مجلة ساحل المعرفة للعلوم الإنسانية والتطبيقية

Sahel Almarifah Journal of Humanities and Applied Sciences

تصدر عن الاكاديمية الليبية فرع الساحل الغربي

المجلد الثاني–عدد خاص-S1

الصفحات (E902 – E886)

# Evaluating the use of recycled aggregates in concrete to achieve sustainability in the construction sector

Bushra.D.Alakkari[1,*], Ranin.A.Aldarf[2], Maryam K Alibraheem[3]

[1*] Structural engineering, Faculty of civil engineering at Al-Wataniya Private University(WPU), Hama, Syria.*

[2]Structural engineering, Faculty of civil engineering at Al-Wataniya Private University(WPU), Hama, Syria.

[3] Structural engineering, Faculty of civil engineering at Homs University, Homs, Syria.

[*]Bushra-alakkari@wpu.edu.sy

# تقييم استخدام الركام المعاد تدويره في الخرسانة لتحقيق الاستدامة في قطاع التشييد

بشرى درويش العكاري[1*]، رنين أحمد الضرف[2]، مريم قيس الابراهيم[3]

[1] الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، الجامعة الوطنية الخاصة، حماه، سوريا.

[2] الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، الجامعة الوطنية الخاصة، حماه، سوريا.

[3] الهندسة الإنشائية، كلية الهندسة المدنية، جامعة حمص، حمص، سوريا.

**Abstract**

There is a growing global trend towards achieving sustainability in construction by finding practical solutions for recycling construction and demolition waste. This transforms the waste from an environmental problem into a valuable resource, providing an effective way of securing sustainable building materials. Research in this field has increased significantly.

This study aims to evaluate the feasibility of using recycled aggregate in structural elements. A stress-strain diagram was developed for concrete made with recycled aggregate at replacement rates of 50%, 75% and 100%. The study then involved an experimental programme involving reinforced concrete columns measuring 20 x 20 x 100 cm with longitudinal reinforcement of 4T12 mm and 11 transverse bracing bars, each with a diameter of 8 cm, reinforced at the top and bottom. These columns were constructed using concrete with 50%, 75% and 100% recycled aggregate. A plasticiser was added to improve workability. Experiments were conducted at two values of bidirectional eccentricity: E1 (180 x 100 mm) and E2 (230 x 100 mm). Finally, a programme was developed in Visual Basic for Applications (VBA) – Excel to analyse the cross-section of a rectangular column subjected to bidirectional eccentricity, and to compare the experimental results with those obtained from recycled aggregate.

The results revealed a high degree of similarity in the stress-strain diagrams for natural and recycled aggregates, with a lower peak and increased deformation in the downward branch. Concrete strength decreased by 7.5%, 15% and 18.8% when recycled aggregate was used at 50%, 75% and 100% respectively. The research concluded that recycled aggregate can be used in specific proportions, provided that good particle grading is achieved and a suitable plasticiser is added. The failure mechanism was similar in

columns subjected to eccentric compression and constructed with natural aggregate compared to those constructed with recycled aggregate. The experimental and analytical results
were similar.
**Keywords:** Recycled aggregate, natural aggregate, biaxial eccentricity, cross-sectional analysis, replacement ratios.

**الملخص**

هناك توجه عالمي متزايد نحو تحقيق الاستدامة في البناء من خلال إيجاد حلول عملية لإعادة تدوير مخلفات البناء والهدم وتحويلها من مشكلة بيئية إلى دور قيم وحل فعال لتأمين مواد بناء مستدامة، وتعددت الأبحاث المتعلقة في هذا المجال.

يهدف البحث إلى تقييم إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الإنشائية حيث تم إيجاد مخطط (إجهاد-تشوه) لبيتون منفذ بركام معاد تدويره بنسب استبدال مختلفة للركام المعاد تدويره (50%و75%و100%)، ثم تضمنت الدراسة برنامجاً تجريبياً على أعمدة بيتونية مسلحة بأبعاد 100cm*20*20 ومسلحة بتسليح طولي 4T12، وأساور عرضية عددها11 وقطرها 8cm مكثفة من الأعلى والأسفل ومنفذة ببيتون بركام معاد تدويره بنسبة 50%و75%و100%، وتم إضافة ملدن لزيادة قابلية التشغيل وتم إجراء التجارب على قيمتين للامركزية ثنائية ,E2(230*100)mm E1(180,100)mm، ثم تم تصميم برنامج في بيئة
Visual Basic for Applications (VBA)-Excel لتحليل مقطع عمود مستطيل معرض إلى لامركزية بالاتجاهين ومقارنة النتائج التجريبية مع النتائج التجريبية.

أظهرت النتائج تشابه مخطط (إجهاد- تشوه) بين الركام الطبيعي والمعاد تدويره مع انخفاض الذروة وزيادة التشوه في الفرع الهابط حيث انخفضت مقاومة البيتون بنسبة %(7.5,15,18.8) عند الاستبدال للركام المعاد تدويره بنسبة %(50,75,100) على الترتيب.

وتوصل البحث إلى إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره بنسب محددة وعند إجراء تدرج حبي جيد وإضافة ملدن مناسب، وكانت هناك تشابه في آلية الانهيار في الأعمدة المعرضة لضغط لامركزي ومنفذة بركام طبيعي مع المنفذة بركام معاد تدويره. وتوافق بين النتائج التجريبية والتحليلية باستخدام الخوارزمية المقترحة لتحليل المقطع.

وتؤكد الدراسة أن إعادة تدوير مخلفات البناء تشكل عنصراً أساسياً في تطبيق مبادئ التنمية المستدامة وتحقيق كفاءة الطاقة في قطاع البناء المستدام.

**الكلمات الدالة:** الركام المعاد تدويره، الركام الطبيعي، اللامركزية ثنائية المحاور، تحليل المقطع، نسب الاستبدال.

## 1- مقدمة:

ازداد الطلب بصورة كبيرة على استخدام الخرسانة المسلحة Reinforced Concrete مع النمو الاقتصادي للدول والرغبة في بناء المدن الحديثة المسلحة ، وأصبحت الخرسانة هي مادة البناء الرئيسية لأكثر المباني، وبالنتيجة ازدادت حركة التنقيب عن الصخور في المقالع للحصول على الركام أحد أهم مكونات الخرسانة، وبحسب إحصائيات أجريت فإن الاحتياج العالمي للركام الطبيعي Natural Aggregate تجاوز 26بليون طن في عام 2011 الأمر الذي يشكل تحدياً وتهديداً للبيئة والموارد الطبيعية، هنا برزت أهمية إعادة تدوير مخلفات البناء من أجل البيئة وإعادة الإعمار.

تعددت الأبحاث المهتمة في هذا المجال وتنوعت الإضافات التي أضيفت للخلطة البيتونية من ملدنات وألياف وبولميرات وغيرها والهدف هو الحصول على مقاومة مميزة للبيتون المنفذ بركام معاد تدويره تضاهي مقاومتة بركام طبيعي. فقد قدم الباحث [1] منهجاً علمياً للاستخدام الأمثل لمخلفات البناء وإنتاج مواد بناء منخفضة الكربون من خلال تحسين جودة الخرسانة المنفذة بركام معاد تدويره بعد نقعه في ملاط خبث الكربيد وعالجه بالكربنة، وأظهرت النتائج التجريبية تحسناً ملحوظاً في امتصاص الماء والكثافة، ومقاومة الضغط والانحناء والشد. وكشف التحليل المجهري أن ثاني أكسيد الكربون يتفاعل مع هيدروكسيد الكالسيوم وسيليكات الكالسيوم المائية ونواتج التفاعل تعمل على ملء الشقوق الدقيقة والمسام الموجودة في الركام وتكثيف منطقة الانتقال البينية بين الركام والمونة مما يحسن خواص الخرسانة. أما البحث [2] فقد درس تأثير إضافة البلاستيك (الناتج عن رصف الطرق والبولي ايتلين) في الخرسانة المنفذة بحصويات معاد تدويرها، حيث توصل إلى إمكانية استخدامها عند نسب استبدال منخفضة 5% حيث لا يتجاوز فقدان الخصائص 8% ، وتقترح الدراسة استخدام هذه الخرسانة في البنية

التحتية للتنقل النشط بنسب استبدال تصل إلى 20%. والبحث [3] ركز على إعادة التدوير المتكرر، حيث توصل إلى أن إعادة التدوير لعدد لانهائي من المرات غير ممكن بسبب تدهور الجودة، حيث يتحول 80% من الركام إلى عجيبنة اسمنتية بعد الدورة الثالثة. وأكد البحث [4] على إمكانية استخدام الخرسانة بنسبة 100% من الركام المعاد تدويره في التطبيقات الإنشائية مع كمية أكبر من الاسمنت.

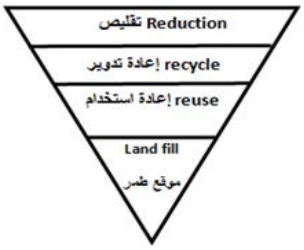
وفي كلية الهندسة المدنية بجامعة حمص تم إجراء أبحاث مختلفة عن إمكانية استخدام الركام المعاد تدويره في العناصر الإنشائية كالأعمدة البيتونية المسلحة [5] على الضغط اللامركزي، والجوائز على الفتل [6]، والبلاطات على الانعطاف [7] ، وهنا تكمن أهمية هذا البحث الذي أجري في كلية الهندسة المدنية واستخدم ركام أبنية من الأنقاض المتراكمة وتم تكسيرها وفرزها على المناخل تم استخدامها في الخلطات البيتونية المستخدمة.

## 2- الركام المعاد تدويره وإدارته:

### *2-1. إدارة الركام:*

تتم إدارة نفايات الهدم والبناء بعدة طرق يوضحها الشكل(1) وهي[8]:

- الطمر Land fill من خلال فن النفايات وتعتبر طريقة بدائية
- إعادة استخدام المنتج Reuse (سواء لنفس الغرض أو لأغراض أخرى دون الحاجة إلى عملية إعادة تصنيع الأمر الذي يوفر صرف طاقة إضافية
- إعادة التدويرRecycle موضوع البحث
- التقليص Reduction الذي يعتمد على تقليل كمية حطام الإنشاءات والهدم التي تتولد من المصدر وذلك بواسطة الاهتمام بتقدير كمية المواد الخام التي نحتاجها.




**الشكل (1)** عملية إدارة النفايات

### *2-2 الخطوات المتبعة في وحدات إعادة التدوير:*

1- الهدم Primary Reduceتجرى عملية تقليص أولية (بأخذ أجزاء من الركام يتراوح أبعادها بين 700-400 مم

2-تفصل النفايات وتصنف إلى نفايات خرسانية، نفايات من الطوب brick rubble ، وحطام debris، وشوائبImpurities

3- يتم اعتماد الطرق الميكانيكية أو اليدوية Manual or mechanical pre-separation لإزالة المواد الغير مرغوب فيها كالخشب، الحديد، الورق، البلاستيك... الخ.

4- عملية فرز أولية Primary screening يتم فيها التخلص من الجزيئات الناعمة ذات حجم أصغر من 10مم

5-عملية تكسير Primary crushing للأجزاء حجمها أكبر من 40 ملم

6- المغانط تستخدم Magnetic separationبعملية الفصل المغناطيسي لجذب كل الشوائب

7- تجرى عملية فرز ثانوية Secondary screening

8-عملية تكسير ثانوية Secondary crushing

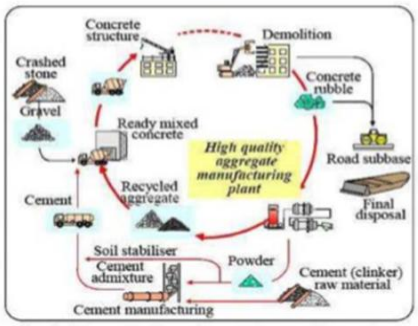
9-جمع الركام ليتم غسلهWashing screening أو تعريضه لتيارAir- sifting للتخلص من الشوائب

10- عملية الفرز النهائية Finish screening بأحجام مختلفة تتدرج من 10-40 ملم لتلبية حاجة السوق .[9] والشكل (2) يبين محطات تكسير متنقلة

**الشكل (2)** محطات تكسير متنقلة تستخدم في الموقع

***3-2 تطور عملية فرز ركام الأبنية:[10]***

استخدمت بعض الدول كاليابان محطات لإعادة التدوير، ويظهر الشكل (3) أقسام محطة إعادة التدوير




**الشكل (3)** نظام إعادة التدوير المتبع في اليابان مع أقسام وحدة إعادة تدوير نفايات الهدم

قامت بعض الدول بتصنيع روبوتات تعمل على إعادة تدوير الخرسانة في الموقع بحيث يتم التخلص من الشوائب والحديد والعناصر الغير مرغوب فيها بأسرع الطرق كما يظهر الشكل (4). وهذا أدى إلى دقة ونقاء عاليان في عملية الفرز وسرعة إنتاجية حيث تعمل الأنظمة على مدار الساعة بسرعات تفوق قدرة البشر، وسلامة العمال حيث قلل حاجة العمال إلى التعامل المباشر مع النفايات الحادة والمغبرة والثقيلة مما يقلل الإصابات المهنية. إلا أن التكلفة عالية لمثل هذا الاستخدام ويحتاج بنى تحتية مهيأة لخطوط الإنتاج بالإضافة إلى أن تدريب نماذج الذكاء الاصطناعي يتطلب كميات ضخمة من البيانات المصنفة بدقة.

**الشكل (4)** استخدام الروبوتات في عملية إعادة التدوير

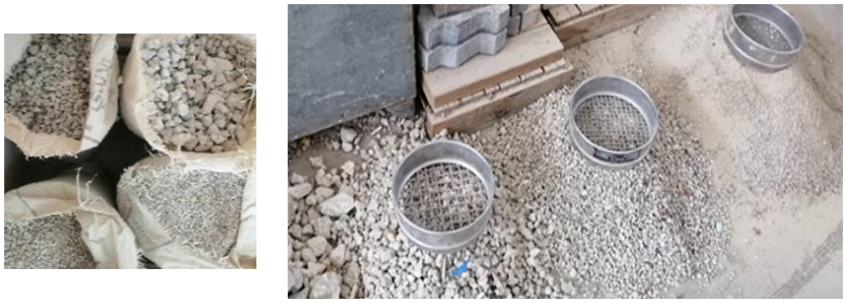
## 3- هدف البحث:

يهدف البحث إلى إيجاد خوارزمية لتحليل مقطع عمود مستطيل مسلح وخاضع إلى لامركزية ثنائية بعد الاعتماد على مخطط (إجهاد – تشوه) التجريبي للبيتون المنفذ بركام كعاد تدويره بنسب استبدال مختلفة (50-75-100)% ومقارنة النتائج التحليلية والتجريبية على أعمدة بيتونية مسلحة منفذة بركام بنسب الاستبدال السابقة.

## 4- منهجية البحث:

### *4-1- إيجاد مخطط إجهاد تشوه التجريبي*:

تم فرز الركام باستخدامً المناخل الموجودة في مخبر البيتون المسلح في كلية الهندسة المدنية المناخل بأقطار mm (25، 16، 9.5، 4.75، 1.18) للحصول على تدرج حبي جيد ومناسب لتصميم الخلطات البيتونية، كما يظهر في الشكل (5).



**الشكل (5)** الركام المعاد تدويره بعد عملية الفرز

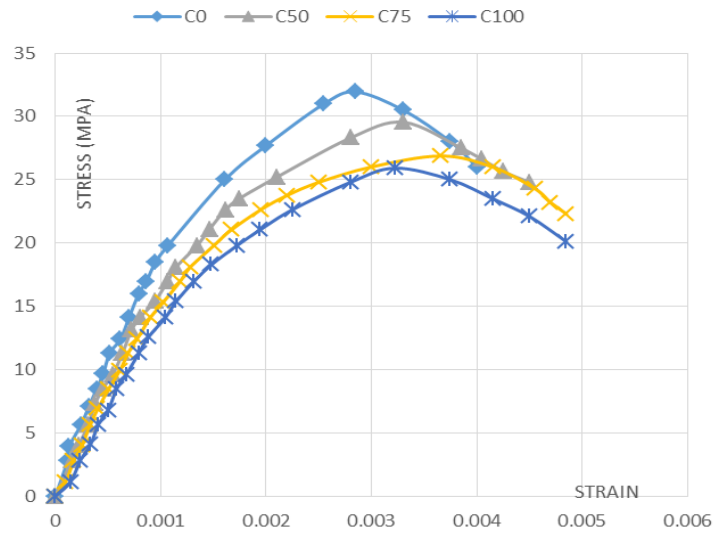
تم صب أسطوانات قياسية mm (300*150) بشكل أساسي 6 أسطوانات لكل خلطة بيتونية حيث تم تنفيذ ثلاث خلطات بيتونية بنسب استبدال للركام المعاد تدويره 50%,75%,100% بالإضافة إلى الخلطة المرجعية (بنسبة استبدال 0%) ، حيث تم دهن الأوجه الداخلية والقاع بالزيت، ثم صب البيتون على ثلاث طبقات، مع رص كل طبقة بالدق 25 مرة بالقضيب

المخصص لهذا الغرض، وضعت العينات بعد ذلك على الرجاج الآلي لمدة لا تزيد عن دقيقة، حفظت العينات بعد الصب في وسط رطب لمدة 24 ساعة، بعدها تم فك القوالب، ووضع العينات ضمن الماء في حوض الغمر لمدة 28 يوم. [5]

سويت سطح العينات الأسطوانية بالكبريت كما يبين الشكل (6)، للحصول على سطح مستو تماماً، ولكسرها حسب مواصفات ASTM C39

**الشكل (6)** العينات الأسطوانية

تم رسم مخطط (إجهاد –تشوه ) للبيتون المنفذ بركام معاد تدويره بنسب استبدال (50-75-100)% مع المخطط المرجعي (نسبة الاستبدال 0%) كما يبين الشكل (7)




**الشكل (7)** مخطط (إجهاد-تشوه) للبيتون المنفذ بركام معاد تدويره بنسب الاستبدال 100،75،50،0 %

نلاحظ من المخطط أن شكله في حال الاستبدال مشابه لمخطط الركام الطبيعي مع انخفاض الذروة وازدياد تشوهات في الفرع الهابط بزيادة نسبة الاستبدال بنسبة تتراوح (9-30) % عند الذروة.

والجدول(1) يبين نسب الانخفاض في قيمة المقاومة المميزة على الضغط بين الخلطات البيتونية.

**الجدول (1)** نسب انخفاض المقاومة المميزة

| | Fc´ | نسبة انخفاض المقاومة |
|---|---|---|
| C0 | 31.93 | ---------- |
| C50 | 29.55 | 7.5% |
| C75 | 26.88 | 15% |
| C100 | 25.91 | 18.8% |

***2-4- إيجاد خوارزمية لتحليل مقطع عمود مستطيل تحت تأثير لامركزية ثنائية:***

تتيح الكودات دراسة وتحليل المقاطع خلال مراحل محددة من عمل العنصر (مرحلة الانهيار أو حدود الاستثمار)، وبالتالي تكون عاجزة عن توصيف سلوك العنصر خلال مراحل عمله كافة من لحظة بدء التحميل وحتى الانهيار، والذي يعبر عنه من خلال منحني الأداء.

يوصف منحني الأداء، العلاقة بين القوى التي يتحملها العنصر (قوى أو عزوم بأحد الاتجاهات) مع دليل ما يمثل سلوك العنصر (السهم -عرض الشق- التشوه بأقصى ليف بيتوني...).

تتلخص أهمية الطريقة المقترحة، باستخدام مخطط (اجهاد -تشوه) الفعلي للبيتون وبالتالي الحصول على قيمة الإجهاد الفعلي عند كل قيمة للتشوهات، بخلاف الكودات التي تقترح أسلوباً مبسطاً لتوصيف سلوك البيتون، حيث يعتمد الكود العربي السوري على توصيف سلوك البيتون لحظة الانهيار بإجهاد ثابت قيمته $0.85fc´$ مهما زادت قيمة التشوه من الصفر حتى التشوه الأقصى 0.003، بينما يكون سلوك البيتون مرناً في مرحلة الاستثمار.

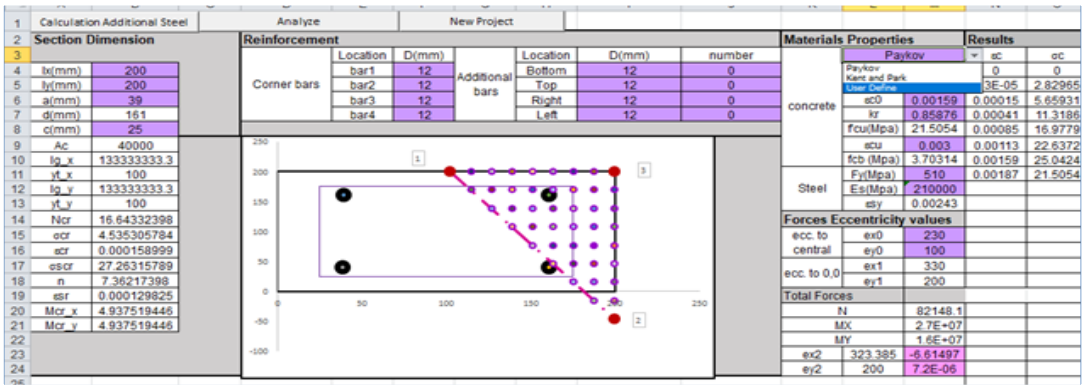
من هنا تأتي أهمية دراسة وتحليل المقطع باستخدام منحني (إجهاد – تشوه) الفعلي، لذا تم تصميم برنامج في بيئة VBA-Excel، يهدف هذا البرنامج إلى تحليل مقاطع الأعمدة البيتونية المسلحة ذات المقطع المستطيل والمعرضة لضغط لامركزي ثنائي المحاور.

***2-4-1. إدخالات البرنامج:***

يطلب البرنامج كما في الشكل (8) تعريف أبعاد مقطع العمود (العرض b والارتفاع h)، ومعطيات التسليح من حيث (عدد القضبان وموقعها وقطرها)، بالإضافة الى قيم اللا مركزيات المؤثرة على المقطع $e0_x$ و $e0_y$

تم تعريف سلوك (الاجهاد-التشوه) للبيتون بعدة نماذج متوفرة منها نموذج بايكوف Paykov

إضافة لذلك يمكن تعريف منحني اجهاد- تشوه تجريبي من خلال إدخال قيم التشوهات والإجهادات المقابلة ضمن User Define وقد اعتمدنا هذا الخيار في التحليل.




**الشكل (8)** واجهة البرنامج المقترح

### *4-2-2. إجرائيات التحليل:*

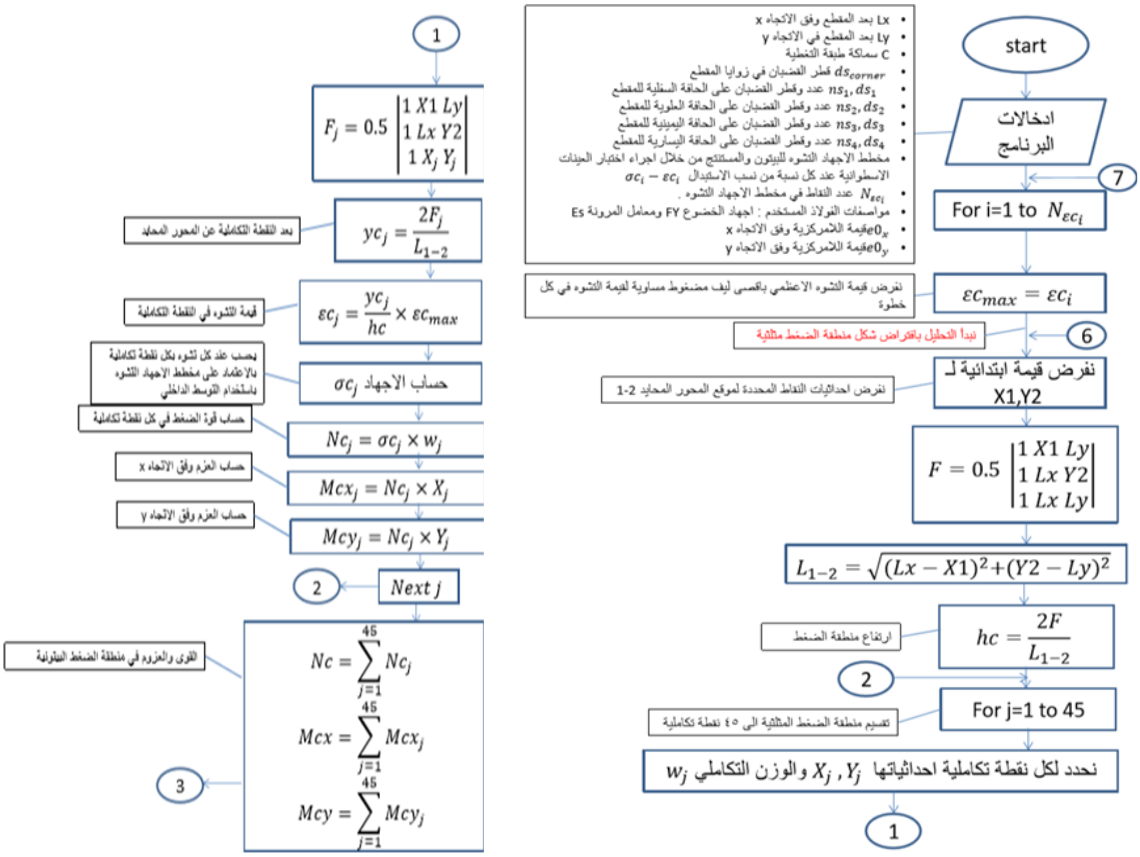
يعتمد التحليل على البحث عن الموقع الصحيح للمحور المحايد، الذي يحقق توازن المقطع تحت تأثير اللامركزيات الخارجية المطبقة عليه، عند كل قيمة للتشوه في الليف الأكثر انضغاطاً للمقطع المتشقق.

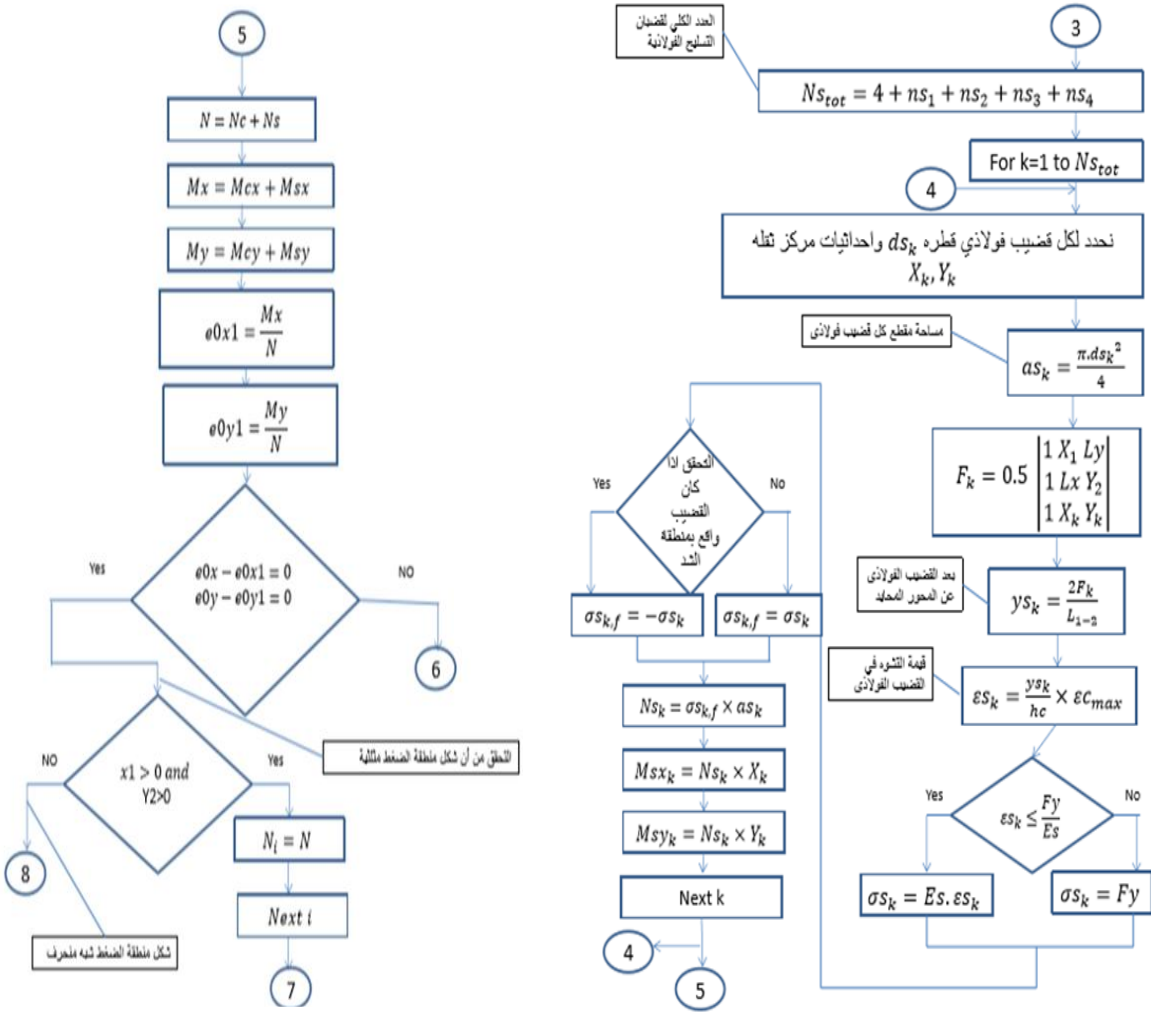
يفترض بدايةً أن شكل منطقة الضغط مثلثي، ونبحث عن الموقع الصحيح للمحور المحايد، فإذا تبين أن شكل منطقة الضغط عبارة عن شبه منحرف، يعيد البحث وفق الافتراض الجديد عن الموقع الصحيح للمحور المحايد، وعندها تكون القوى الناتجة تمثل قدرة تحمل المقطع عند قيمة التشوه المفروضة، ويعيد الحسابات عند كل قيمة للتشوه بشكل مشابه.

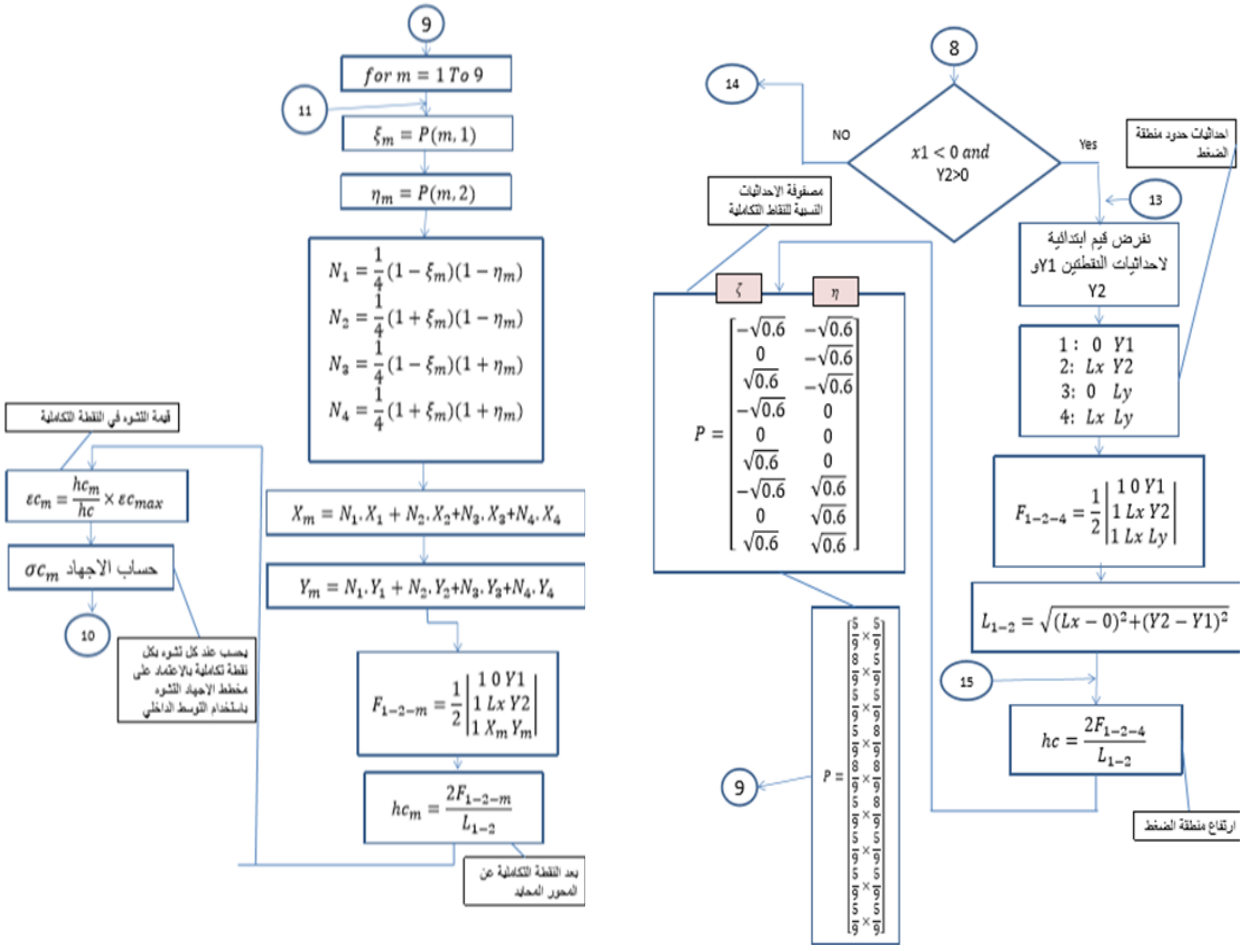
ثم تم حساب القوى الداخلية في بيتون منطقة الضغط (منطقة الضغط مثلثية وشبه منحرفة)

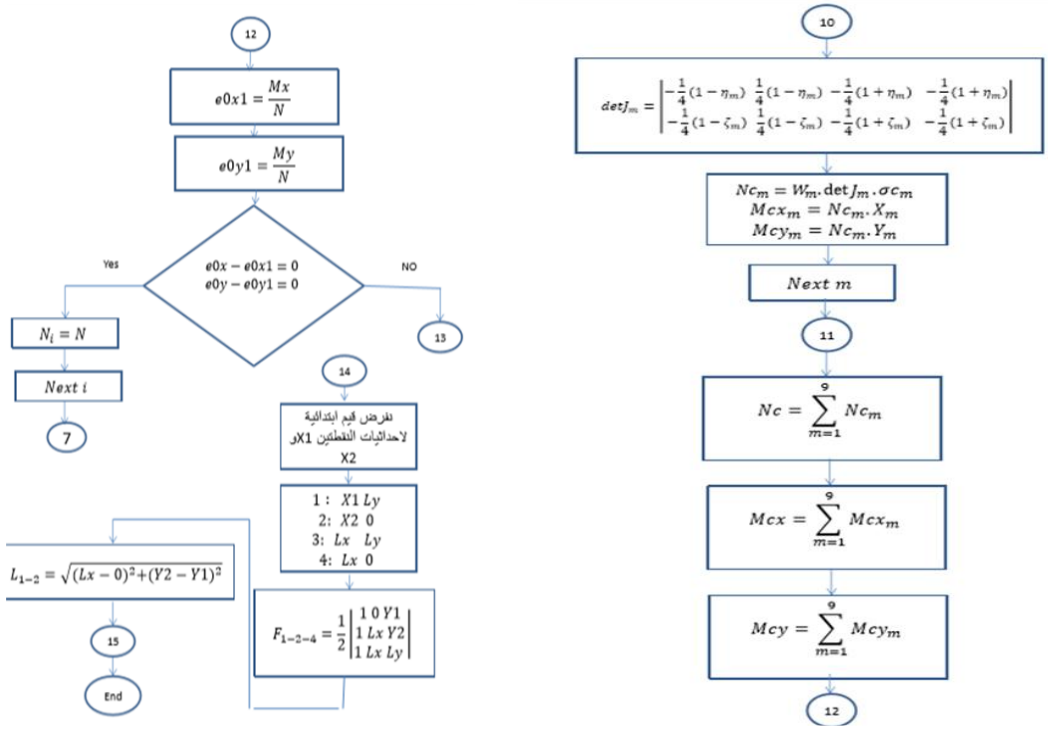
ثم الإحداثيات النسبية والأوزان للنقاط التكاملية وحساب التكاملات وإيجاد القوى والعزوم في البيتون والفولاذ

والمخطط النهجي يوضح خوارزمية تحليل المقطع المستطيل الخاضع إلى لامركزية باتجاهين E1,E2.


start
ادخالات البرنامج
Lx بعد المقطع وفق الاتجاه x
Ly بعد المقطع في الاتجاه y
C سماكة طبقة التغطية
$ds_{corner}$ قطر القضبان في زوايا المقطع
$ns_1, ds_1$ عدد وقطر القضبان على الحافة السفلية للمقطع
$ns_2, ds_2$ عدد وقطر القضبان على الحافة العلوية للمقطع
$ns_3, ds_3$ عدد وقطر القضبان على الحافة اليمينية للمقطع
$ns_4, ds_4$ عدد وقطر القضبان على الحافة اليسارية للمقطع
مخطط الاجهاد التشوه للبيتون والمستنتج من خلال اجراء اختبار الجيذات الاسطوانية عند كل نسبة من نسب الاستبدال $\sigma c_i - \varepsilon c_i$
$N_{ec_i}$ عدد النقاط في مخطط الاجهاد التشوه .
مواصفات الفولاذ المستخدم : اجهاد الخضوع FY ومعامل المرونة Es
$e0_x$ قيمة اللامركزية وفق الاتجاه x
$e0_y$ قيمة اللامركزية وفق الاتجاه y
For i=1 to $N_{ec_i}$
7
$\varepsilon c_{max} = \varepsilon c_i$
نفرض قيمة التشوه الاعظمي باقصى ليف مضغوط مساوية لقيمة التشوه في كل خطوة
6
نبدا التحليل باقتراض شكل منطقة الضغط مثلثية
نفرض قيمة ابتدائية لـ X1,Y2
نفرض احداثيات النقاط المحددة لموقع المحايد 1-2
$F = 0.5 \begin{vmatrix} 1 & X1 & Ly \\ 1 & Lx & Y2 \\ 1 & Lx & Ly \end{vmatrix}$
$L_{1-2} = \sqrt{(Lx - X1)^2 + (Y2 - Ly)^2}$
$hc = \frac{2F}{L_{1-2}}$
ارتفاع منطقة الضغط
2
For j=1 to 45
تقسيم منطقة الضغط المثلثية الى ٤٥ نقطة تكاملية
نحدد لكل نقطة تكاملية احداثياتها $X_j, Y_j$ والوزن التكاملي $w_j$
1
1
$F_j = 0.5 \begin{vmatrix} 1 & X1 & Ly \\ 1 & Lx & Y2 \\ 1 & X_j & Y_j \end{vmatrix}$
$yc_j = \frac{2F_j}{L_{1-2}}$
بعد النقطة التكاملية عن المحور المحايد
$\varepsilon c_j = \frac{yc_j}{hc} \times \varepsilon c_{max}$
قيمة التشوه في النقطة التكاملية
حساب الاجهاد $\sigma c_j$
يحسب عند كل تشوه بكل نقطة تكاملية بالاعتماد على مخطط الاجهاد التشوه باستخدام التوسط الداخلي
$Nc_j = \sigma c_j \times w_j$
حساب قوة الضغط في كل نقطة تكاملية
$Mcx_j = Nc_j \times X_j$
حساب العزم وفق الاتجاه x
$Mcy_j = Nc_j \times Y_j$
حساب العزم وفق الاتجاه y
Next j
2
$Nc = \sum_{j=1}^{45} Nc_j$
$Mcx = \sum_{j=1}^{45} Mcx_j$
$Mcy = \sum_{j=1}^{45} Mcy_j$
القوى والعزوم في منطقة الضغط البتونية
3


3
العدد الكلي لقضبان التسليح الفولاذية
$Ns_{tot} = 4 + ns_1 + ns_2 + ns_3 + ns_4$
For k=1 to $Ns_{tot}$
4
نحدد لكل قضيب فولاذي قطره $ds_k$ واحداثيات مركز ثقله $X_k, Y_k$
مساحة مقطع كل قضيب فولاذى
$as_k = \frac{\pi . ds_k^2}{4}$
$F_k = 0.5 \begin{vmatrix} 1 & X_1 & Ly \\ 1 & Lx & Y_2 \\ 1 & X_k & Y_k \end{vmatrix}$
بعد القضيب الفولاذى عن المحور المحايد
$ys_k = \frac{2F_k}{L_{1-2}}$
قيمة التشوه في القضيب الفولاذى
$\varepsilon s_k = \frac{ys_k}{hc} \times \varepsilon c_{max}$
Yes
No
$\varepsilon s_k \leq \frac{Fy}{Es}$
$\sigma s_k = Es.\varepsilon s_k$
$\sigma s_k = Fy$
التحقق اذا كان القضيب واقع بمنطقة الشد
Yes
No
$\sigma s_{k,f} = -\sigma s_k$
$\sigma s_{k,f} = \sigma s_k$
$Ns_k = \sigma s_{k,f} \times as_k$
$Msx_k = Ns_k \times X_k$
$Msy_k = Ns_k \times Y_k$
Next k
4
5
5
$N = Nc + Ns$
$Mx = Mcx + Msx$
$My = Mcy + Msy$
$e0x1 = \frac{Mx}{N}$
$e0y1 = \frac{My}{N}$
$e0x - e0x1 = 0$
$e0y - e0y1 = 0$
Yes
NO
6
التحقق من أن شكل منطقة الضغط مثالية
$x1 > 0\ and$
$Y2>0$
NO
Yes
8
شكل منطقة الضغط شبه منحرف
$N_i = N$
$Next\ i$
7


9
for m = 1 To 9
11
ξm = P(m,1)
ηm = P(m,2)
N1 = 1/4 (1 − ξm)(1 − ηm)
N2 = 1/4 (1 + ξm)(1 − ηm)
N3 = 1/4 (1 − ξm)(1 + ηm)
N4 = 1/4 (1 + ξm)(1 + ηm)
Xm = N1.X1 + N2.X2+N3.X3+N4.X4
Ym = N1.Y1 + N2.Y2+N3.Y3+N4.Y4
F1−2−m = 1/2 | 1 0 Y1 ; 1 Lx Y2 ; 1 Xm Ym |
hcm = 2F1−2−m / L1−2
بعد النقطة التكاملية عن المحور المحايد
قيمة التشوه في النقطة التكاملية
εcm = hcm/hc × εcmax
حساب الإجهاد σcm
10
يحسب عند كل تشوه لكل نقطة تكاملية بالاعتماد على مخطط الاجهاد التشوه باستخدام التوسط الداخلي
8
x1 < 0 and Y2>0
NO
14
Yes
احداثيات حدود منطقة الضغط
13
نفرض قيم ابتدائية لاحداثيات النقطتين Y1و Y2
1 : 0 Y1
2: Lx Y2
3: 0 Ly
4: Lx Ly
F1−2−4 = 1/2 | 1 0 Y1 ; 1 Lx Y2 ; 1 Lx Ly |
L1−2 = √((Lx − 0)² + (Y2 − Y1)²)
15
hc = 2F1−2−4 / L1−2
ارتفاع منطقة الضغط
مصفوفة الإحداثيات النسبية للنقاط التكاملية
ζ
η
P = [−√0.6 −√0.6 ; 0 −√0.6 ; √0.6 −√0.6 ; −√0.6 0 ; 0 0 ; √0.6 0 ; −√0.6 √0.6 ; 0 √0.6 ; √0.6 √0.6]
9
P = [ζ × ζ ; ζ × η ; η × ζ ; η × η]




### 3-4- إجراء تجارب عملية:

تم صب 26 عموداً تجريبياً مسلحاً [5]، وثلاث أسطوانات عند كل صب، وتمت الدراسة التجريبية عند قيمتين للامركزية ثنائية المحاور، استخدمنا جهاز الكسر الهيدروليكي ، كما يظهر في الشكل(9) الموجود في مخبر البيتون في كلية الهندسة المدنية، والذي تبلغ طاقته القصوى 1300kN، وتم وضع صفيحة معدنية بأبعاد (12*12)cm وسماكة 4cm عند إجراء التجربة في مركز الجهاز من الأسفل، بحيث يكون مسار تطبيق الحمولة ينطبق على المحور الشاقولي للجهاز(للمكبس) وضعت 7 حساسات على العمود أعلى العمود، لتقيس الانتقالات في منطقتي الشد والضغط، وتم وضع حساسين لقياس الانتقال الأفقي بالاتجاهين، وحساس لقياس الانتقال الشاقولي، وتمت مراقبتها باستخدام خلية حمل كهربائية.

**الشكل(9)** جهاز الكسر و تموضع العمود المختبر

وتم قياس الانتقالات في أماكن محددة من العمود باستخدام أجهزة قياسLVDT وضعت لقياس الانتقال بين نقطتين بتباعد 110mm بين طرفي الحساس كما يظهر في الشكل (10)

الشكل(10) جهاز قياس الانتقالات والتشوهات، والحساس .

يتم تطبيق القوة عن طريق المكبس الهيدروليكي بشكل تدريجي، وتؤخذ الانتقالات المقاسة عن طريق الحساسات على شاشة الجهاز

تم إجراء التجارب باستخدام متغيرين أساسين هما:

- نسبة الركام المعاد تدويره ضمن الخلطة البيتونية
- واللامركزية بالاتجاهين E1(280*100) mm, E2 (230*100) mm

وكانت نتائج الاختبارات كما في الجدول (2):

**الجدول(2)** نتائج التجارب على الأعمدة

| *اسم العينة* | *Ncr* | *NR القوة الأعظمية* | *n* | *Hc* |
|---|---|---|---|---|
| C0-E1 | 24 | 82 | 7 | 37 |
| C50-E1 | 21 | 79 | 6 | 15 |
| C75-E1 | 22 | 92 | 7 | 18 |
| C100-E1 | 22 | 90.5 | 7 | 34 |
| C0-E2 | 25 | 98 | 7 | 22 |
| C50-E2 | 22 | 80 | 6 | 26 |
| C75-E2 | 22 | 106 | 7 | 38 |
| C100-E2 | 21 | 114 | 7 | 37 |

-نلاحظ أن آلية الانهيار قياسية بظهور شقوق منطقة الشد بتباعدات متساوية ثم يتطور الشق الرئيسي ويؤدي إلى الانهيار في أطراف العمود (من الأعلى أو الأسفل) [5]

***4-4- مقارنة النتائج التجريبية والتحليلية:***

تم رسم مخططات (حمولة- انتقال) لكل عمود تجريبي وتمت مقارنة النتائج التجريبية مع التحليلية (الناتجة من تحليل المقطع) مع التجريبية.

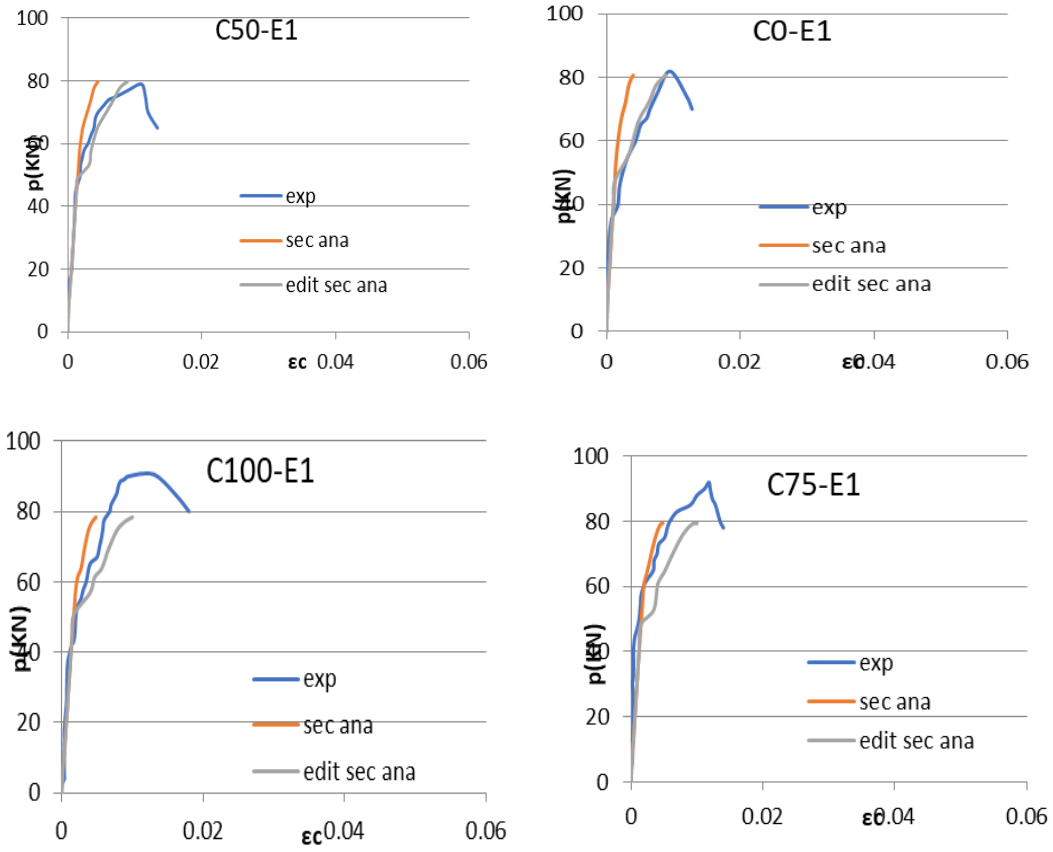
### 1-4-4. عند اللامركزية E1(280*100) mm

قمنا بإدخال أثر الشقوق على المخطط الناتج عن تحليل المقطع للحصول على $\varepsilon c$

$$\varepsilon_c = \varepsilon * \frac{I0}{I0+\Psi \ *Icr}$$

وتعديل النتائج عند 60% من الحمولة العظمى فكانت المخططات التجريبية وتحليل المقطع قبل وبعد إضافة الشقوق كمايلي كما يظهر في الشكل(11)

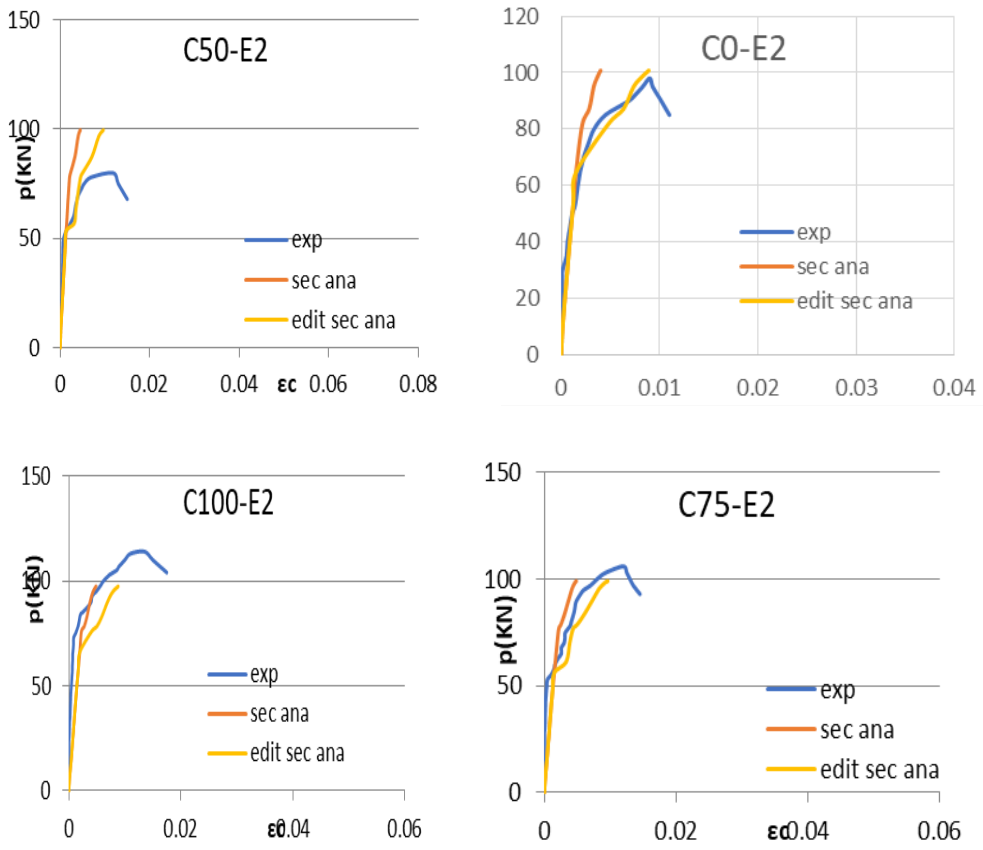
(ملاحظة: الرمز C50-E1 يعني: العمود بنسبة استبدال 50% وخاضع إلى لامركزية E1 )




**الشكل(11)** النتائج التجريبية والتحليلية من أجل اللامركزية E1

### *2-4-4. عند اللامركزية E2(230*100) mm*

يظهر الشكل (12) مقارنة بين النتائج التجريبية والتحليلية للأعمدة المعرضة إلى اللامركزية E2




**الشكل(11)** النتائج التجريبية والتحليلية من أجل اللامركزية E2

**5- نتائج البحث:**

1- إن الفرز الجيد للركام المعاد تدويره، وضبط نسبة W/C وإضافة الملدن المناسب لزيادة قابلية التشغيل، تعتبر شروط أساسية لقبول استخدام الركام المعاد تدويره.

2- بالمقارنة بين نتائج التحليل باستخدام تحليل المقطع والتحليل باستخدام برنامج حاسوبي، كانت فروقات الحمولة الأعظمية بينهما تتراوح بين % (1-12)، وهذا يدل على أنه يمكن استخدام برنامج تحليل المقطع لتحديد الحمولة الأعظمية بدلاً من النمذجة الحاسوبية.

3- إن مخطط (إجهاد -تشوه) للبيتون المنفذ بركام معاد تدويره، يشبه مخطط (إجهاد-تشوه) للبيتون المنفذ بركام طبيعي، مع انخفاض الذروة بزيادة نسبة الاستبدال حيث أظهرت النتائج انخفاض في مقاومة البيتون بنسبة %(7.5,15,18.8) عند الاستبدال للركام المعاد تدويره بنسبة %(50,75,100) على الترتيب.

4- يمكن استخدام الركام المعاد تدويره على الأعمدة المعرضة إلى لامركزية بالاتجاهين، وذلك لأن معظم حالات الانهيار كانت على الشد أي أن فعالية البيتون محدودة، وفولاذ التسليح يعمل لمرحلة fy أو أكثر لذلك يمكن استخدام الركام المعاد تدويره في مثل هذه العناصر الإنشائية وهذا يعزز التنمية المستدامة بإعادة تدوير ركام الأبنية.

**6- توصيات البحث:**

- يوصى بمتابعة البحث بهدف دراسة السلوك الإنشائي للأعمدة المنفذة بركام معاد تدويره في حالات أخرى، مثل حالة تدعيم أو تطويق أو تطبيق قيم لا مركزيات أخرى، وخاصة لا مركزيات صغيرة.
- تجريب طرق أخرى لنقل الحمولة بشكل لامركزي إلى العمود، تسهل إجراء التجربة في المخبر.
- تجريب ملدنات أخرى عند الاستبدال، تعطي قابلية تشغيل ومقاومة مميزة عالية.
- تجريب أعمدة أطول.
- مراقبة تغير المقاومة للبيتون المنفذ بركام معاد تدويره على مدى الزمن، وإضافة مواد تحسن المقاومة كالألياف الزجاجية.

**References**


[1] Xiangfei Wang, Guoliang Guo, Jinglei Liu, Chun Lv, (2011) " Mechanical Properties of Recycled Concrete with Carbide Slag Slurry Pre-Immersed and Carbonated Recycled Aggregate ". College of Architecture and Civil Engineering, Qiqihar University, Qiqihar 161006, China Materials 2025, 18(14), 3281; https://doi.org/10.3390/ma18143281

[2] DC Gámez-García, AJ Vargas-Leal, DA Serrania-Guerra, JG González-Borrego, (2025) " Sustainable concrete with recycled aggregate from plastic waste: physical–mechanical behavior" Applied Sciences, 2025 15(7) •mdpi.com

[3]Robert Kovacs , Rabee Shamass , Vireen Limbachiya, (2025) " Multi-recycling of different concrete products: Effects on recycled aggregate's physical characteristics and compressive strength

Journal of Building Engineering,Volume 113, 1 November 2025, 114004

[4]Antonio Brencich, Andrea Dubesti, Farhad Ali Akbari Hamed, (2024) " Structural Concrete from 100% Recycled Aggregates"

*Appl. Sci.* 2024, *14*(24), 11709; https://doi.org/10.3390/app142411709

[5]Bushra Al-Akkari, Dr. Suleiman Al-Amoudi, Homs University Journal, 2022 ,Study of the behavior of columns subjected to biaxial eccentric compression and constructed with recycled aggregate,

[6]Falah Ali Mubarak, Dr. Munib Al-Allaf, Homs University Journal, October 2023,An experimental and analytical study of the effect of using concrete produced from recycled aggregate on reinforced concrete beams subjected to torsion,

[7]Wissam Deeb, Dr. Issam Melhem, Homs University Journal 2023,An experimental and analytical study of the behavior of one-way reinforced concrete slabs using recycled aggregates under flexural stress,

[8]Paul S, (2011) "Mechanical behavior and durability performance of concrete containing recycled concrete aggregate", Master thesis, The Depatment of Civil Engineering of the University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa.

[9]Abukersh, S,. (2009) "High Quality Aggregate Concrete" Phd thesis, School of Engineering and Built Environment, Edinburgh University, UK.

[10] Robotic sorting systems for recycled aggregates: Enhancing circular economy in construction ، 2024 "Journal of Cleaner Production·