نمذجة سلوك جائز بيتوني مسلح على برنامج العناصر المنتهية ANSYS

م. سونيا عبيدو*

(الإيداع: 4 آذار 2024، القبول: 6 حزيران 2024)

الملخص:

أصبحت الحاجة إلى معرفة سريعة لسلوك عمل المنشآت البيتونية أثناء تعرضها لحمولات متنوعة أمراً بالغ الأهمية، تسمح برامج النمذجة الحاسوبية التي تعتمد على طريقة العناصر المنتهية بتمثيل سلوك المنشآت البيتونية حاسوبياً وبالتالي المعرفة السريعة لسلوكها أثناء العمل، مما يسمح باختيار البارامترات التصميمية المثلى قبل الإنشاء ومعرفة حاجة المنشأة للصيانة بعد فترة من استخدامها وذلك بتحليل خيارات التدعيم المتنوعة وتأثيرها على الأداء.

تعرض هذه المقالة مزايا استخدام برنامج العناصر المنتهية ANSYS لدراسة سلوك المنشآت البيتونية حاسوبياً، وذلك من خلال نمذجة سلوك جائز بيتوني مسلّح، يتعرض لعدة أنواع من الحمولة.

للتأكد من مصداقية النموذج الحاسوبي للجائز سيتم مقارنة النتائج المأخوذة من النمذجة السابقة مع نتائج الحساب التحليلي للجائز بحل المعادلات الإنشائية التقليدية المعروفة وكذلك بالمقارنة مع النتائج المأخوذة من الحسابات على السحابة الحسابية المحملة على موقع Clearcalcs.com المتخصص بالحسابات الإنشائية.

وفي النهاية تم التوصل إلى نتيجة مفادها أنه يمكن اعتماد النمذجة للمنشآت البيتونية على برنامج العناصر المنتهية ANSYS كوسلية فعّالة لدراسة سلوك هذه المنشآت سواءً بمراحل التصميم أو في مرحلة الصيانة، وسنحصل من خلالها على نتائج قريبة للنتائج التجريبية.

الكلمات المفتاحية: الجوائز الخرسانية المسلحة، طريقة العناصر المنتهية، برنامج Ansys، نظرية الجوائز.

* ماجستير في قسم هندسة المواصلات والطرق في كلية الهندسة المدنية– جامعة البعث

Modeling the behavior of a reinforced concrete beam on the finite element program ANSYS

Eng. Sonia ABEDO

(Received: 4 March 2024,Accepted: 6 June 2024)

Abstract:

The need for quick knowledge of the working behavior of concrete structures while they are exposed to various loads has become extremely important. Computer modeling programs that rely on the finite element method allow for computer representation of the behavior of concrete structures and thus quick knowledge of their behavior during work, which allows choosing the optimal design parameters before construction and knowing the facility's need For maintenance after a period of use by analyzing the various reinforcement options and their impact on performance.

This article presents the advantages of using the finite element program ANSYS to study the behavior of concrete structures, by modeling the behavior of a reinforced concrete beam, subjected to several types of load.

To ensure the Validity of the computer model for the beam, the results taken from the previous modeling will be compared with the results of the analytical calculation, by solving the known traditional structural equations, as well as by comparison with the results taken from the calculations on the computational cloud uploaded on the website Clearcalcs.com, which specializes in construction calculations.

In the end, the conclusion was reached that modeling of concrete structures using the ANSYS finite element program can be adopted as an effective method for studying the behavior of these structures, whether in the design stages or in the maintenance stage, and through it we will obtain results that are close to the experimental results

Key words: Concrete reinforced beams, Finite elements method, Ansys program, Civil engineering,

Master's degrees in Civil Engineering, Department of Transportation and Road Engineering at the Faculty of Civil Engineering – Al Barth University.

المقدمة :

تعتبر دراسة سلوك الجوائز البيتونية المسلحة أثناء تعرضها لحمولات متنوعة من أساسيات الهندسة المدنية والإنشائية، وتلعب المنشآت البيتونية المدنية من أبنية وجسور وأنفاق ومرافق متنوعة دورا كبيراً في الحياة الاقتصادية والاجتماعية لكل بلد.

توصف أغلب منشآت الجوائز البيتونية المسلحة بأنها منشآت معقدة ومكلفة، كما يفرض السلوك الإنشائي فيها تبادل التأثير بين المكونات والأقسام كلها في المنشأة. إن وجود عيوب واضرار في بعض عناصر المنشأة يقود إلى تراجع وانحطاط متسارع في ديمومة ومتانة باقي العناصر، فعلى سبيل المثال تحتاج كثير من المنشآت كالجسور مثلا وخلال مراحل استثمارها الى تدعيم وتقوية ومعالجة الشقوق التي تظهر بسبب عوامل عدة أو نتيجة تغير وظيفة المنشأة وزيادة الحمولات عليها، إذ قد نضطر أحيانا إلى إحداث تغييرات في الجملة الإنشائية، إن استخدام البرمجيات الحاسوبية الجديدة يسمح بتسهيل إجراء الحسابات والتنبؤ بحالة الجائز بسهولة أكبر بكثير من الماضي.

نهدف في هذا البحث إلى إظهار فاعلية استخدام برمجيات النمذجة بالعناصر المنتهية كال Ansys، لدراسة سلوك الجوائز المسلحة أثناء تعرضها لحمولات متنوعة، ومقارنة النتائج مع الحسابات النظرية للتأكد من مصداقية الموديل الحاسوبي، مما يسمح باستخدامه لاحقاً لحسابات أكثر تعقيداً..

مقدمة إلىANSYS :

يعتبر برنامج ANSYS بخياراته الكثيرة البرنامج المفضل لدى جميع الباحثين والمهندسين العاملين في مجال النمذجة بالعناصر المنتهية، ويستخدم في العديد من المجالات كالحسابات الميكانيكية والإنشائية وميكانيك السوائل وديناميك الإنشاءات وغيرها الكثير، ويحتوي برنامج ال ANSYSعلى كامل مزايا برامج النمذجة بالعناصر المنتهية ، بدءًا من التحليل الخطي البسيط والثابت إلى التحليل الديناميكي المعقد غير الخطي.

يتطلب العمل على برنامج ANSYS النموذجي تنفيذ ثلاث خطوات أساسية:

بناء النموذج– تطبيق الأحمال والحصول على الحل– مراجعة النتائج والتأكد من مصداقية الموديل.

مقدمة في التحليل الإنشائي (STRUCTURAL ANALYSIS):

ربما يكون التحليل الإنشائي هو التطبيق الأكثر شيوعًا لطريقة العناصر المنتهية. في مجال الهندسة المدنية، وذلك لا يعني فقط هياكل الهندسة المدنية مثل الجسور والمباني، ولكن أيضًا الهياكل البحرية والطيران والميكانيك مثل هياكل السفن وأجسام الطائرات والآلات، بالإضافة إلى المكونات الميكانيكية مثل المكابس وأجزاء الآلات و أدوات التشغيل و....

يقدم برنامج ال Ansys سبعة أنواع للتحليل الإنشائي (STRUCTURAL ANALYSIS)[1] وهي:

التحليل الثابت (Static analysis)، التحليل النموذجي (Modal analysis)، التحليل التوافقي (Harmonic analysis:)، التحليل الديناميكي العابر (Transient dynamic analysis)، تحليل الطيف (Spectrum analysis) .تحليل الإبزيم (Buckling analysis:)، التحليل الديناميكي الصريح (Explicit dynamic analysis)،

<u>دراسة مرجعية :</u>

قام العديد من الباحثين باستخدام برنامج العناصر المنتهية Ansys لإجراء حسابات وإيجاد تصاميم مثلى لجوائز بيتونية مسلحة.

من المعروف بأن الدراسة التجريبية لسلوك الجوائز تعطي السلوك الدقيق للهيكل ولكنها تستغرق وقتًا طويلاً وتعتبر عملية مكلفة. لذا يعد برنامج Ansys أحد الأدوات المستخدمة لتحديد سلوك الجوائز حاسوبياً. يعمل برنامج Ansys على طريقة

العناصر المنتهية ويستخدم تحليل العناصر المنتهية لتقييم الهيكل ويعطي نتائج دقيقة وسريعة وقليلة التكلفة مقارنة بالدراسة التجريبية [4].

إن طريقة العناصر المنتهية هي طريقة تحليل عددية تقوم بتقسيم العنصر إلى أجزاء أصغر، ويتم تحليل العنصر تحت ظروف تحميل معينة ومن ثم تقييم استجابة العنصر للحمولات، يتم تمثيل استجابة العنصر من خلال عدد محدود من درجات الحرية كقيمة دالة مجهولة في مجموعة من النقاط العقدية. معظم المسائل في الجوائز هي غير خطية بطبيعتها، وبالتالي فإن التحليل غير الخطي هو أداة فعّالة للحصول على الحل الدقيق. قام (نيلسون، وآخرون.2004) باستخدام النمذجة على برنامج ال Ansys لدراسة التشققات ضمن الجوائز [8][6].

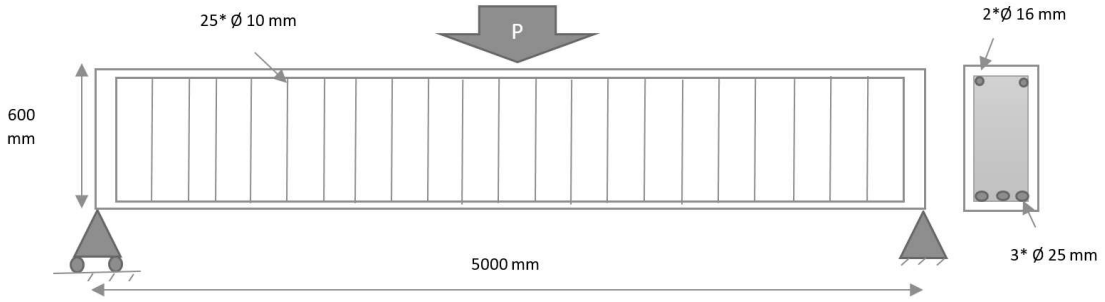
قام هانسون [2]، و كذلك سومز وكورلي [3] باستخدام النمذجة لدراسة أثر وجود فتحة ضمن الجائز على أدائه.

قام روبرت آر إس وبرنس إيه جي [5] بدراسة تقوية العناصر البيتونية باستخدام وصلات الفيبر المعزز بالألياف من خلال نمذجة العناصر البيتونية مع العناصر المعززة، حيث تم تحديث وصلات الأعمدة الخرسانية باستخدام البوليمر المقوى بألياف الكربون.

قام Jayajothi P [6] وأخرون [7] بدراسة العناصر المحدودة تحليل FRP لعوارض RC المعززة باستخدام Ansys ، وفي النهاية يزداد اعتماد برامج (FEA) وبما فيها ال Ansys لتنفيذ الدراسات والأبحاث بين المهندسين في الصناعة والإنشاءات.

الموديل الهندسي :

الجائز الذي سيتم دراسته موضح بالشكل (1)، بطول 5000 ملم ومقطع عرضي 600×300 مم، مع التسليح العرضي 3*25 مم للشد، و2*16 مم للضغط، الموصف بالشكل (1). توضح هذه الدراسة النمذجة غير الخطية للعناصر المحدودة للخرسانة المسلحة، وسلوك الجائز تحت تأثير الحمولة P الموضحة بالشكل، وقيمة السهم في منتصف الجائز، من أجل عدة قيم وأنواع ل P، كما سيتم حساب قيمة الحمولة التي تسبب بداية ظهور التشققات ضمن الجائز تحليلياً وكذلك على السحابة الحسابية المحملة على موقع Clearcalcs.com المتخصص بالحسابات الإنشائية، ومقارنتها مع نتائج النمذجة .



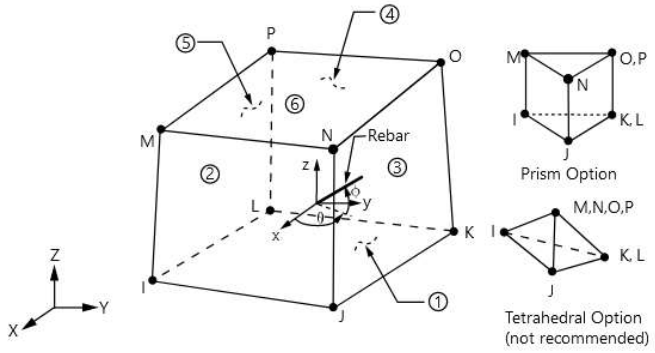
الشكل رقم (1): توصيف الجائز البيتوني مع التسليح الأساسي

النمذجة:

نمذجة الخرسانة المسلحة :

تمت النمذجة باستخدام العنصر SOLID (65) الذي يتألف من 8 عقد تمتلك كل عقدة ثلاث درجات حرية هي الانتقالات باتجاه المحاور الثلاث(Ux , Uy , Uz)، .يمكن من خلال هذا العنصر نمذجة السلوك الخطي واللاخطي

للبيتون، و توجد أربع مواد مختلفة ضمن العنصر، المادة الأولى وهي مادة البيتون والثلاثة الباقية هي خصائص قضبان التسليح بالاتجاهات الثلاثة، و تعتبر مادة هذا العنصر متماثلة الخواص (isotropic) مع أو بدون تسليح وذلك مع قابليتها للتشقق والانهيار .الشكل (2)،

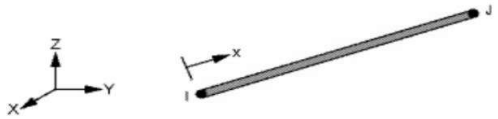


الشكل رقم(2): العنصر الحجمي Solid (65)المعتمد لنمذجة البيتون ونقاطه التكاملية.

نمذجة فولاذ التسليح:

تم نمذجة فولاذ التسليح كعنصر خطي (8) Link يشترك مع البيتون بنفس العقد وبالتالي فإن ارتباطه معه تام. يتكون هذا العنصر من عقدتين (i,j) وتمتلك كل عقدة ثلاث درجات حرية وهي الانتقالات في اتجاهات المحاور الثالثة) Ux,Uy,Uz)

ويبين الشكل (3) هذا العنصر، ويعتبر عنصر شد – ضغط محوري، يتم تعريف مقطع العنصر ,التشوه البدئي، وخصائص المادة.



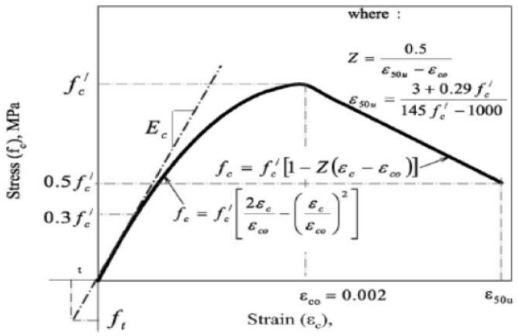
الشكل رقم (3): العنصر الحجمي (8) Link المعتمد لنمذجة فولاذ التسليح ونقاطه التكاملية.

إدخال خصائص المواد وفق برنامج ال Ansys.

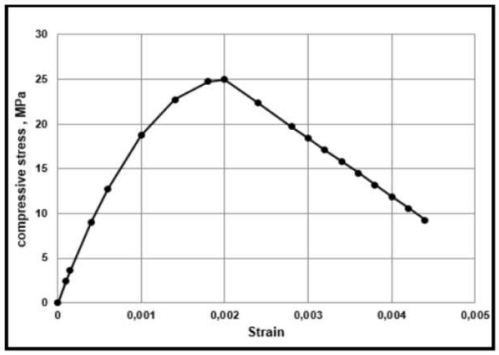
البيتون:

النموذج الخرساني ذو الجودة العادية هو نموذج للتصلب الحركي متعدد الخطية (Multininear Kinematic Hardening) عن طريق الضغط والانفعال، إن منحنيات الخرسانة غير المحصورة المقترحة من قبل كينت بارك لإجهاد الشد هو [13] $ft = 0.7.\sqrt{fc'}$ كما هو مبين في الجدول (1) و (2). ونعيد التأكيد بأنه تم استخدام نوع العنصر SOLID65في نمذجة المواد الخرسانية وهذا يمكن أن يوفر نتائج حتى في حالة السلوك غير الخطي للخرسانة المسلحة .[12]

الجدول رقم (1): خصائص المواد الخرسانية بواسطة العنصر SOLID65



Linear - Elastic - Isotropic	
Modulus of Elasticity, E_c	24,375 MPa
Poisson Ratio, ν	0.20
Nonlinear – Multilinear Kinematic Hardening	
Strain (ε_c)	Stress (f_c)
0	0
0.00010	2.4375
0.00015	3.6094
0.00040	9.0000
0.00060	12.7500



Strain (ε_c)	Stress (f_c)
0.00100	18.7500
0.00140	22.7500
0.00180	24.7500
0.00200	25.0000
0.00240	22.3720
0.00280	19.7430
0.00300	18.4290
0.00320	17.1150
0.00340	15.8000
0.00360	14.4860
0.00380	13.1720
0.00400	11.8580
0.00420	10.5440
0.00440	9.2290

الجدول رقم (2): الخواص الغير خطية – الغير مرنة – اللدونة غير المعدنية للعنصر solid 65

Open shear transfer coefficient	0.30	
Closed shear transfer coefficient	1.00	
Uniaxial cracking stress	3.50 MPa	$(f_t = 0.70\sqrt{f_c'})$
Uniaxial crushing stress	25 MPa	(f_c')
Tensile crack factor	0.60	

خواص فولاذ التسليح

أما خواص فولاذ التسليح الطولي والعرضي فهي :عامل مرونة الفولاذ Es=200000 MPa ، معامل بواسون υ=0.3 ، إجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم مبين في الجدول 3 :

الجدول رقم (3): إجهاد الخضوع للفولاذ المستخدم

f_y (MPa)	القضيب
320.5	Ø 10
388.8	Ø 16
450	Ø 25

التحقق من المحاكاة المعتمدة (Validity of the model):

سيتم التحقق من المصداقية أو الفاعلية VALIDATION للنموذج وعملية المحاكاة عن طريق مقارنة نتائج الدراسة التحليلية للجائز، مع النتائج المأخوذة من البرنامج المحمّل على موقع Clearcalcs.com مع النتائج المأخوذة من الدراسة على برنامج ال (ANSYS)، تحت ظروف تحميل مختلفة، ومقارنة هذه النتائج مع بعضها البعض، وسيتم التركيز على البارامترات التالية:

- الانتقال الأعظمي (السهم) في منتصف الجائز من أجل عدة حمولات.
- الحمولة الموافقة للظهور التشققات (على الانعطاف).

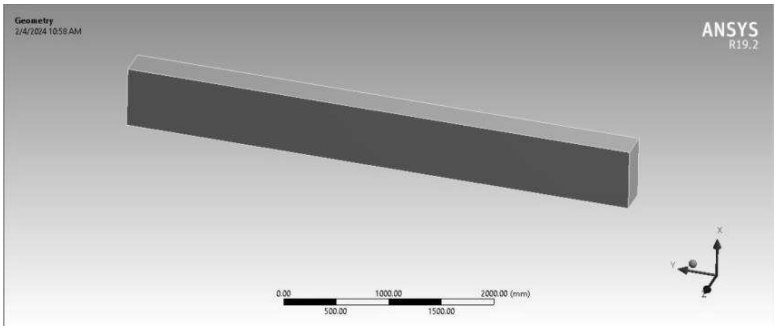
وبعد أن يتم التحقق من الفاعلية للموديل على ال Ansys يمكن استخدام هذه النموذج لدراسة حالات تحميل مختلفة ومعقدة للجائز يصعب الحصول على نتائجها بالحساب التحليلي.

سيتم تنفيذ الحسابات التحليلية للجائز بالاعتماد على الكود السوري لتصميم وتنفيذ المنشأت بالخرسانة المسلحة.

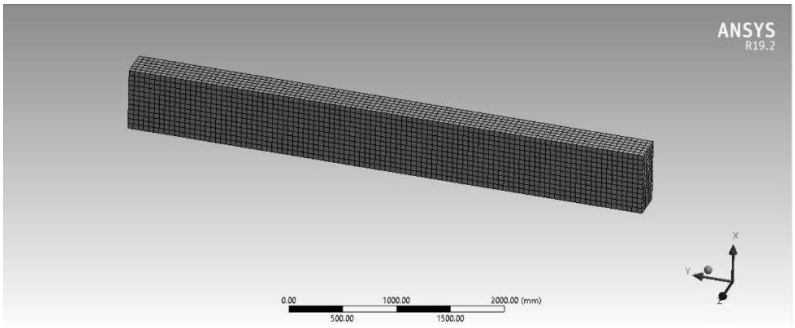
يساعد برنامج التصميم والتحليل الهيكلي الموجود على السحابة الحسابية على موقع Clearcalcs.com المهندسين والمصممين على أداء أفضل أعمالهم بثقة وسرعة أكبر مما يسمح بتحقيق نتائج فورية وهذا يؤدي إلى إنجاز الأعمال الهندسية بشكل أسرع من خلال تنفيذ مجموعة واسعة من العمليات الحسابية، وتصدير التقارير المفصلة عن النتائج.

النتائج :

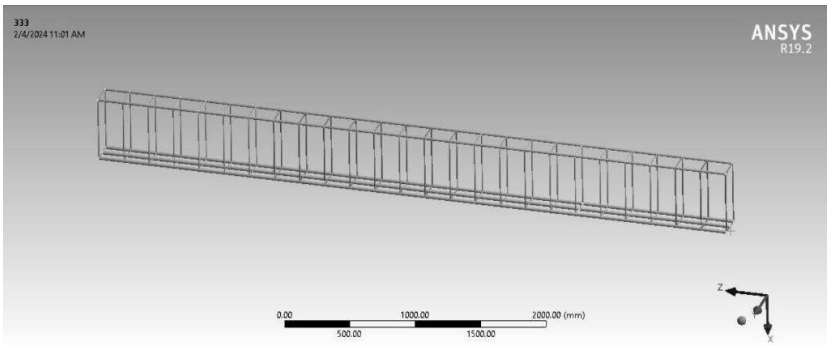
- **دراسة التدلي والسهم :** يظهر في الأشكال أدناه الجائز قبل وبعد التقطيع وشبكة التلسيح بعد الرسم على ال Ansys



الشكل رقم (4) : نموذج الجائز قبل التحميل قبل التقطيع لعناصر منتهية.

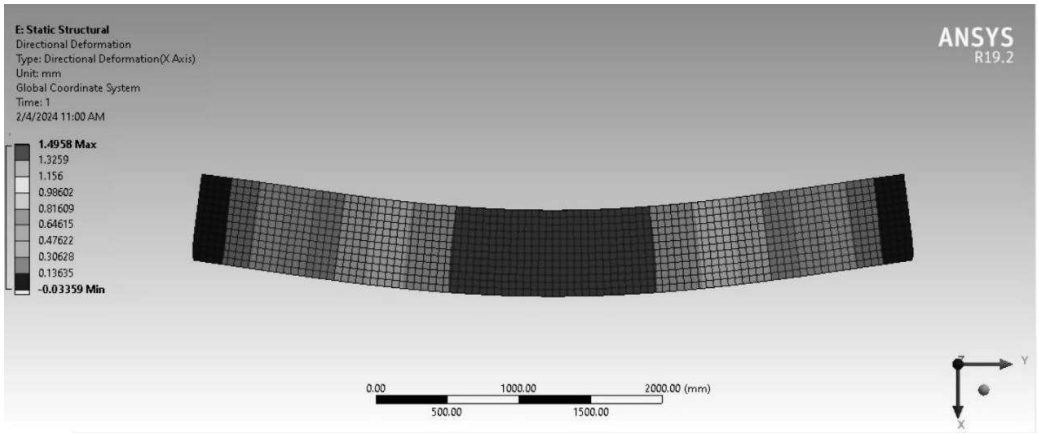


الشكل رقم (5): نموذج الجائز قبل التحميل وبعد التقطيع لعناصر منتهية.



الشكل رقم (6): نموذج التسليح ضمن الجائز قبل التحميل.

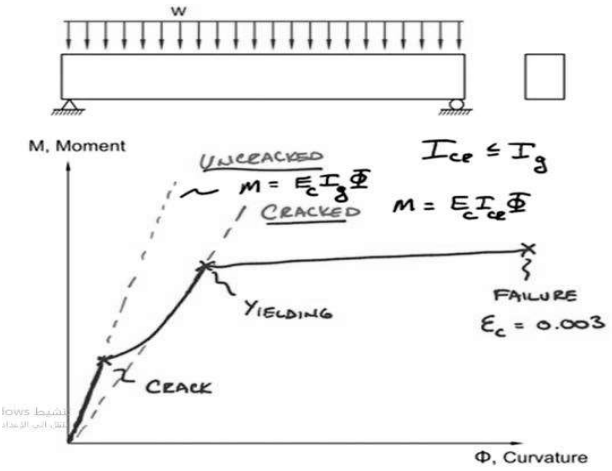
يظر الشكل (7) والجدول (4) قيمة التدلي في الجائز، وقيمة السهم (التدلي الأعظمي في منتصف الجائز) والبالغ قيمته 1.49 مم الناتج عن حمولة موزعة بانتظام على سطحه العلوي قيمتها 1.5 KN/m:



الشكل (7) مخطط التدلي والسهم للجائز بتأثير حمولة موزعة بانتظام 1.5 KN/m.

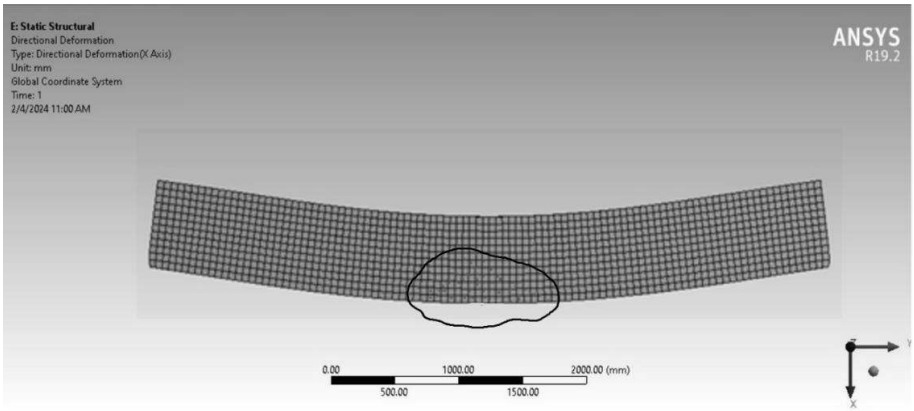
<u>دراسة التشقق :</u>

يستخدم مصطلح "عزم التشقق" أو cracking moment بشكل شائع في مجال الهندسة الإنشائية ويرتبط بسلوك الهياكل الخرسانية المسلحة. ويشير إلى اللحظة التي يبدأ فيها عضو خرساني، مثل العارضة أو البلاطة، في ظهور تشققات بسبب الأحمال المطبقة أو الضغوط الداخلية.



الشكل رقم (9): منحني التشقق للجائز البيتوني.

يظهر في علاقة منحني التشوه للجائز curvature مع العزم المطبق على الجائز في الشكل (9) [2]، كيفية بداية ظهور التشققات مع تزايد عزم الانعطاف في منتصف الجائز، عند النقطة 2 الموضحة بالمخطط الموضح عند النقطة CRACK في الشكل (9). يظهر الشكل (8) بداية ظهور التشققات في الجائز في أسفل ومنتصف الجائز والتي تسمى تشققات الإنعطاف.



الشكل رقم (8): التشققات في الجائز.

- **مقارنة النتائج :**

من خلال الحساب التقليدي [9–11] والنمذجة على برنامج ال ANSYS والحساب المقارن على السحابة الحسابية الرقمية WWW.Clearclacs.com تبين لنا مايلي :

- **نتائج حمولة التشقق على الإنعطاف :**

الجدول رقم (4): مقارنة نتائج حمولة تشقق الإنعطاف.

قيمة عزم الإنعطاف الموافق لبداية ظهور التشققات في الجائز		
بالحساب التحليلي	بالنمذجة على ال Ansys	بالحساب على برنامج Clearcalcs
68 KN.m	76 KN.m	74 Kn.m

نتائج حمولة التدلي والسهم :

يظهر الجدول (5) قيم التدلي من أجل عدد من الحمولات :

الجدول رقم (5): مقارنة نتائج السهم (التدلي الأعظمي في وسط الجائز).

الحمولة		قيمة التدلي بالحساب التحليلي بال مم	قيمة التدلي بالحساب من برنامج ال Ansys بال مم	قيمة التدلي بالحساب على موقع https://clearcalcs.com بال مم
مركزة في المنتصف KN	موزعة بانتظام KN/m			
	1.5	1.59	1.49 الشكل(7)	1.55
	5	5.9	5.7	6.2
	10	15.5	16	16.4
	16	24.9	25	25.9
	22	36.9	38	37.5
	38	58	60.9	60
	48	75.1	75.5	76
20		4.2	4.8	5.4
30		9	9.5	9.8
50		17.3	16.8	16.1

- **تحليل النتائج :**

من خلال الدراسة السابقة لقيم التدلي الأعظمي (السهم) في وسط الجائز وقيمة عزم التشقق CRACKING MOMENT والذي يكافئ القيمة الدنيا لعزم الانعطاف الموافق للحمولة الدنيا المطبقة على الجائز، والتي تسبب في بداية ظهور تشققات الانعطاف في أسفل ومنتصف الجائز، وكما تظهر النتائج الموضحة بالأشكال والجداول السابقة التقارب الكبير بين القيم التحليلية المحسوبة من المعادلات التقليدية [9-11] والقيم التي نحصل عليها من خلال النمذجة على ال Ansys والقيم التي نحصل عليها من خلال البرنامج الحسابي الإنشائي الموجود على موقع https://clearcalcs.com/ المعتمد عالمياً لدراسة الجوائز،

الخلاصة:

يلخص هذا القسم نتائج النمذجة والتحليل بالعناصر المنتهية لجائز بيتوني مسلح، باستخدام ANSYS الإصدار 14.5 وتبين لنا ما يلي:

1- إن برنامج ال ANSYS هو أداة فعالة لدراسة الجوائز البيتونية المسلحة تحت ظروف تحميل مختلفة ويعطي نتائج مطابقة للواقع بخطأ لم يتجاوز ال 6 % عن القيم التحليلية و 7 % عن قيم المأخوذة من برنامج الموقع CLEARCALCS.COM و ضمن الحالات التي تمت دراستها، وضمن حدود تنعيم التقطيع التي تم إعتمادها في بناء نموذج ال ANSYS ، وهنا من المعرف بأنه يمكن زيادة الدقة بتنعيم التقطيع لعناصر منتهية ولكن ذلك سيطيل زمن الحساب كثيرا مقابل تحسين دقة النتائج.

2- تكفي الدراسة السابقة لإثبات مصداقية الموديل الحاسوبي للجائز المذكور أعلاه وبنائا عليها يمكن دراسة سلوك هذا الجائز من أجل حالات تحميل معقدة يصعب الحصول على نتائجها تحليلياً.

3- تثبت لنا الدراسة السابقة إمكانية إعتماد النمذجة على ال ANSYS كأداة موثوقة لإجراء كافة الحسابات الإنشائية لأي جائز.

المراجع :

1- ANSYS, ANSYS User's Manual Release 11, ANSYS, Inc.

2- Hanson, J.M., Square openings in webs of continuous Joists, Portland Cement Association, 1969, pp: I-14.

3-Somes, N.F. and W.G. Corley, Circular openings in webs of continuous beams, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1974, pp: 359-398.

4- Neha, S. and Malipatil, M, "Parametric Study on Reinforced Concrete Beam using ANSYS", Civil and Environmental Research,6(8),pp-88-94, 2014.

5- Robert R. S. and Prince A. G., Finite Element Modelling on Behaviour of reinforced concrete beam-column joints retrofitted with carbon fibre reinforced polymer, International Journal of Civil and Structural Engineering, 1(3), 576-582, 2010.

6- Jayajothi P., Kumutha R. and Vijai K., Finite Element Analysis of FRP Strengthened RC Beams Using Ansys,*Asian Journal of Civil Engineering*, 14(4), .631-643, 2013.

7- Subramani T., Manivannan R., Kavitha M. Crack Identification in Reinforced Concrete Beams Using Ansys Software, Int. Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 4, Issue 6 (Version 6), pp.133-141, June 2014.

8- Nilson, A. H., Darwin, D., and Dolan, C. W.,*"Design of Concrete Structures, 13th Ed.,"* Mc Graw Hill, Singapore, 2004.

9-ACI 352R-02,"Recommendations for Design of Beam- Column Connections in Monolithic Reinforced Concrete Structures", American Concrete Institute, ACI-ASCE Committee 352, 2002.

10- ACI-ASCE committee 352, "Recommendations for Design of Beam- Column Joints in Monolithic Reinforcement Concrete Structures", ACI Journal, Proceedings Vol. 82, No. 3, May-June 1985, pp:266-283.

11- ACI 318-02, "Building Code Requirements for Structural Concrete", American Concrete Institute, 2002.

12- Musmar M. A., Rjoub M. I. and Abdel Hadi M. A. (2014).Nonlinear Finite Element Analysis of Shallow Reinforced Concrete Beams Using SOLID65 Element, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 9, No. 2, February.

13- Kent, D. C. and Park, R. (1971). Flexural Members with Confined Concrete, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, pp. 1969 - 1990.