يعتبر قياس الزمن اللازم للقوة للتراخي عند نسبة معينة (60% مثلاً) من القيمة الابتدائية طريقة عملية للتعبير عن ترائي الجهد. طريقة أخرى مفضلة ولكن تستلزم وقت أطول هي إتباع معادلة الجسم المرن للزوج:

$$\tau_1 = \tau_{initial} e^{-t/\alpha}$$

حيث  $\tau$  = الجهد عند زمن  $t$ ، هي "زمن التراخي" الذي يصف استجابة المادة. تحدد هذه الكمية برسم

$$\tau_1 = \tau_{initial}$$

$$e^{-1/\alpha}$$

مقابل الزمن  $t$ . ميل الجزء الخطى هو  $e^{-1/\alpha}$ . يفيد شكل منحنى جهد التراخي في تحديد النماذج الريولوجية، وكذلك التغيرات في بناء المادة. ولكن يجب ملاحظة أن السريان للزوج قد لا يكون الآلية الوحيدة المسئولة عن التراخي. فقد يكون التناقض في القوة نتيجة انهيار بنائي للمادة.

**ب) التزحف Creep :** تم تعريفها بأنها الزيادة في الإجهاد مع الزمن عندما يعمل جهد ثابت على جسم. نسبة الإجهاد عند أي زمن  $t$  للجهد الثابت تدعى "استجابة التزحف"، بعكس اختبار جهد التراخي والذي يمكن أداؤه بسهولة بواسطة جهاز إنسترون أو أجهزة أخرى مماثلة، يتطلب اختبار التزحف معدات خاصة في جهاز إنسترون للحفاظ على ثبات القوة (الحمل) وتسجيل التغير في التشوه (التزحف) مع الزمن. الشكل

التالى يبين منحنى التردد. هناك ثلات مناطق رئيسة في هذا المنحنى: 1) منطقة مرنة لحظية حيث الروابط تتمدد بمرونة و يحصل استرداد كامل بعد زوال الجهد. 2) منطقة مرنة مشوهه (معاقبة) حيث يحدث تكسر للروابط وإصلاحها. 3) منطقة خطية لسريان نيوتوني حيث أن وحدة السريان تنسق الأخرى حيث أن الزمن إصلاح الروابط أطول من مدة الإختبار. بالتماثل، تتكون ثلات مناطق عند إزالة الجهد وحصول الاسترداد 1) الاسترداد اللحظي. 2) الاسترداد المرن المشوه. 3) تشوه غير مسترد.

### النموذج الريولوجي للخواص اللزجة المرنة:

يستخدم تراخي الجهد وخاصة اختبارات التردد لتحديد العناصر الريولوجية الفعالة في المادة ولبناء نماذج تعبر عن السلوك الريولوجي. في أحد الدراسات للبوظة (الآيسكريم) تم استخدام اختبار التردد لوصف نموذج مرن لزج ذو ستة عناصر ومكون من نماذج ماكسيل و نموذجين لفويت - كلفن موصلة على التوالي كما سوف يوضح نموذجه.

للتعبير عن سلوك خصائص المرونة، اللدونة، واللزوجة الريولوجية هناك ثلاثة أنواع من النماذج زنبرك spring، وحدة احتكاك friction element و قدر الدفع dashpot، بالترتيب. يمكن ترتيب هذه النماذج بالتسلاسل أو بالتوازي بأي رقم وذلك بغرض تمثيل أن المادة الحقيقية تمثل تجمع من عدة أنواع سلوكية ريوLOGية. إذن فالمواد الغذائية تمثل سلوك مجاميع من الصفات المرنة واللزجة، ولذلك يطلق على هذه المواد لزجة - مرنة Viscoelastic حيث أن علاقة الجهد- الإجهاد تعتمد على معدل الإجهاد وعلاقته بالزمن. إذا كانت علاقة الجهد - الإجهاد دالة في الزمن فقط فإن المادة يطلق عليها مواد لزجة- مرنة خطية. أما إذا كانت علاقة الجهد- الإجهاد دالة أيضاً في الجهد فإن المادة يطلق عليها مواد لزجة مرنة غير خطية.

للأسف فإن تطوير معظم النظريات الريولوجية كان للمواد اللزجة المرنة الخطية بينما معظم المواد الغذائية تعتبر مواد لزجة - مرنة غير خطية. وبالتالي يحسن التقرير لسلوك المواد الغذائية عند تحديد صفاتها الريولوجية. تجارب السلوك اللزج المرن عبارة عن اختبارين بما تراخي الجهد Stress Relaxation والتردد- الاسترجاع Creep-Recovery على العينة .

### النمذجة الرياضية للخواص اللزجة المرنة:

إذا طبقت قوة خارجية على جسم فإن القوى الجزيئية للجسم تميل إلى مقاومة ما قد تسببه هذه القوة. وتتضاغط هذه الجزيئات مع زيادة القوة حتى الوصول إلى التوازن بين القوة الخارجية ومقاومة المادة. عند هذه النقطة يطلق على هذه المرحلة حالة بدء التشوه أو الإنفعال. عندما تزاح هذه القوة الخارجية بدرج، فإن بعض الأجسام تبدأ في الرجوع بشكل كلي أو جزئي- إلى شكلها البدائي. وهذا ما يطلق عليه خاصية

المرونة للمادة Elasticity. وهذه الخاصية يمكن تمثيلها عند العلاج المتوالى للمادة الغذائية ومدى قابليتها للعودة إلى حالتها الأصلية.

#### (أ) تراخي الجهد (Stress Relaxation) :

في اختبار تراخي الجهد يتم تعريض العينة بصورة مفاجئة لتشوه محدد ثم يتم قياس الجهد اللازم بدلالة الزمن لحفظه ثابتاً. ويعتبر نموذج ماكسويل العام أحد أفضل النماذج الرياضية للتعبير عن تراخي الجهد للمنتجات الزراعية. يحتوي نموذج ماكسويل العام على عدد لا نهائي من عناصر ماكسويل موصولة على التوازي مع بعضها البعض مع وجود زنبرك على التوالي معها ليمثل الجهد عند الاتزان. عنصر ماكسويل عبارة عن زنبرك (spring) ونبطة توهين (dash pot) موصلتين على التوالي. ويوضح شكل (48) تمثيلاً ميكانيكياً لنموذج ماكسويل العام في حالة احتوائه على ثلاثة من عناصر ماكسويل على التوازي وزنبرك واحد موصل معها على التوالي. يمثل المعامل ( $m$ ) لزوجة العنصر بينما يمثل ( $E$ ) معامل المرونة للعنصر. ويعرف تراخي الجهد بأنه النقص في الجهد مع الزمن عندما يعمل تشوه ثابت على جسم. من منحنيات جهد التراخي يتبين اعتماد معدل التراخي والجهد المتبقى عند أي زمن على القوة الابتدائية والتشوه الحاصل والمعدل الذي بدأ به المادة بالتشوه. كلما زاد التشوه الابتدائي والقوة المستخدمة كلما زاد الجهد المتبقى وسرعة معدل التراخي. بينما ببطء معدل التشوه الابتدائي (أو القوة المستخدمة) يبطيء التراخي للمادة. وهذا يرجع إلى حقيقة أن المادة قد بدأت بالتراخي خلال مرحلة تطبيق القوة الابتدائية. لهذا السبب ، ينصح بأن يطبق الحمل الابتدائي بأسرع ما يمكن، مع الاحتياط لتجنب الأخطاء التي قد تنتج من سرعة الكبس. يعتبر قياس الزمن اللازم لقوة التراخي عند نسبة معينة (60٪) مثلاً من القيمة الابتدائية طريقة عملية للتعبير عن تراخي الجهد. طريقة أخرى مفضلة ولكن تستلزم وقت أطول هي إتباع معادلة الجسم المرن- اللزج:

$$\tau_1 = \tau_{\text{initial}} e^{-t/\alpha}$$

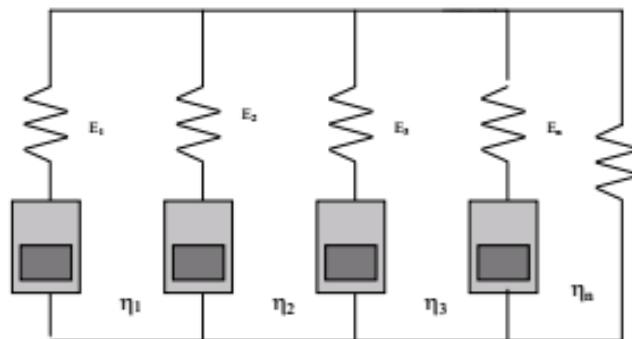
حيث  $\tau$  = الجهد عند زمن  $t$ ، هي "زمن التراخي" الذي يصف استجابة المادة. تحدد هذه الكمية برسم

$$\tau_1 = \tau_{\text{initial}}$$

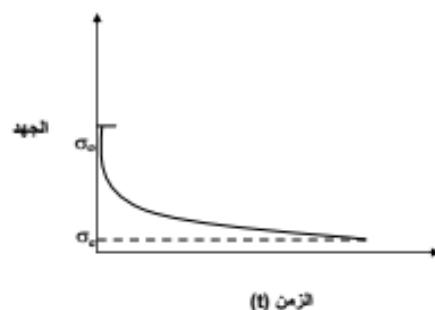
مقابل الزمن  $t$ . ميل الجزء الخططي هو  $e^{-1/\alpha}$ .

يفيد شكل منحنى جهد التراخي في تحديد النماذج الريلولوجية، وكذلك التغيرات في بناء المادة. ولكن يجب ملاحظة أن السريان اللزج قد لا يكون الآلية الوحيدة المسئولة عن التراخي. فقد يكون التناقض في القوة نتيجة انهيار بنائي للمادة.

ويوضح الشكل (49) منحنى تراخي التشوه الذي يمثل المواد الصلبة اللزجة المرنة.



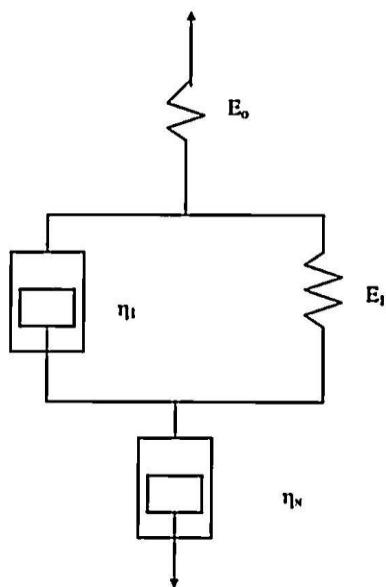
شكل (٤٨). التمثيل الميكانيكي لنموذج ماكسويل العام.



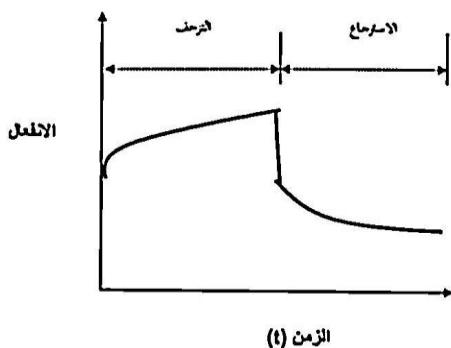
شكل (٤٩). رد الفعل تراخي الجهد لمادة صلبة لزجة-مرنة.

التعبير الرياضي لنموذج ماكسويل العام يمكن كتابته كما يلى:

$$\sigma(t) = \sum_{i=1}^n C_i \left( e^{-\left(\frac{t}{\tau_i}\right)} \right) + \sigma_e$$



شكل (٥٠). التمثيل الميكانيكي لنموذج برجز ذي العناصر الأربع.



شكل (٥١). رد الفعل للتزحف والاسترخاء لمادة ملبة لزجة-مرنة.

$\sigma_e$  الجهد عند الاتزان، ك باسكال  
 $C_i$  ثوابت تراخي الجهد [ك باسكال]، وتساوي  $E_i$ ، حيث  $D$  الانفعال الابتدائي أو اللحظي  $\text{م}^3/\text{م}^3$   
 $E_{D_i}$  معاملات الأضمحلال (Decay Moduli) ك باسكال  
 $\tau_i$  زمن التراخي [ث]، ويعرف بالعلاقة  $\tau_i = \frac{n_i}{E_i}$   
 $n_i$  الزوجة العنصر رقم  $i$ ، ك باسكال. ث  
 $E_i$  معامل المرونة لعنصر رقم  $i$ ، ك باسكال  
 $t$  الزمن (ث)

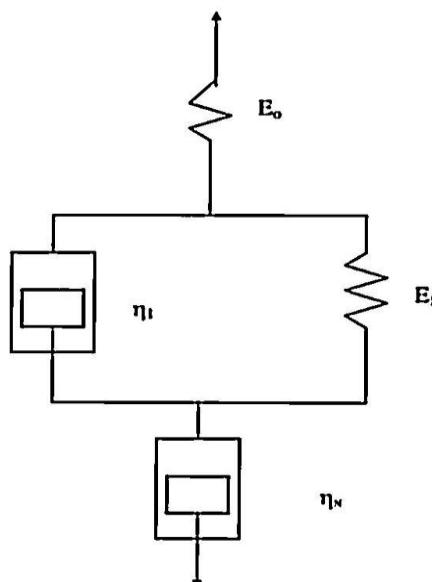
### (ب) التزحف والاسترخاء (Creep and Recovery)

يعرف التزحف Creep بأنه الزيادة في التشوه مع الزمن عندما يعمل جهد ثابت على جسم. نسبة التشوه عند أي زمان للجهد الثابت تدعى "استجابة التزحف". بعكس اختبار جهد التراخي والذي يمكن أداءه بسهولة

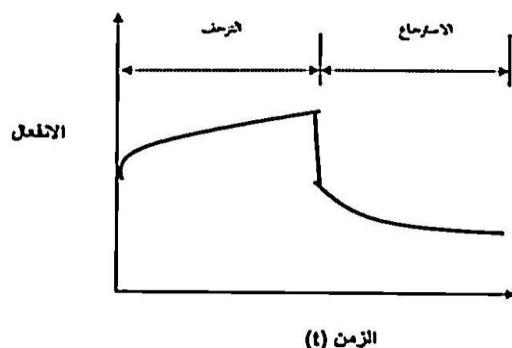
بواسطة جهاز قياس القوام أو أجهزة أخرى مماثلة ، يتطلب اختبار التزحف معدات خاصة في جهاز قياس القوام للحفاظ على ثبات القوة (الحمل) وتسجيل التغير في التشوه (التزحف) مع الزمن. هناك ثلاث مناطق رئيسة في هذا المنحنى: 1) منطقة مرنة لحظية حيث الروابط تتمدد بمرone و يحصل استرداد كامل بعد زوال الجهد. 2) منطقة مرنة مشوهة (معاقفة) حيث يحدث تكسر للروابط واصلاحها. 3) منطقة خطية لسريان نيوتوني حيث أن وحدة السريان تسبق الأخرى حيث أن الزمن إصلاح الروابط أطول من مدة الاختبار. بالتماثل ، تتكون ثلاث مناطق عند إزالة الجهد وحصول الاسترداد 1) الاسترداد اللحظي. 2) الاسترداد المرن المشوه. 3) تشوه غير مسترد.

بسبب وجود عناصر لزجة في البناء الريولوجي لمعظم الأغذية ، يتأثر شكل وموقع منحنيات قوة الكبس- التشوه بشكل كبير بالتشوه الحاصل. وهذا يرجع إلى حقيقة أن المادة تترافق (أو تتفق) عندما ت تعرض للكبس ، مدى هذا التتفق (السريان) يعتمد على طبيعة هذا العنصر الزج، كلما قلت لزوجة المادة (أي أقل احتكاك داخلي) ، الترافق يكون أسرع وأكثر اكتمالاً، ومن ثم أكثر حساسية لمعدل التشوه. بسبب هذه الظاهرة ، كلما زاد معدل التشوه تطلب ذلك قوة أعلى للكبس المادة.

في اختبارات التزحف يتم تسلیط جهد لحظي (مفاجئ) على العينة وقياس الانفعال (التشود) بدلاًلة الزمن. ويعتبر نموذج بيرجرز (Burgers Model) هو أكثر النماذج الميكانيكية استخداماً للتعبير عن ظاهرة التزحف للمواد الزلقة المرنة. ونموذج بيرجرز هو النموذج الميكانيكي الناتج من وضع نموذجي ماسكويل (زنبرك ونبيطة توهين على التوالي) وكيلفن (زنبرك ونبيطة توهين على التوازي) الميكانيكيين على التوالي مما ينتج عنه ما يسمى بنموذج بيرجرز رباعي العناصر كما هو موضح في الشكل (50). كما يوضح شكل (51) منحنى رد الفعل للتزحف والاسترجاع لمادة صلبة لزجة مرنة.



شكل (٥٠). التمثيل الميكانيكي لنموذج بيرجرز ذي العناصر الأربع.



شكل (٥١). رد الفعل للتردد والاسترجاع لمادة صلبة لزجة-مرنة.

المعادلة الرياضية التي تعبّر عن نموذج بيرجرز ذي العناصر الاربعة يمكن كتابتها كما يلي :

$$J = J_0 + J_1 \left[ 1 - e^{\left( -\frac{t}{\tau_{ret}} \right)} \right] + \left( \frac{1}{n_N} \right) t$$

حيث :

$J$  المطابعة (compliance) عند اي زمان  $t$  , [ ك بascal ]

$J_0$  المطابعة اللحظية [ ك بascal ]

زمن التباطؤ المرتبط بعنصر كلفن .  $\tau_{ret}$

اللزوجة النيوتونية . [ ك بascal . ث ]  $n_N$

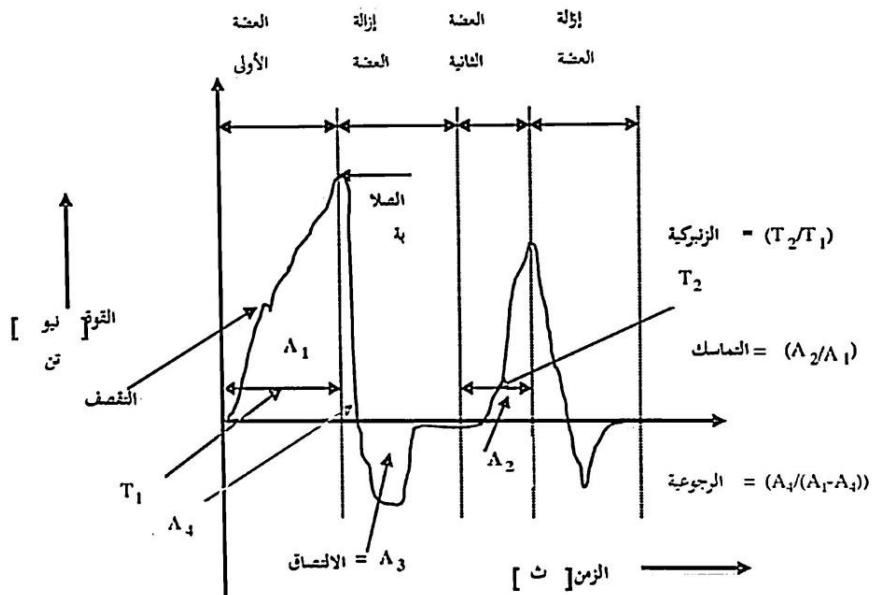
الزمن (ث)  $t$

### ثالثاً: التحليل القطاعي للقوام والتقييم الحسي (Texture Profile Analysis)

وجد أن هناك ثلاًث مكونات رئيسة يعتمد عليها مدى القبول للمادة الغذائية بالنسبة لمستهلك و هي: القوام، الشكل الظاهري، النكهة) المذاق(. لذا يتضح الأهمية القصوى لإيجاد طرق دقيقة لتحديد قوام المواد الغذائية يستفيد منها علماء الأغذية. هدف رئيس لكثير من دراسات القوام هو إيجاد اختبارات ميكانيكية للمواد الغذائية وإمكانية أن تكون بديلة عن التقييم الحسي البشري. منذ أوائل الثلاثينيات الميلادية من هذا القرن بدأت عدد من المحاولات لقياس عدد من خواص القوام ميكانيكيا. مثلاً في عام 1956م في معهد MIT تم تصميم فكي إنسان صناعيين موصولة بجهاز لقياس الجهد والإجهاد للمواد الغذائية لمحاكاة جهد الإنسان لعلج و مضغ الطعام. وت تكون الأجهزة الحديثة لقياس القوام أساساً من سطح ثابت توضع عليه العينة ومن ثم يكون هناك عمود (ذراع رأسية) متحركة يتحرك إلى أعلى وأسفل بواسطة عدد من التروس وعلى سرعات يمكن التحكم بها (50-5 سم ادفقة). هذا الجهاز يعتمد على العناصر الربيلوجية الرئيسية قوة (أو جهد)، مسافة (تشوه أو إجهاد)، وزمن. وهناك حساس قوة لقياس الجهد الواقع على المادة الغذائية يقع عادة فوق أو تحت رأس الكباس. هذه القوى (50-500 نيوتن) مع مقدار التشوه أو الزمن يمكن تسجيلها على ورق رسم بياني أو في الأجهزة الحديثة يتم التسجيل رأساً إلى برنامج مخصص في الحاسوب الآلي يقوم بكافة الحسابات والرسوم.

يتضمن اختبار التحليل القطاعي لقوام (TPA) كبساً لمرتدين لعينة المادة الغذائية في حركة ترددية تحاكي حركة الفك عند مضغ الغذاء. ويوضح شكل (52) أدناه المنحنى القياسي للتحليل القطاعي للقوام مبيناً عليه الخواص الأساسية للتحليل القطاعي للقوام وهي الصلابة والتماسك والزنبركية والالتتصاق والتقصف بينما الخواص الثانوية (المشتقة) هي المضغ و التصمغ، إضافة إلى الخاصية الإضافية الرجوعية. يعتمد اختبار القوام الأساسي على دورتين للكبس. يقوم الكابس بعمل الجهد على العينة -عند سرعة معينة وإحداث تشوه بها حتى مسافة 75% (أي حتى 25% من القاعدة حيث أن ارتفاع العينة 100%- عادة 1 سم) ثم تزاح القوة برفع الكباس إلى وضعه الابتدائي. وتسمى هذه الدورة "العضة" الأولى. الدورة أو العضة الثانية مشابهة للأولى حيث تقيس مدى مرنة المادة (التشوه المؤقت) وكذلك اللدونة (التشوه الدائم).

من المنحنين المتحصل عليهما من هذا الاختبار يمكن حساب العديد من خواص القوام وهي:



شكل (٥٢). المنحنى النموذجي للتحليل القطاعي للقواب.

وقد يلي تعريف مفصل للخواص الأساسية والثانوية للتحليل القطاعي للقواب :

#### (ا) خواص التحليل القطاعي للقواب : TPA

1- **التقصف (التهشم) (Brittleness) :** التقصف (نيوتون) هو القوة عند اول تحطم للعينة في منحنى تغير القوة مع الزمن . وتمثل هذه الخاصية مدي سهولة تحطم او تكسير العينة عند جمل كبس متزايد . بصفة عامة كلما كان التشوه صغيرا عند حمل محدد فان التماسك يكون منخفضا وبالتالي يزداد احتمال تحطم العينة . ومن المعلوم ان المنتجات المرنة لا يحدث بها اي تقصف .

2 - **الصلابة (Hardness) :** الصلابة (نيوتون) هي القمة القصوى لقوة خلال عملية الكبس الأولى (العنة الأولى) وهي تمثل القوة اللازمة لحفظ على تشوه محدد. ويعمل برنامج الحاسب الآلي (Texture Export Exceed) المدمج مع جهاز قياس الخواص الميكانيكية (Analyzer, Model TA.HDi , Stable Micro Systems, Surrey, England) على ايجاد قيمة الصلابة من منحنى تغير القوة مع الزمن وجدولتها آليا.

3 - **التماسك (Cohesiveness) :** التماسك (لا وحدات له) هو النسبة بين مساحة القوة الموجبة خلال عملية الكبس الثانية (العنة الثانية) إلى مساحة القوة الموجبة خلال عملية الكبس الأولى (العنة الأولى) ويمثل التماسك قوة الارتباط الداخلية التي تشكل جسم العينة. ويختبر التماسك عادة بدالة المعاملات الثانوية وهي التقصف والمضغ والتصمغ.

4- الزنبركية (المرونة) (Elasticity[Springiness]) : ترتبط الزنبركية (لا وحدات لها) بالمسافة (الارتفاع) التي تستعيدها العينة خلال الزمن المنقضي بين نهاية العضة الأولى وبداية العضة الثانية. وهي تمثل المعدل اللازم للعينة المشوهة للرجوع إلى حالتها الأولية بعد إزالة القوة المسببة للتشوه .

5- الالتصاق (Adhesiveness) : يعرف الالتصاق (نيوتون. ث) (بالمساحة السالبة للفورة خلال العضة الأولى ويمثل الشغل اللازم للتخلص من القوى الجاذبة بين سطح العينة والمواد الأخرى التي قد تلتصق العينة، أي القوة اللازمة لجذب القرص الأسطواني المستخدم للكبس بعيداً عن العينة. وللعينات التي تتسم بقيم التصاقها العالية وقيم تمسكها المنخفضة عند اختبارها، فإن جزءاً من العينة قد يتلتصق بقرص الكبس في رحلة ارتفاعه من العضة الأولى.

6- المضغ (Chewiness): يعرف المضغ (لا وحدات له) بأنه التصمغ الزنبركية (فذلك يساوي الصلابة التماسك الزنبركية) وبالتالي يؤثر بتغير أي من هذه المعاملات. المضغ والطراوة والقساوة تفاصيل جميعها بدلاله الطاقة اللازمة لمضغ الأغذية الصلبة. وهذه الخواص من أكثر الخواص صعوبة في قياسها بدقة نظراً لأن عملية المضغ تتكون من عمليات كبس وقص وشق وطحن وتمزيق وتقطيع مع تمبيع بسوائل الفم عند درجة حرارة الجسم. ويجب ملاحظة أن نفس العينة لا تعطي مضغها وتصميماً في آن واحد إلا في حالة تحولها من مادة صلبة إلى مادة شبه صلبة أثناء عملية المضغ الحسي. وبدهاً فإن مثل هذا التحول لا يمكن إنجازه أثناء التقديم الآلي للتحليل القطاعي للقروام . وبالتالي فمن الخطأ وضع قيم تجريبية لكل المضغ والتصمغ في نتائج التحليل القطاعي للقروام للمواد الصلبة أو شبه الصلبة. وبصفة عامة من المحبذ عرض قيم المضغ للمواد الصلبة وقيم التصمغ للمواد شبه الصلبة.

7- التصمغ (Gum mines): يعرف التصمغ (لا وحدات له) بأنه الصلابة ~~x~~ التماسك. وهو خاصية مرتبطة بالمواد الغذائية شبه الصلبة منخفضة الصلابة وعالية التماسك. وهي القيمة التي تمثل الطاقة اللازمة لنفكك (تفتيت) العينة شبه الصلبة لحالة تسهل عملية ابتلاعها.

8- الرجوعية (لا وحدات لها) (Resilience): ليست من الخواص الأصلية للتحليل القطاعي للقروام بيد أنه قد تم تطويرها بعد التأمل بعمق أكثر في عملية الاستعادة المرنة لبعض العينات الغذائية. وتعتبر هذه الخاصية مقياساً للكيفية التي تسترجع بها العينة حالتها من عملية التشوه بدلاله السرعة والقوى المؤثرة عليها. ويتم حسابها كنسبة لمساحتين وأولهما المساحة المحسوبة من النقطة التي يرجع فيها قرص الكبس في رحلة العودة من العضة الأولى إلى نقطة تقاطع القوة القصوى مع المحور السيني والمساحة الثانية وهي الناتجة عن العضة الأولى.

تضمنت عملية الكبس عضتين حيث يتضمن من المنهى الناتج عنهم الحصول على

### العلاقة بين التقييم الحسى والموضوعي لقوام المنتجات الحيوية

يعرف قاموس ويسترن قوام المادة بأنه نوعية البناء لمادة ما. طبعاً هذا التعريف قد لا يكون الأنسب لتعريف المواد الغذائية. رامر عرف قوام المواد الغذائية بأنها الخواص للمواد الغذائية التي يمكن حسها بالعين وبالجلد والحواس العضلية في الفم والتي تشمل الخشونة والملاسة وغيرها. هذه الخواص يمكن تحديدها (سيزنياك و كلين 1992 م) في المكونات مثل نسبة الرطوبة و نسبة الدهن، التماسك، السائلة، المرونة، الالتصاق، الهشاشة، العلچ، والمضغ. يتم محاولة القياس لهذه الخواص لقوام المواد الغذائية بشكل رئيسي عن طريق تحديد الجهد اللازم (من الفم) لفصل وبلغ هذه المواد. ومن الصعوبة محاولة الرابط الدقيق بين هذه الخواص وقوام المادة الغذائية. ولكن يمكن تحليل هذه الخواص المرتبطة بالقوام. هناك حوالي 350 مصطلح يصف جودة المادة الغذائية، حوالي 25% منها يتعلق بقوام المادة مثل الصلابة - النعومة - الهشاشة - النضج - القسوة - اللصق- التماسك - . الخ. هذا بالإضافة إلى الخواص الريولوجية مثل اللدونة - الليونة. ويمكن وصف تلك الخصائص قبل أو أثناء التصنيع أو عند الاستهلاك. فمثلاً تقييد الصلابة في تحديد درجة النضج المناسبة للحصاد وبالتالي تحديد أنساب وقت للحصاد. وكذلك في قابلية المستهلك.

تكمّن أهمية تعريف خواص القوام لعمل جسر بين مصطلحات التقى بين الحسي المعروفة Sensory terms التي تصف القوام والمبادئ الريولوجية لتأثيرات لجهد والإجهاد والزمن. ولقد أتفق متخصصي التقييم

الحسي وتقنيي الغذاء المهتمين بقوام المادة الغذائية على عدد من الخصائص الحسية التي يمكن قياسها بأجهزة تراعي خصوصية وصفات المواد الغذائية. وتحدد صفات القوام لمادة ما بالخواص الطبيعية والكيميائية للمادة بالإضافة إلى التقييم الحسي الإنساني، حيث أن هناك قياسان رئيسان لتلك الخصائص:

(1) قياس نسبي (شخصي) : ويسمى أيضاً تقييم حسي. وتقاس الخصائص بواسطة أشخاص عادة يكونون مدربين على حس معين مثل المضغ وقساوة المادة في الفم. طبعاً هذا القياس غير ثابت سواء من شخص آخر أو حتى عند تكرار التجربة لنفس الشخص.

(2) قياس موضوعي: ويطلق عليه تقييم جهازي - بواسطة أجهزة قياس معيارية. ويكون أكثر دقة من القياس النسبي ويتم التخلص من الانحياز الإرادي أو غير الإرادي. ويتم ذلك ب:

1- تحديد الخاصية التي يراد قياسها

2- ترجمة القياس إلى أرقام

- تثبيت أي عوامل أخرى ماعدا التغيير في تلك الخاصية

مع أن القياس الثاني أكثر دقة وثقة وثبتاناً إلى أنه يصبح مجرد أرقام لا قيمة لها عند قطاع المستهلكين إذا لم يعابر أو يقابل باختبارات حسية. إذن يترتب على ذلك أهمية "محاكاة" "الجهاز" أو الآلة الحواس الإنسان باختبارات وعناية فائقة من قبل المحكمين وباستخدام طرق إحصائية علمية. ومن ثم "ترجمة" تلك

المواصفات الحسية إلى موصفات يمكن قياسها بالأجهزة. ولقد طبقت هذه الطريقة لكثير من المواد الغذائية مثل الأجبان والعجائن.

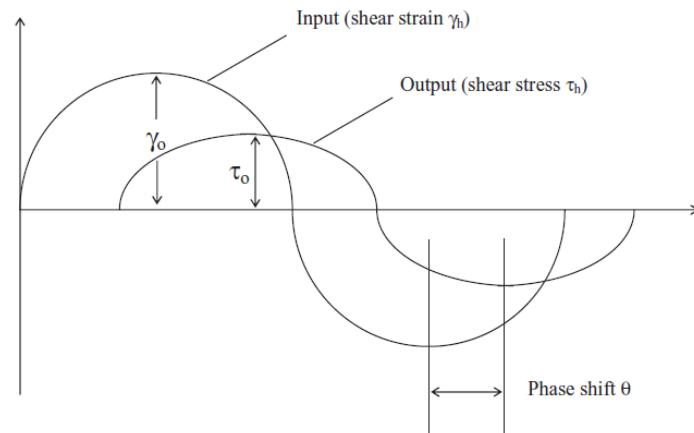
في كثير من العمليات الهندسية يكون هناك تغير للقوام عند تحويل المادة الخام إلى المادة النهائية. ويلاحظ أن جميع المواد الغذائية تكون قابلة للتفاعل الكيميائي، الحيوي، وغير مستقرة طبيعي. يطمح المهندسون الزراعيون إلى إمكانية توقع الخصائص للمواد الغذائية عند تعريضها لعمليات التصنيع الغذائي والتخزين. مثلاً عند تصنيع البروتين يجب أن نتعرف على المواد المذيبة ( هنا الماء والدهون). وبالتالي على خصائص الترابط الدقيق (الميكروسكوبى) وتوازن الطاقة عند أسطح الجزيئات المكونة للمادة الغذائية. في إيجاد المسامية وتوزيع أحجام المسامات في المواد الغذائية يساعد في تحديد جودة المادة، تصميم عمليات التصنيع، والتغليف وتأثير ذلك على الخواص الميكانيكية والانضغاط. وهذا يبين أهمية دراسة التركيب الميكروسكوبى تساهمن بشكل كبير في السلوك الميكانيكي الذي يتم دراسته بشكل مكثف في الأبحاث الحالية. مثلاً يستخدم السلوك الميكانيكي عند ضغط مادة لتقدير المسامية. القوة اللازمة للاختراق تحتاج إلى 3613 نيوتن على  $m^2$  للتفاحر بينما تحتاج إلى 71911 نيوتن على  $m^2$  للبطاطس. ويعتقد أن هذا راجع بشكل كبير لوجود 23% من الهواء (حجم) في التفاحر مقارنة بـ 2% للبطاطس.

### 3- الاختبار الديناميكي (اختبار التذبذب) Dynamic (oscillatory test)

في الاختبارات الديناميكية ، يتم التحكم في المعدل (يتم قياس الإجهاد عند إجهاد ثابت) أو يتم التحكم في الإجهاد (يتم قياس التشوه مع الإجهاد المستمر). وهذا هو اختبار التذبذب ، تخضع المواد لتشوه أو الإجهاد الذي يختلف بشكل متزامن مع الوقت. يقاس إجهاد القص في العينة (الشكل 21). الاسطوانة المركزية أو الزوجة المتوازية مناسبة لهذا الغرض. هذه الاختبار مناسب للمواد اللزجة غير المضطربة كدالة للوقت. كلاهما من ولزج يمكن الحصول على مكونات على نطاق واسع من الوقت. يعتمد مقدار التأخير الزمني (انتقال الطور) للإرسال على طبيعة الزوجة المرنة من المواد. ينتقل الكثير من الضغط في مواد عالية المرونة أثناء تبديدها خسائر الاحتكاك في الزوجة. الفارق الزمني كبير بالنسبة للمواد اللزجة للغاية ولكنه صغير لمواد مرنة للغاية. معامل تخزين ( $G_1$ ) مرتفع للمواد المرنة ومعامل الخسارة ( $G_2$ ) العالي يتم تعریف المواد اللزجة على النحو التالي:

$$G' = \frac{\tau_0 \cos \theta}{\gamma_0} \quad (2.85)$$

$$G'' = \frac{\tau_0 \sin \theta}{\gamma_0} \quad (2.86)$$



الشكل 21. الإجهاد القص التوافقى مقابل الإجهاد لمادة اللزوجة فى اختبار ديناميكى

## الاحتكاك Friction

انه من الامور المهمة دراسة تأثير نوع السريان على معاملات الاحتكاك بين طبقات المائع وبعضاها وبينها وبين الوعاء المحتوى عليها اثناء تطور الانواع المختلفة من نظم السريان (طبقي - مرحلبي - دوامي) . وحيث ان معظم المواد الغذائية المصنعة تسلك سلوك غير نيوتونى وتتأثر كثيرا بدرجة الحرارة اثناء معاملة هذه المواد حراريا ، وبالتالي يتطلب الامر تطوير صيغ رياضية للموائع الغير نيوتونية لامكان استخدامها لوصف سلوك الموائع اثناء سريانها وبالاخص داخل الانابيب أو المواسير الاسوانية .

ويتعين علينا استخدام رقم رينولدز اخر مختلف عن المواقع النيوتونية ويسمى رقم رينولدز العام Genwralized Reynolds Number (GRe) حيث :

$$GRe = \frac{\rho u^{2-n} D^n}{2^{n-3} \cdot k \left[ \frac{3n+1}{n} \right]^n}$$

ومن الواضح ان رقم رينولدز العام سيتغير بتغير نفس المعاملات كما هو الحال بالنسبة لرقم رينولدز العادي ولكن يختلف في ان القيمة ستتغير مع تغير قيمة الاس n (دليل سلوك السريان) ويتلاحظ ان رقم رينولدز العام يساوى رقم رينولدز العادي عندما تكون قيمة n=1 وبالتالي تحول k الى  $\mu$  . وفي حالة السريان الانسيابي او الطبقي يكون

$$GRe < 2100 \text{ Laminar Flow}$$

$$f = \text{friction factor} = \frac{64}{GRe} \quad \text{معامل الاحتكاك}$$

وفي حالة السريان الدوامي المضطرب

$$GRe < 2100 \text{ Laminar Flow}$$

$$f = 0.316 / GRe^{0.25} \quad \text{معامل الاحتكاك}$$

ومن العوامل الاخرى الهامة في عملية وصف سريان موائع الاغذية هو طاقة الحركة فإذا طبقنا قانون الاس بالنسبة لمائع يسري داخل انبوب اسطواني فتكون طاقة الحركة كما يأتي :

$$K.E. = \frac{u^2}{2ag} = \text{constant} = a$$

Where

$$a = \frac{(4n+2)(5n+3)}{3(3n+1)^2}$$

ويلاحظ ان قيمته تساوى الواحد الصحيح عندما تكون  $n=1$  اي في حالة سائل نيوتوني .

مثال (3)

احسب قيمة رقم رينولدز لتحديد نوع السريان لمركز المشمش ذو الخصائص الآتية:

$$n = 0.3 \quad k = 20 \text{ pa.s}^n$$

اذا كان سريان مركز المشمش في انبوب قطره 2.54 سم وسرعة السريان المتوسطة

تساوي 0.6 متر/ثانية . ماذا تكون قيمة رقم رينولدز في حالة سريان مياه نقية في الانبوب ؟

$$\rho_{\text{apricot}} = 1040 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{water}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{water}} = 1488 \times 10^{-3} \text{ pa.sec.}$$

الحل

$$GRe = \frac{\rho u^{2-n} D^n}{2^{n-3} \cdot k \left[ \frac{3n+1}{n} \right]^n}$$

$$GRe = \frac{(1040)(0.6)^{1.7} \left( \frac{2.54}{100} \right)^{0.3}}{2^{-2.7} \cdot (20) \cdot \left( \frac{0.9+1}{0.3} \right)^{0.3}} = 27.1$$

وعلي هذا الاساس يكون السريان طبقي متوازي

وفي حالة استخدام مياه نقية

$$Re = \frac{\rho u D}{\mu}$$

$$= \frac{(1000)(0.6)\left(\frac{2.54}{100}\right)}{1488 \times 10^{-3}} = 10.24$$

وكذلك يكون السريان طبقي متوازي

مثال (4)

يتم ضخ صلصة التفاح Apple Sauce خلال ماسورة قطرها 5 سم بسرعة متوسطة قدرها 3

متر/ثانية ودرجة حرارة 24° اوجد نوع السريان واحسب قيمة معامل الاحتكاك اذا كان :

$$n=0.408$$

$$k = 0.66 \text{ pa.s}^n$$

$$\rho = 1100 \text{ kg/m}^3$$

الحل

$$GR_{e} = \frac{pu^{2-n}D^n}{2^{n-3} \cdot k \left[ \frac{3n+1}{n} \right]^n}$$

$$GR_{e} = \frac{(1100)(3)^{1.592}(0.05)^{0.408}}{2^{-2.592} \cdot (0.66) \cdot \left( \frac{1.224+1}{0.408} \right)^{0.408}} = 8519$$

وعلي ذلك يكون السريان دوامي مضطرب ولحساب قيمة معامل الاحتكاك نستخدم المعادلة

$$f = 0.316 / GR_{e}^{0.25}$$

$$f = \frac{0.316}{(8519)^{0.25}} = \frac{0.316}{9.607} = 0.033$$

### الموائع البلاستيكية : Plastic fluids

تنقسم هذه الموائع بدورها إلى نوعين هما :

سوائل بنجهام المرنة Bingham plastic fluids

في هذه الأنواع من السوائل يظل السائل جامداً عندما يكون إجهاد القص أصغر من الضغط ينتج عنه إجهاد ( $\tau_0$ ) ولكنه يتدفق مثل السائل النيوتوني عندما يتجاوز إجهاد القص ( $\tau_0$ ). معجون الأسنان هو مثال نموذجي لسائل بنجهام المرن حيث لا يتدفق ما لم يتم ضغط الأنابيب. ومن أمثلة هذا النوع من السوائل المايونيز ، معجون الطماطم ، والكاتشب

المعادلة (2.15) تبين سلوك السوائل المرنة لباكنجهام

$$\tau_{yz} = \tau_0 + k \left( \frac{dv_z}{dy} \right) \quad (2.15)$$

The apparent viscosities for Bingham plastic fluids can be determined by taking the ratio of shear stress to the corresponding shear rate:

$$\eta(\dot{\gamma}) = \frac{\tau_0 + k(\dot{\gamma})}{\dot{\gamma}} = \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} + k \quad (2.16)$$

سوائل بنجهام الغير مرنة Non - Bingham plastic fluids

في هذه الأنواع من السوائل يجب تجاوز الحد الأدنى من إجهاد القص المعروف باسم (إجهاد الانتاج yeiled stress) قبل بداية التدفق كما هو الحال في سوائل بنجهام المرنة ومع ذلك فإن الرسم البياني لاجهاد القص مقابل معدل القص ليس خطيا. السوائل من هذا النوع هي إما قص رقيق أو قص سميك مع إجهاد الانتاج .

تتميز السوائل التي تطبع نموذج هيرشل - بوجود مصطلح إجهاد الانتاج ( $\tau_0$ ) في معادلة قانون الطاقة.

$$\tau_{yz} = \tau_0 + k(\dot{\gamma}_{yz})^n \quad (2.17)$$

معجون السمك المفروم ومعجون الزبىب يخضعون لنموذج هيرشل. كذلك سلوك تدفق دقيق الأرز الخليط المستخدم في المنتجات المقلية يخضع لنموذج هيرشل (Herald, Mukprasirt, & Floryis, 2000)

$$(\tau_{yz})^{0.5} = (\tau_0)^{0.5} + k(\dot{\gamma}_{yz})^{0.5} \quad (2.18)$$

مثال:

تُستخدم ألياف دقيق قمح لها قطر قدره 1.65 mm لاختبار الخواص الريولوجية للمكرونة الطويلة الرفيعة . تم إجراء اختبار لـإجهاد عمودي شدي على ألياف طولها 150 mm ونتائج اختبار الإجهاد وتعديل الشكل العمودي الشدي موضحة في الشريحة التالية . من المعلومات المعطاة أحسب التالي : قيمة معامل يُنبع أو معامل المرونة .

قيمة نسبة بويسون إذا كان التغيير في عرض قطر ألياف القمح يساوي

$15 \text{ MPa}$  تحت إجهاد قيمته  $2.43 \text{ mm}^*10^{-3} \text{ mm}$

### ملمس الأغذية : Texture of foods

ملمس المادة الغذائية يُعتبر من أهم خصائص جودتها وللمواد الغذائية خصائص ملمس مختلفة . هذه الاختلافات يمكن أن تُعزى إلى التالي :

❖ الفروقات الموروثة بالنسبة للعينة

❖ الفروقات بالنسبة لمرحلة النضج

❖ الفروقات بالنسبة لعمليات التصنيع الغذائي

يمكن تقييم الملمس للمواد الغذائية بطرق حسية وبطرق قياس تجريبية الطرق الحسية تحتاج إلى لجان تذوق مدربة . طرق القياس التجريبية أقل كلفة وتستغرق زمن أقصر مقارنة بالطرق الحسية .

يوجد العديد من الاختبارات التابعة لطرق القياس التجريبية لتقديم ملمس المواد الغذائية ومن أهم الاختبارات يمكن ذكر التالي :

□ اختبار الإنضغاط Compression test

□ اختبار الثني Snapping – bending test

□ اختبار القص Cutting shear test

□ اختبار الثقب puncture test

□ اختبار الإختراق penetration test

□ اختبار الصورة الجاذبية للملمس Texture profile analysis (TPA) test

### اختبار الإنضغاط : Compression test

**إختبار الإنضغاط (تعديل الشكل) :** ثقاس فيه المسافة التي تنضغط خلالها المادة الغذائية تحت قوة إنضغاط معيارية . يمكن تشبيه هذا الإختبار بعملية عصر الخبز بواسطة المستهلك للتأكد من أن الخبز طازج . حسب طريقة الجمعية الأمريكية للكيميائين الحيويين (AACC) ، فإن متانة (Firmness) الخبز يتم تحديدها بإستخدام مبدأ الإنضغاط . في هذه الطريقة تُستخدم ماكينة إنضغاط مزودة بمكبس مصنوع من الألمنيوم له سرعة رأس عرضية قدرها 100mm/min لكن يتم تشغيل المكبس عند سرعة 50 mm/min يتم الحصول عليها من خريطة مصاحبة ل ماكينة الإنضغاط . يتم إستخدام شريحة من الخبز لها سمك قدرة

25 mm أو شريحتين لكل منها سمك قدره 12.5 mm . يتم قراءة القوة المطلوبة لتحقيق 25 % من الإنضغاط من الخريطة المصاحبة . يمكن إستخدام إختبار الإنضغاط لمنتجات مخبوزة أخرى غير الخبز .

#### **: Snapping – bending test**

في هذا الإختبار : ثقاس القوة المطلوبة لثني مادة غذائية هشة مثل البسكويت وأعمدة الشوكولاتة . توضع العينة عبر قضيبين عموديين لكي يحملانها في وضع أفقي . يوجد عمود ثالث أعلى العينة وبالضبط عند منتصف مسافة بين القضيبين العموديين . يتم تحريك العمود الثالث إلى أسفل نحو العينة حتى تنكسر وعندئذ يتم قياس القوة المطلوبة لثني العينة . القوة المطلوبة لثني العينة تعتمد على متانة وأبعاد العينة . إختبار الثني الثلاثي النقاط هو الأكثر إستخداماً لثني المواد . في هذا الإختبار يجب أن تكون نسبة طول العينة المختبرة إلى سmekها على الأقل 10 . الشريحة التالية توضح جهاز إختبار الثني الثلاثي النقاط

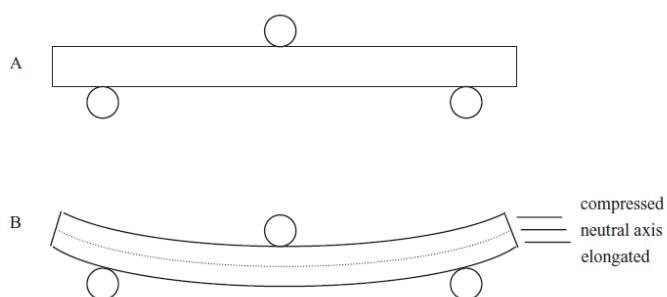


Figure 2.27 Illustration of three-point bending test.

#### **: Cutting shear test**

جهاز التندرومتر (Tenderometer) للبازلاء الذي تم إستخدامه في عام 1937 م يعمل بمبدأ قص القطع . يتكون الجهاز من شبكة من الأنصال تدور عند سرعة ثابتة خلال شبكة ثانية من الأنصال . أثناء تقطيع البازلاء يتم قياس القوة القصوى المطلوبة لقص القطع . مازال جهاز التندرومتر مستخدماً حتى اليوم لتحديد مرحلة النضوج للبازلاء عند موسم الحصاد . الشريحة التالية توضح جهاز التندرومتر للبازلاء بينما الشريحة التي تليها توضح جهاز مكبس القص لكرامر (Kramer shear press) والذي يستخدم لنقييم خواص الملمس للبازلاء ، الخضروات ، والفاكهه . يتكون الجهاز من عشرة أنصال قص يتم دفعها خلال

العينة المختبرة من جانب حتى تخرج من الجانب الآخر وعندئذ يتم قياس القوة على المكبس المطلوبة لقص القطع .

### اختبار الثقب : Puncture test

في إختبار الثقب : يتم قياس القوة المطلوبة لدفع محس خلال عينة المادة الغذائية ويتم التعبير عن خاصية الملمس بمصطلحات مثل المتانة (Hardness) أو الصلابة (Firmness) للمنتج نفسه . يُستخدم هذا الإختبار بكثرة لتقييم الملمس للفاكهة ، الخضروات ، المواد الهلامية وبعض منتجات الألبان واللحوم . هذا الإختبار لا يناسب منتجات الغلال حيث أنها معرضة للكسر . قوة الثقب تتناسب مباشرة مع مساحة ومحيط رأس المحس وكذلك خواص القص للمادة الغذائية .

### اختبار الإخترق : Penetration test

في هذا الإختبار يُستخدم جهاز قياس الإخترق (Penetrometer) والذي يعمل على : قياس المسافة التي يغوص فيها مخروط أو إبرة الجهاز داخل عينة مادة غذائية مثل الميونيز أو الزبد النباتي تحت تأثير قوة الجاذبية خلال زمن معين ، عمق الإخترق يعتمد على عدة عوامل : وزن المخروط ، زاوية المخروط ، ارتفاع السقوط للمخروط وخواص المادة الغذائية . الشريحة التالية توضح مبدأ عمل جهاز قياس الإخترق .

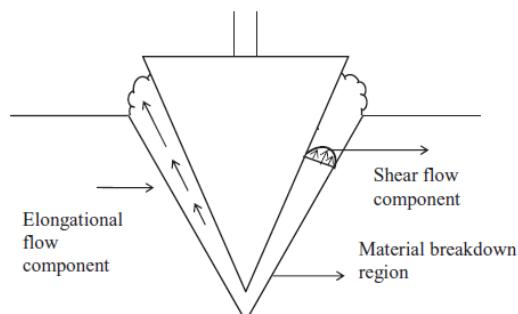


Figure 2.28 Illustration of penetrometer. [From Van Vliet, T. Rheological classification of foods and instrumental techniques for their study. In A.J. Rosenthal (Ed.), *Food Texture Measurement and Perception* (pp. 65–98). New York: Aspen. Copyright © (1999) with permission from Springer.]

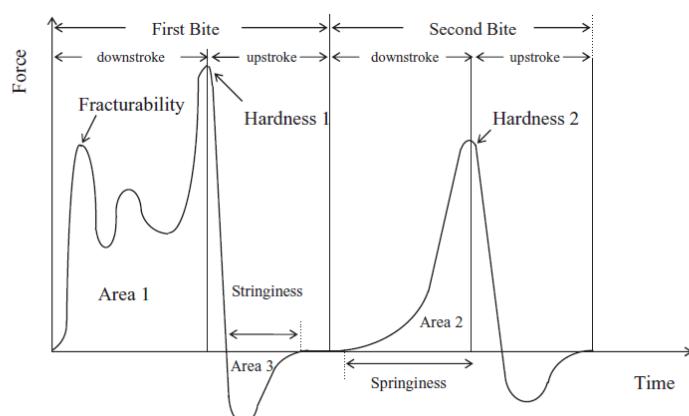


Figure 2.29 Generalized texture profile.

### اختبار الصورة الجانبية للملمس (TPA) test

يمكن إجراء هذا الإختبار بطرق حسية أو طرق قياس تجريبية . في الطرق الحسية يتم ضغط قطعة في حجم عضة فم الإنسان في الفم ( ) مرتان لحت فعل المضغ للأنسنان . الإنضغاط المتوقع حدوثه في هذا الاختبار الحسي يكون في حدود % 80 من الطول الأصلي للعينة المختبرة . في طرق القياس التجربى تُستخدم أجهزة تُسمى محلات الملمس (Texture analyzers) للحصول على الصورة الجانبية لملمس العينة . الشريحة التالية توضح جهاز محل الملمس .

من الرسم البياني لمنحنى القوة كدالة في الزمن يمكن تحديد بعض خواص الملمس التالية :

- الهشاشة Brittleness
- الصلابة Hardness
- التماسك Cohesiveness
- الإلتصاق Adhesiveness
- المرونة Elasticity
- الصمغية Gumminess
- chewiness

الشريحة التالية توضح منحنى القوة كدالة في الزمن . جهاز محل الملمس يعمل على ضغط عينة المادة الغذائية مرتان كما يحدث في حالة إختبار الحسي . عليه نتوقع الحصول جزءان موجبان وجزءان سالبان للمنحنى وخواص الملمس المذكورة في الشريحة السابقة يمكن تفسيرها بيانياً كما يلي :

: Brittleness هي القوة عند أول إنكسار معنوي خلال مرحلة العضة الأولى .

: Hardness هي قوة الذروة لكل من مرحلتي العض .

: Cohesiveness هي نسبة المساحة 2 إلى المساحة 1

: Adhesiveness هي المساحة 3 حيث تمثل الشغل المطلوب لسحب مكبس الإنضغاط بعيداً عن عينة المادة الغذائية .

: Elasticity هي الزمن المطلوب لمشوار الصعود خلال مرحلة العضة الأولى بينما هي الزمن المطلوب لمشوار الهبوط خلال مرحلة العضة الثانية .

: Gumminess الصمغية

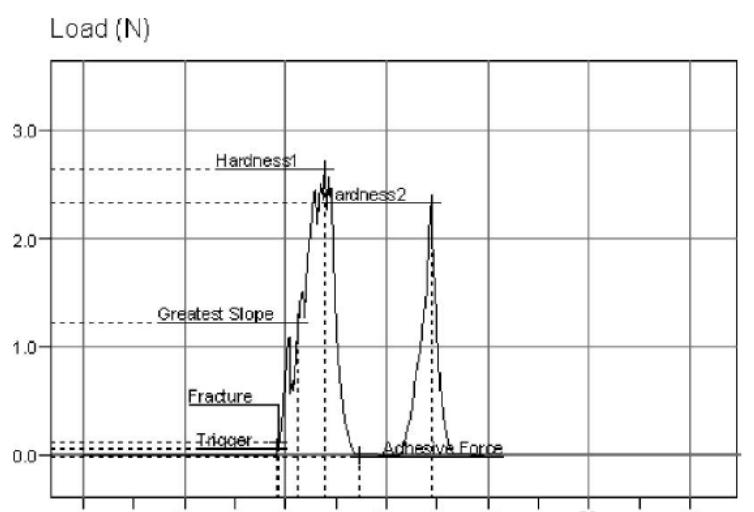
هي حاصل ضرب الصلابة لكلٍ من مرحلتي العض في التماسك .

► المضغ : Chewiness

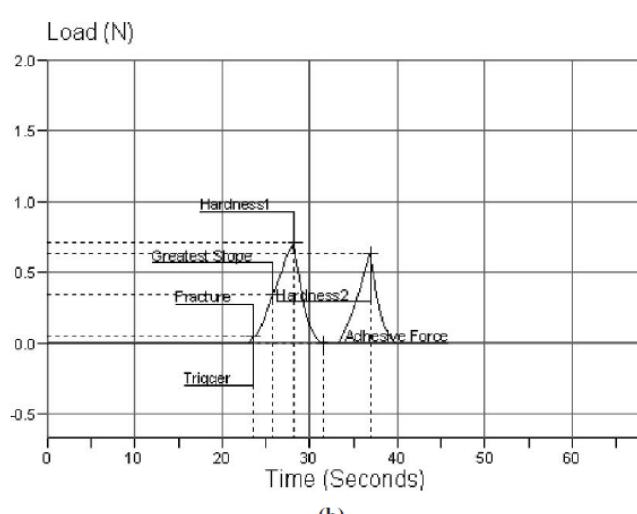
هي حاصل ضرب الصمغية في المرونة لكلٍ من مرحلتي العض .

مهمة

Assignment



(a)



(b)

Figure 2.30 Texture profiles for different food examples: (a) chicken nugget; (b) bread.

## تمارين

- 1- يعتبر الحجم والكتافة ومساحة السطح من الخواص الطبيعية للمنتجات الزراعية. تكلم باختصار عن هذه الخواص مع توضيح طريقة قياس كل منهم.
- 2- تناول بالشرح قانون نيوتن للزوجة مع استنتاج القانون رياضياً.
- 3- من خلال دراستك للخواص الريولوجية وضح كيف يمكنك وصف السلوك الريولوجي للمنتجات الآتية ( العسل – معجون الموز – نشا الذرة الصفراء – الماء) موضحا اجابتك بالرسوم البيانية والمعادلات.
- 4- مائع بين لوحين متوازيين المسافة بينهما 0.1 متر. اللوح السفلى ثابت بينما العلوي يتحرك بسرعة 7 والمائع المار بين اللوحين هو الماء ولزوجته 1 سم بواز. المطلوب احسب مع التوضيح بالرسم:
  - جهد القص اللازم للحفاظ على اللوح العلوي في الحركة بسرعة 0.30 متر /ثانية.
  - إذا تم استبدال الماء بسائل اخر لزوجته 100 سم بواز ، وظل جهد القص ثابت اوجد السرعة الجديدة للوح العلوي.

## المراجع

1- الخواص الهندسية للمنتجات الحيوية د/ محمد الحمدان ، (1999) كلية علوم الاغذية والزراعة. جامعة آل سعود.

2- هندسة حفظ المنتجات الزراعية . محمد فريد السهريجي, 2002. كلية الزراعة . جامعة الاسكندرية

- ❖ Mohesnin, N.N. (1986) Physical properties of plant and animal materials, Gordon and Reach Publishers Inc., Canada
- ❖ Okos, M.K. (1986) Physical and chemical properties of food, ASAE Publication, USA
- ❖ Strochine, R.L. and Hamann, D. (2004) Physical properties of agricultural materials and food products, Purdue University, USA.
- ❖ Kader, R., Kasmire, F., Reid, M., and Thompson. 1991. Post harvest technology of horticultural crops. Cooperation Extension, University of California, USA.
- ❖ Lewis, M. J. (2006). Physical properties of foods and food processing systems. Woodhead Publishing Limited.
- ❖ Rao, M. A., Rizvi, S. S. H., & Datta, A. K. (2005). Engineering properties of foods (3rd ed.). Marcel Dekker.