تصميم جهاز قياس الانبعاج تحت تأثير احمال دورية مركبة

م. كفاح حميد هاشم الجبوري* أ.د. حسين جاسم محمد العلكاوي**
و أ.د. انعام الصادق**

تاريخ التسلم: ٢٠٠٤/٤/١٨
تاريخ القبول: ٢٠٠٥/٣/١٤

الخلاصة

يهدف البحث إلى تصميم جهاز يعمل على قياس الانبعاج الجانبي "Buckling" تحت الاحمال الدورية المركبة لتقييم حالة الفشل التي تحدث في الأعمدة على اختلاف أنواعها ولأحمال من نوع الالتواء، الانضغاط، الانحناء، وبالتالي تخمين العمر الأمين للجزء المحمل.

في هذا البحث تم تصميم وتنفيذ جهاز يمكن من خلاله اجراء اختبارات عملية على أعمدة صلدة ومجوفة من معادن مختلفة. الأعمدة ذات نسب نحافة مختلفة.

يمكن من خلال هذا الجهاز تطبيق نظرية لاندا Landa التعليمية التي تعتمد اساس التعلم خطوة – خطوة على طريقة كرة الثلج أي تراكم المعارف والمهارات بالتتابع.

الجهاز يتألف من المنظومات التالية:

-منظومة الالتواء (Torsion system)
-منظومة الحمل الانضغاطي (Compressive system)
-منظومة حمل الانحناء (Bending system)

Design of Buckling Test Rig for Combined Cyclic Loading

Abstract

This study aims to design and measure the buckling under cyclic combined loads to estimate the failure condition for different types of columns. The applied loads are torsion, compression and bending. The test rig is designed to predict the safe life for the loaded part.

These parts (columns) may be solid or hollow and made from different materials, with different slenderness ratio.

By using this rig we can applied the procedure of Landa theory in learning which based on learning step-step and sequencing principle as happen in snowball method.

The designed test rig consists of the following systems:

-Torsion load system.
-Compression load system.
-Bending load system.

* معهد النفط
**التعليم التكنولوجي/ الجامعة التكنولوجية

https://doi.org/10.30684/etj.24.4.11
University of Technology-Iraq, Baghdad, Iraq/2412-0758
This is an open access article under the CC BY 4.0 license http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

تسمية الرموز

الرمز	العنوان	الوحدة
A	قطر عمود مكبس المضخة	mm^2
Ao	مساحة مقطع العمود	mm^2
Di	القطر الداخلي للعمود	mm
Do	القطر الخارجي للعمود	mm
F	الحمل المسلط	N
I	عزم القصور الذاتي	$(mm)^4$
J	عزم القصور الذاتي القطبي	$(mm)^4$
M	عزم الانحناء	N.mm
N	عدد الدورات	Cycle
P	القدرة	kw
Pr	الضغط	Mpa
R	نصف قطر العمود	mm
T	عزم الالتواء	N.m
σ	الاجهاد	Mpa
ω	السرعة الزاوية	r.p.m
τ	اجهاد الالتواء او القص	Mpa.

المقدمة

تتعرض الاجزاء والهياكل الى قوة انضغاط تسبب حدوث انبعاج جانبي للجزء (الهيكل) يمكن حسابه عملياً او حساب قيمته نظرياً. قد يكون الانبعاج الذي يقود الى الفشل ناتج عن تسليط قوة اضافية لقوة الانضغاط اي نتيجة تسليط قوى مركبة على الاجزاء (الهياكل).

عملياً انشأت عدة اجهزة لاختبار الاجزاء التي تتعرض لمثل هذا النوع من التحميل ففي مختبر JW Roderick للمواد والهياكل في جامعة سدني [١] تم بناء جهاز لاختبار الاعمدة الطويلة، يمكن استخدامه لاختبار اعمدة مفردة ومزدوجة التركيب. في هذا الجهاز يمكن اختبار الاجزاء المعرضة لقوة انضغاط محورية، وقد استخدمت اعمدة ذات مقطع I-section ملحومة [٢] واعمدة ذات مقطع مربع مجوف [٣] وكذلك اعمدة ذات مقطع بشكل قناة ملحومة welded channel [٤]. في بداية التسعينات تم تطوير جهاز قياس الانبعاج اعلاه في جامعة سدني لامكانية اختبار (عمود-عتبة) المذكورة اعلاه تحت تأثير قوى مركبة (انضغاط وانحناء)[١]. وكان الهدف من البحث هو اجراء اختبارات عملية ومقارنتها مع النتائج النظرية والخروج بخطوط عريضة لبحوث مستقبلية. من الاجهزة التي تحسب مقاومة الانبعاج هو الجهاز الذي تم انشائه في عام ١٩٤٩ المسمى عتبة ضغط كولسكي Colicky pressure bar وقد طور هذا الجهاز الشائع الاستخدام لقياس سلوك الانضغاط الديناميكي للمواد الهندسية [٥] وحساب الاجهاد باسلوب اكثر تحسساً من النموذج القديم التقليدي. ومن محاولات تحديث وتطوير اخر لهذا الجهاز هو ما قام به (split Hopkinson) [٦] لكي تكون له دقة عالية في القياس ويمكن تسليط الانضغاط باتجاه احادي المحور وبمعدل انفعال ثابت، اذ تم ربط مقياس انفعال اوسيلسكوب لرسم سعة الاجهاد المتولد [٦]. اما في حالة تعرض الاجزاء (الهياكل) لاحمال ديناميكية مركبة كما يحدث في حالة الزلازل والهزات الارضية فانه لا توجد اجهزة تقيس اجهادات

الفشل. لحساب الاحمال والاجهادات التي تقود الى الفشل اعتمد على الصور الفوتوغرافية بعد الفشل ووضع التحليل المتوقع ومقارنته مع التحليل النظري. [٧].

يهدف البحث الحالي الى تصميم وبناء جهاز له القابلية على تسليط احمال ديناميكية مركبة ودراسة ظاهرة الانبعاج الجانبي المرن واللدن تحت تأثير هذه الاحمال، واعطاء تخمينات امينة للاعمدة من خلال معرفة المواصفات الميكانيكية ونسب النحافة للاعمدة ذات الانواع الثلاثة القصيرة المتوسطة والطويلة [٨].

الهدف من البحث:

يهدف البحث الى تصميم جهاز فحص الانبعاج الجانبي، على وفق نظرية لاندا، تحت الاحمال الدورية المركبة والذي يمكن بواسطته حساب اجهادات الالتواء، الانضغاط والانحناء اضافة الى عدد دورات الفشل(failure cycles) اذ يمكن ايقاف الجهاز عند حدود انبعاج مقداره (1%) من طول العينة حيث تم تعريف الفشل على انه انبعاج لدن.

النظرية:

تتلخص فكرة بناء الجهاز بناء ثلاث منظومات تعمل بشكل مستقل هي منظومة الالتواء، الانضغاط والانحناء. تأتي أهمية استقلالية عمل كل منظومة للتحكم بنوع الاجهاد المطلوب تسليطه.

في منظومات الجهاز الثلاثة المتقدمة يمكن بناء المهارات المعرفية للمستخدم تدريجياً، أي التعلم خطوة بعد خطوة، حيث يتم استيعاب الخطوة الاولى ومن ثم اضافة الخطوة الثانية وهذا ما تعتمده نظرية لاندا التعلمية.

تركز نظرية لاندا على تفكيك التعقيد في العمليات المعرفية وينتج عن عملية التفكيك هذه عمليات معرفية اولية متتابعة يتم اختيارها كمحتوى تعليمياً. أما من حيث تعلق الامر بالتتابع Sequencing فان اهم خصائص هذه النظرية تكمن بما يطلق عليه طريقة كرة الثلج (Snowball method) والتي عند تدحرجها تكبر شيئاً فشيئاً، أي الطريقة التراكمية في تعلم سلسلة من العمليات المعرفية وبالتالي تنتج العملية المعرفية كاملة [٩]. ان الاجراءات ادناه توضح خطوات تعليم كيفية تسليط احمال مركبة على عينة البحث وحساب الاجهادات المكافئة المسلطة على العينة من خلال تطبيق نظرية لاندا Landa) (theory التعليمية (التراكم – التتابع).

الخطوة الاولى/

- تسليط حمولة الانضغاط والالتواء المركبة.
-حساب الاجهاد المكافيء لتحميل (الانضغاط-الالتواء) (عملية معرفية مفردة).

الخطوة الثانية /

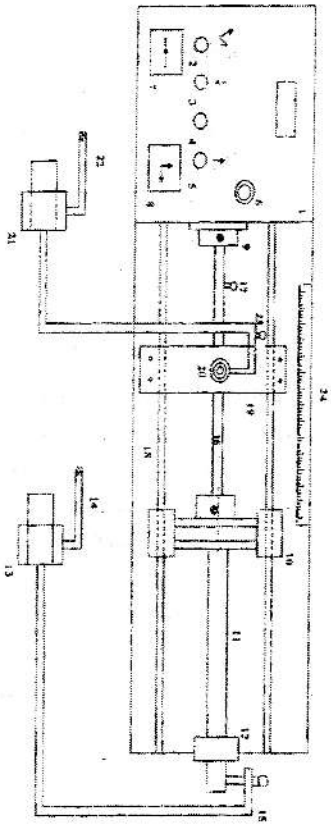
-تسليط حمولة انحناء والتواء ركبة-حساب الاجهاد المكافيء

لتحميل الانحناء والالتواء (عملية معرفية مفردة)

الخطوة الثالثة /

-تسليط احمال مركبة من (الانضغاط - الانحناء - اللالتواء).

-حساب الاجهاد المكافيء للتحميل المركب من (الانضغاط -الانحناء- الالتواء) (تراكم وتتابع العمليات).



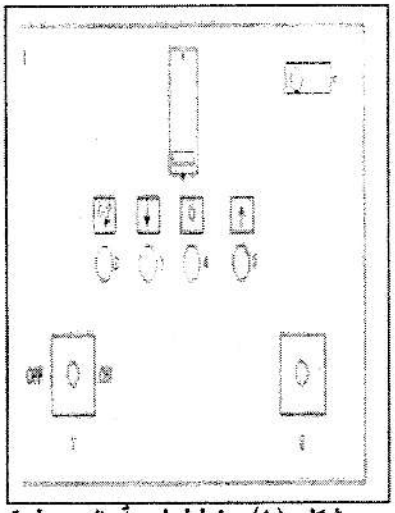
شكل (١) الاجزاء المكونة لجهاز الاختبار

الاجزاء المكونة لجهاز الاختبار:

١. لوحة السيطرة لمنظومة الالتواء
٢. مؤشر طاقة المحرك الكهربائي
٣. مؤشر دوران المحرك باتجاه عقرب الساعة
٤. نقطة تشغيل المحرك يدويا
٥. مؤشر دوران المحرك باتجاه معاكس لعقرب الساعة
٦. نقطة تشغيل المحرك الرئيسية
٧. نقطة ايصال وقطع الطاقة
٨. مؤشر سرع المحرك الكهربائي
٩. فكوك مسك العينة
١٠. آلية دفع العينة
١١. عصا مجوفة
١٢. فلنجة عدد (٢)
١٣. مضخة هيدروليكية
١٣. عتلة المضخة الهيدروليكية
١٤. مقياس ضغط
١٥. العينة
١٦. مقياس التشوه الجانبي
١٧. توصيلة مسك عدة تسليط ضغط الانحناء
١٨. آلية تسليط ضغط الانحناء
١٩. عدة تسليط ضغط الانحناء
٢٠. مضخة هيدروليكية
٢١. عتلة المضخة الهيدروليكية
٢٢. مقياس ضغط
٢٣. مسطرة قياس طول العينة

منظومة الالتواء:

تتكون منظومة الالتواء من محرك كهربائي قدرته (0.5kw) داخل هيكل يحتوي على احد الفكوك التي تمسك العينة، إذ يدور المحرك الكهربائي باتجاهين مع عقرب الساعة وباتجاه معاكس لعقرب الساعة وبسرعتين البطيئة (١٧) دورة في الدقيقة والسرعة العالية (٣٤) دورة في الدقيقة ثم يقرأ عدد الدورات التي تسبب الفشل عن طريق عداد الدورات الموجود على لوحة السيطرة المثبتة على هيكل منظومة الالتواء وعلى ذلك يقرأ العداد (٩٩٩٩٩,٩) دورة ثم يعود الى التعداد من جديد (٠٠٠٠٠,١) دورة. ان لوحة السيطرة تحتوي ايضاً على مفتاح ايصال وقطع الطاقة ضلاً عن مفتاحين للتشغيل اليدوي للجهاز يمثل احدهما اتجاه الحركة مع عقرب الساعة والاخر بالاتجاه المعاكس كذلك مفتاح يعمل باتجاهين لاختبار سرعة المحرك الواطئة والعالية. اما مفتاح التشغيل الآلي فيكون مثبت على هيكل الجهاز، شكل (٢).



شكل (١) مخطط لوحة السيطرة في منظومة الالتواء

١. لوحة السيطرة لمنظومة الالتواء.
٢. مؤشر طاقة المحرك الكهربائي.
١. مؤشردوران المحرك بأتجاه عقرب الساعة.
٢. نقطة تشغيل المحرك يدويا.
٣. مؤشر دوران المحرك باتجاه عكس عقرب الساعة.
٦. نقطة تشغيل المحرك الرئيسية.
٧. نقطة ايصال وقطع الطاقة.
٨. مؤشر سرع المحرك الكهربائي.

ويمكن حساب عزم الالتواء من المعادلة العامة.

$$P=T*\omega \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

حيث ان

P:قدرة المحرك (kw)
T:عزم الالتواء (N.m)
ω:السرعة الزاوية، وتساوي

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad \text{.....(2)}$$

بتعويض معادلة (٢) في (١) نحصل على المعادلة النهائية

$$T(N.m) = \frac{9549(P_{kw})}{N(rpm)} \quad \text{... (3)}$$

حيث من عزم الالتواء يمكن حساب اجهاد الالتواء أو اجهاد القص من المعادلة التالية:

$$\tau = \frac{T.R}{J} \quad \text{.....(4)}$$

حيث ان
R:نصف قطر العمود (mm)
J: عزم القصور الذاتي القطبي (mm)٤ وقيمته $\frac{\pi}{32}D^4$ للعمود الصلد $\frac{\pi}{32}[D_o^4 - D_i^4]$ وللعمود المجوف والمعادلة (٤) يمكن كتابتها بالصيغة النهائية كالاتي:

$$\tau = \frac{16\,T}{\pi D^3} \quad \text{.....(5)}$$

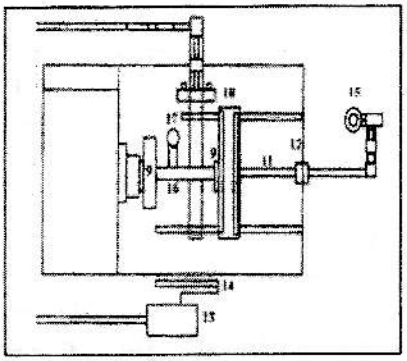
للعمود الصلد

$$\tau = \frac{T * D_o / 2}{\frac{\pi}{32}\left[D_o^4 - D_i^4\right]} \quad \text{...(6)}$$

وللعمود المجوف

منظومة الانضغاط:

تتكون هذه المنظومة من مضخة هيدروليكية تعمل يدويا بواسطة عتلة، تعطي هذه المضخة أعلى ضغط مقداره (315bar) يقرأ على مقياس مدرج يربط على الأنبوب الدافع للمضخة يصل الضغط الى الفك الثاني الذي يمسك طرف العينة من خلال محور مجوف يربط بين المضخة والعينة. يمكن من خلال هذه المنظومة تسليط قوة انضغاط محورية مركزية ولامركزية وذلك بتحوير بسيط على طرف عصا الضغط شكل (٢).



شكل (٢) مخطط يوضح منظومة الانضغاط

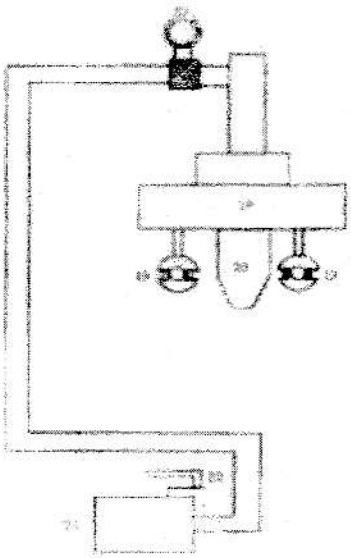
(٩) فكوك مسك العينة .
(١٠) الية دفع العينة.
(١١) محور مسنن.
(١٢) فلنجة.
(١٣) مضخة هيدروليكية.
(١٤) عتلة المضخة الهيدروليكية.
(١٥) مقياس ضغط.
(١٦) العينة .
(١٧) مقياس التشوه الجانبي.

تمت معايرة الجهاز بوضع أثقال معروفة الوزن، وعُدلت حركة المؤشر الى أن أصبحت القراءة تعطي نسبة خطأ (١%).

$$P_C = \frac{F}{A}$$

منظومة الانحناء :

تتكون هذه المنظومة من مضخة هيدروليكية (160bar) اي تعمل يدوياً وتسلط ضغطاً على العينة يقرأ من خلال مقياس الضغط المثبت على الخط الخارج من المضخة. ان آلية تسليط الضغط تستند على الهيكل، إذ يمكن تغيير موقعها على امتداد العينة في الوسط أو اقرب لأحد طرفي العينة من خلال بطانات (liner) تسيطر على آلية تسليط الضغط، حيث تم تصنيعها بشكل يلائم الأداء المطلوب في تغيير نقطة تسليط الضغط شكل(٣).



شكل (٣) مخطط توزيع منظومة الانحناء

(١٩) توصيلة مسك وتحديد مكان عدة تسليط الضغط.
(٢٠) عدة تسليط الضغط.
(٢١) مضخة هيدروليكية.
(٢٢) عتلة المضخة الهيدروليكية.
(٢٣) مقياس الضغط.

ولقياس مقدار التشوه الناتج عن انبعاج العينة (العمود) في حالة الانضغاط والانحناء يستخدم مقياس تشوه (Dial Guage) ذو قاعدة مغناطيسية لامكانية تثبيته في مناطق مختلفة حسب نقطة تشوه العينة حيث تبلغ دقة القياس فيه (0.01mm).
توجد مسطرة قياس مثبتة على هيكل الجهاز مدرجة بطول (50cm) الذي يمثل أقصى طول لعينة الاختبار. تثبت عينه الاختبار افقيا وتكون ذات مقطع دائري صلد او مجوف ويمكن أن تكون باقطار تتراوح من (3mm) الى (16mm). ومن خلال هذا الجهاز يمكن اختبار عينات ذو نسب نحافة مختلفة طويلة، متوسطة وقصيرة وذلك وفق التحكم في طول وقطر العينة ضمن المدى المحدد في الجهاز.

$$\sigma = \frac{M.y}{I}$$

امكانية الجهاز لاجراء التجارب العملية:

بواسطة هذا الجهاز يمكن اجراء عدد من الاختبارات تحت تأثير اجهادات مركبة يمكن تلخيصها بالاتي:
-التحميل المركب من الالتواء والانضغاط المركزي.
-التحميل المركب من الالتواء والانضغاط اللامركزي.

-التحميل من الالتواء والانحناء.
-التحميل المركب من الالتواء، الانحناء والانضغاط المركزي.
-التحميل المركب من الالتواء، الانحناء والانضغاط اللامركزي.

نموذج القراءات المباشرة للجهاز:

جدول (١) القراءات المباشرة من الجهاز لعينة من الفولاذ قطرها(8mm) معرضة للانظغاط.

رقم العينة	الطول (mm)	الضغط (bar)	دورات الفشل cycles	التشوه الجانبي اللدن للانسحاج (mm)
1	200	165	9	1.3
2	240	130	1.7	1.4
3	260	100	2.7	1.5
4	300	90	2	1.3
5	340	40	1.8	4.7
6	360	35	1.4	5.7

جدول (٢) القراءات المباشرة من الجهاز لعينة من الفولاذ قطرها(8mm) معرضة للانحناء.

رقم العينة	الطول (mm)	قوة الانضغاط (bar)	ضغط قوة الانحناء (bar)	دورات الفشل (cycles)	التشوه الجانبي اللدن للانسحاج (mm)
1	200	40	12	1.7	2.5
2	240	35	11	1.6	3.5
3	260	30	9	1.4	3.8
4	300	30	5	1.1	4
5	340	50	7	1.8	4.8
6	360	40	6	1.1	5.9

رقم العينة	الطول (mm)	الضغط (bar)	دورات الفشل (cycles)	التشوه الجانبي اللدن للانسحاج (mm)
1	200	19	4	2.5
2	240	16	٣	3
3	260	14	٤	4.5
4	300	10	٤	3.5
5	340	11	٣	7
6	360	8	٣	8

جدول (٣) يوضح القراءات المباشرة من الجهاز لعينة من الفولاذ قطرها(8mm) معرضة للانظغاط والانحناء معا.

المناقشة:

تم تصميم هذا الجهاز ليس لغرض الاجهادات الاحادية فقط وانما شمل الاجهادات المركبة، حيث يتم تطبيق دائرة مور (moher circle) على الاحمال المركبة لغرض استخراج الاجهاد المكافيء. كما تم تطوير الجهاز لغرض دراسة ظاهرة الانبعاج تحت احمال ديناميكية، بحيث أصبح يأخذ احمال من نوع الحمل الضغطي (compression) والحمل الانحنائي (Bending)، كما يمكن لهذا الجهاز العمل بتسليط اجهادات دورية وبسرعتين تحت احمال مركبة من نوع الالتواء، الانضغاط والانحناء سوية. في حين ان الكثير من الاجهزة كانت مختصرة على احمال ستاتيكية (ساكنة) وتسليط حمل ضغط فقط، اذ يمكن تطبيق معادلة أويلر Euler's Formula مباشرة وهذا يعني أن معظم الاجهزة التي تم تصميمها تعمل ضمن مجال منطقة المرونة.

أما الجهاز الحالي موضوع البحث يعمل تحت احمال ديناميكية واجهادات مركبة من الأنواع الثلاثة آنفة الذكر وضمن المجال المرن-اللامرن Elastic-Inelastic.

ولو قورن الجهاز مع الأجهزة الأخرى المصممة لدراسة ظاهرة الانبعاج مثل الجهاز الذي تم بناءه في مختبر JW Roderic للمواد والهياكل في جامعة سدني، بالامكان اعتباره أكثر شمولية وذلك لامكانية فحص عينات بواسطته لأعمدة ذات أطوال ونسب نحافة مختلفة تتضمن الطويلة، المتوسطة والقصيرة مقارنة بالجهاز الآخر الذي يمكن بواسطته فحص عينات لأعمدة طويلة فقط، كما أن جميع عمليات الفحص في الجهاز موضوع البحث هي ديناميكية أما الجهاز المبنى في مختبر Roderic JW فيكون الفحص فيه ستاتيكي وحتى بعد تطويره في بداية التسعينات لإمكانية اجراء تجارب في حالة تسليط احمال مركبة (انضغاط وانحناء) اقتصر تسليط الأحمال بشكل تحميل ستاتيكي فقط.

ان الجهاز موضوع البحث يتميز عن جهاز الانبعاج لكولسكي الذي تم بناءه عام ١٩٤٩ يكون الاجهادات المسلطة ديناميكية ومركبة في نفس الوقت في حين ان جهاز كولسكي يقتصر على تسليط حمولة انضغاط ستاتيكية وحتى بعد اجراء تطوير له اقتصر فقط على تسليط حمولة انضغاط ديناميكية على أعمدة الاختبار. قت نظرية لاندا التعلمية في ايصال المهارات المعرفية للمتعلم، وذلك لاهميتها في تفكيك التعقيد في العمليات المعرفية والتي ينتج عنها عمليات معرفية اولية متتابعة فضلاً عن خصائص هذه النظرية في التتابع Sequence والذي تكمن فيما يطلق عليه بطريقة كرة الثلج Snowball التي عند تدحرجها تكبر شيئاً فشيئاً، أي بطريقة تراكمية في تعليم المتعلم سلسلة من العمليات المعرفية كاملة وبذلك تحقق الهدف المطلوب (٩). اذ يتم دراسة تأثير تحميل الانضغاط الديناميكي لعملية معرفية مستقلة ثانية واخيراً يدرس

تأثير مجموع التحميل الديناميكي المركب للانضغاط والانحناء معا وهكذا مبدأتراكم المعلومات الذي تستند عليه نظرية لاندا التعليمية.

الاستنتاجات:

١-تم تصميم وبناء جهاز قياس الانبعاج الجانبي الذي يشمل ثلاثة منظومات هي الالتواء والانحناء والانضغاط.

٢-أجريت التجارب المختبرية عليه وكانت النتائج جيدة ومقبولة في حالة المرونة واللدونة.

٣-يمكن استخدام الجهاز لقياس عدد دورات الفشل وبالتالي تقييم عمر العمود الصلد أو المجوف تحت تأثير الحمل المركب.

٤-سرعة تذكر المعلومات وبشكل متسلسل نظرا للستراتيجية المتبعة في تفكيك وتتابع العمليات المعرفية عند تطبيق الاختبارات العملية باستخدام الجهاز موضوع البحث (عند تطبيقها على عينة البحث/طلبة الدراسات العليا/ ماجستير/ميكانيك في قسم التعليم التكنولوجي).

المصادر

1-Hancock G. J., Rasmussen K.J.R. "Recent Research on Thin-Walled Beam-Columns" Jour. of Thin-Walled Structures, Vol. 32, No. 1-3, 1998.

2-Davids A.J. "The Behaviour of Thin –Walled -Section Columns, PhD Thesis, University of Sydney ,1987.

3-Key P.W. " The Behavior of Cold-formed Square Hollow Columns, PhD Thesis University of Sydney, 1988.

4-Rasmuseen K.I.R. "The Behavior of Thin-Walled Channel Section columns, PhD Thesis, University of Sydney.

5-Chen, W., and other."Aquartz– Crystal –Embedded Split Hopkinson Pressure Bar for Soft Materials, Exper-imental Mechanics" 2000 .

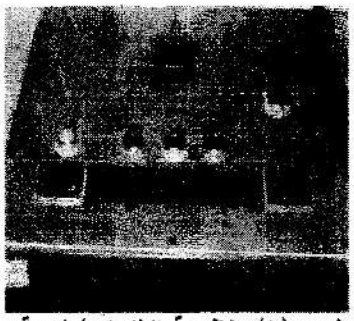
6-Vural M. Ravichandran G. "Dyna-mic Response and Energy Dissipation Characteristics of Balsa Wood; Experiment and Analysis" www, its. Catech- Edu/mvural/ Submitted to futernational Journal of solid and structures.

7- El-Bkaily, Ralf peek "Plastic Buck-ling of Unanchored Roofed Tanks under Dynamic loads" Jor. Of Engin-eering mechanics Jun. Vol. 124 No. 6, 1998.

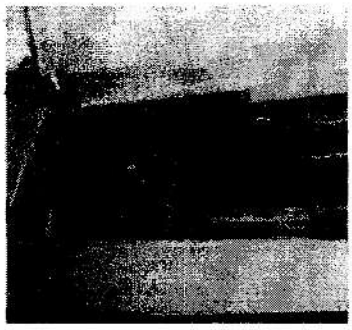
8-Al-Jubory K. H., Al-AlKawi H.J. "Experimental and Theoretical Study for

cyclic plastic Buckling" Jour. Of technical institutes faculty, 2003.

٩-كاظم، عصام حسن "تطوير انظمة تعليمية هندسية باستخدام بعض تطبيقات الذكاء الاصطناعي"، اطروحة دكتوراه، الجامعة التكنولوجية، قسم التعليم التكنولوجي - ١٩٩٦.

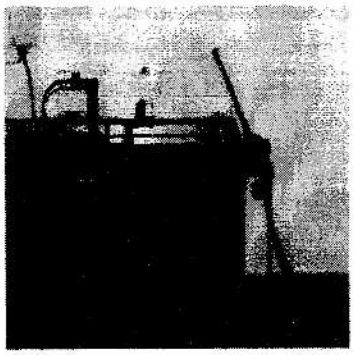


ملحق (١) منظومة الالتواء / لوحة السيطرة



ملحق (٢) منظومة الانحناء

ملحق (٣) يمثل بعض الأجزاء المصنعة في جهاز الأنبعاج



ملحق (٤) جهاز الانبعاج