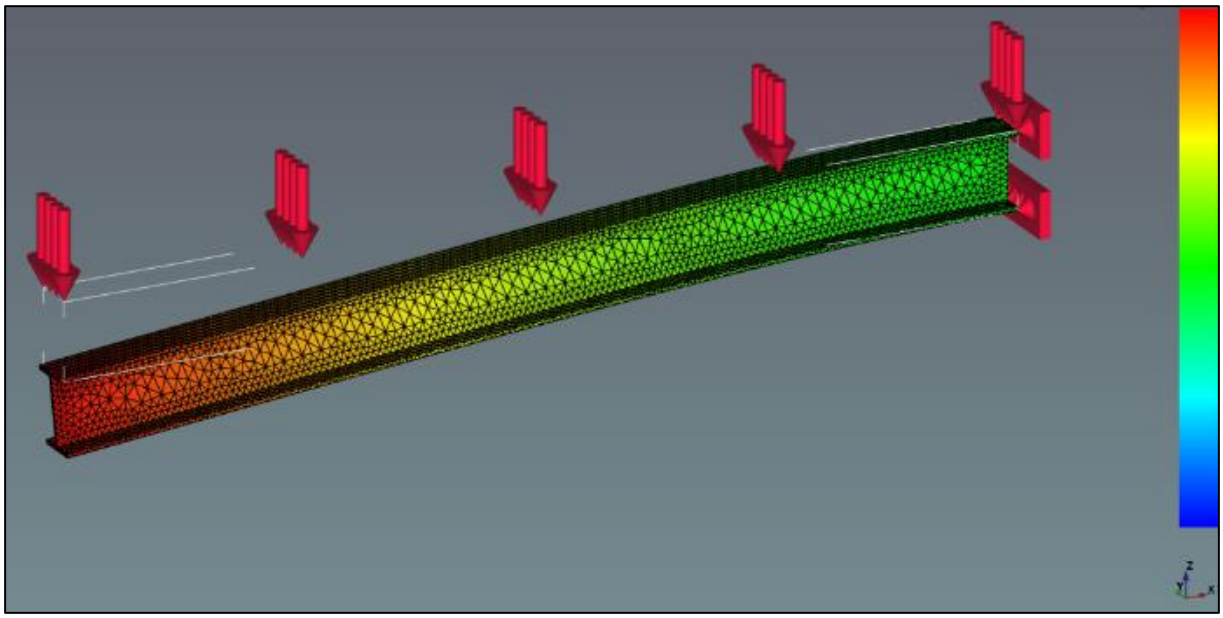
الجامعة الوطنية الخاصة

كلية الهندسة المدنية

نمذجة وتحليل العناصر الإنشائية باستخدام البرمجيات مفتوحة المصدر



إعداد: ليث العلواني

إشراف: الدكتورة فداء شريقي

الملخص:

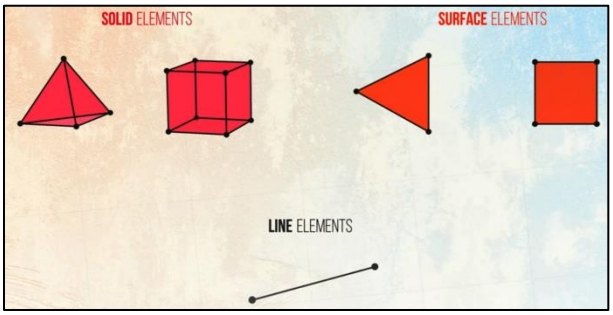
تهدف حلقة البحث هذه إلى تسليط الضوء على البرمجيات مفتوحة المصدر، ولا سيما بيئة FreeCAD في نمذجة وتحليل العناصر الإنشائية باستخدام طريقة العناصر المنتهية (Finite Element Method)، بشكل سهل وسريع وعالي الدقة، كما تسمح بمحاكاة ونمذجة النتائج، بالإضافة إلى استعراض البرمجيات المجانية المتوفرة بسهولة للأكاديميين في شتى المجالات العلمية ولا سيما الهندسة المدنية، لتقييم أداء التصاميم الهندسية وتطويرها قبل تنفيذها على أرض الواقع.

الكلمات المفتاحية:

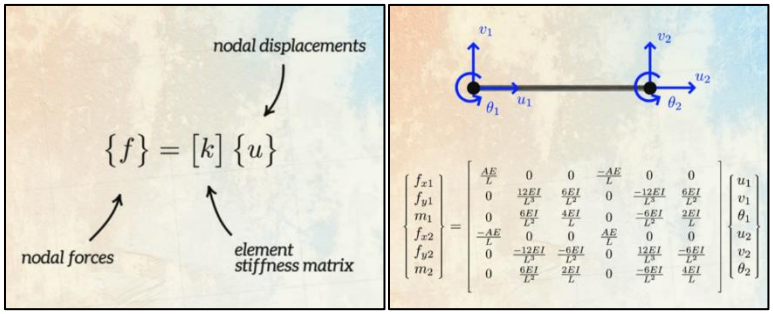
التحليل الإنشائي، طريقة العناصر المنتهية، FreeCAD/FEM/Netgen/CalculiX.

المقدمة:

عند دراسة وتصميم المنشآت الهندسية نواجه أحياناً تحليل عناصر معقدة الشكل أو ذات أحمال وخواص غير منتظمة، وحينها لا نستطيع تحليلها بالطرائق التقليدية، فلهذا نلجأ لطريقة العناصر المنتهية (المحدودة) والتي هي طريقة رياضية عددية تقسم العنصر إلى أجزاء صغيرة مرتبطة ببعضها بواسطة عُقد (Nodes) بعملية تسمى التجزئة (Discretization)، حيث يُعبّر عن درجات الحرية المحتملة في كل عقدة من انتقالات ودورانات بالشعاع {u}، وتكون القوى والعزوم في العنصر تساوي الشعاع {u} مضروباً بمصفوفة صلابة العنصر [k] التي تتعلق بخصائص المادة الهندسية والميكانيكية (معامل يونغ ومعامل بواسون ومعامل القص، وشكل العنصر ونوعه واتجاه عمله) ، [1]، [2]، يوضح الشكل (1) أنواع العناصر المنتهية المستخدمة في نمذجة العناصر الإنشائية بمختلف أنواعها؛ العناصر المنتهية الخطية بعُقدتين، والعناصر المنتهية المستوية وتكون بثلاث عُقد أو أربع، والعناصر المنتهية الحجمية وتكون بأربع عُقد أو ثمان، وتتسم هذه الطريقة بكثافة العمليات الحسابية وصعوبة تنفيذها يدوياً مما يبرز الحاجة لاستخدام الحاسب للمساعدة في عملية النمذجة والتحليل، وهنا يأتي دور برنامج FreeCAD، [3]، في تحليل العناصر الإنشائية باستخدام طريقة العناصر المنتهية.



الشكل (1): نوع العناصر المنتهية وعدد عُقدها، [4].



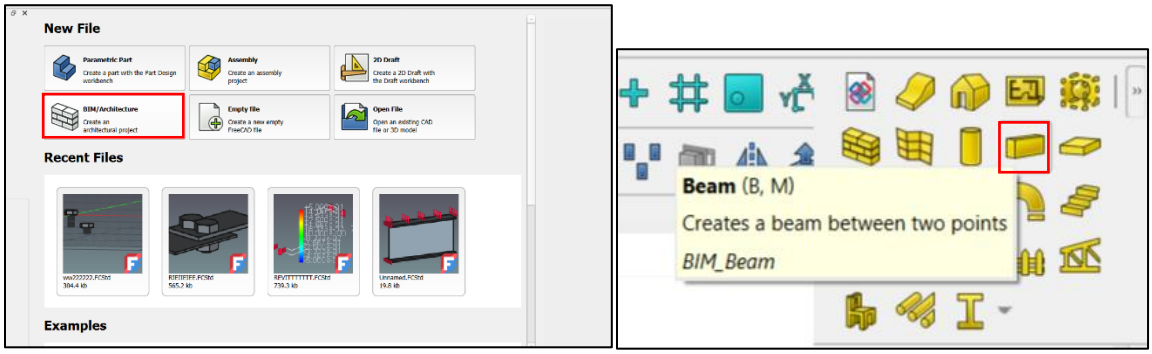
الشكل (2): طريقة العناصر المنتهية، [4].

الهدف من البحث:

عرض مثال تطبيقي تمت نمذجته وتحليله باستخدام برنامج FreeCAD (1.0.0)، وهو عبارة عن جائز ظفري فولاذي مقطعه العرضي من نوع (IPE 120) طوله 1.5m مطبق عليه حمولة موزّعة بانتظام قيمتها 3kN/m، ومن ثم إيجاد السهم والإجهادات الناتجة عن الحمولة المطبقة، بالإضافة إلى استعراض التطبيقات العملية وآفاق استخدام البرمجيات مفتوحة المصدر في مجال النمذجة والتحليل الإنشائي.

الخطوات:

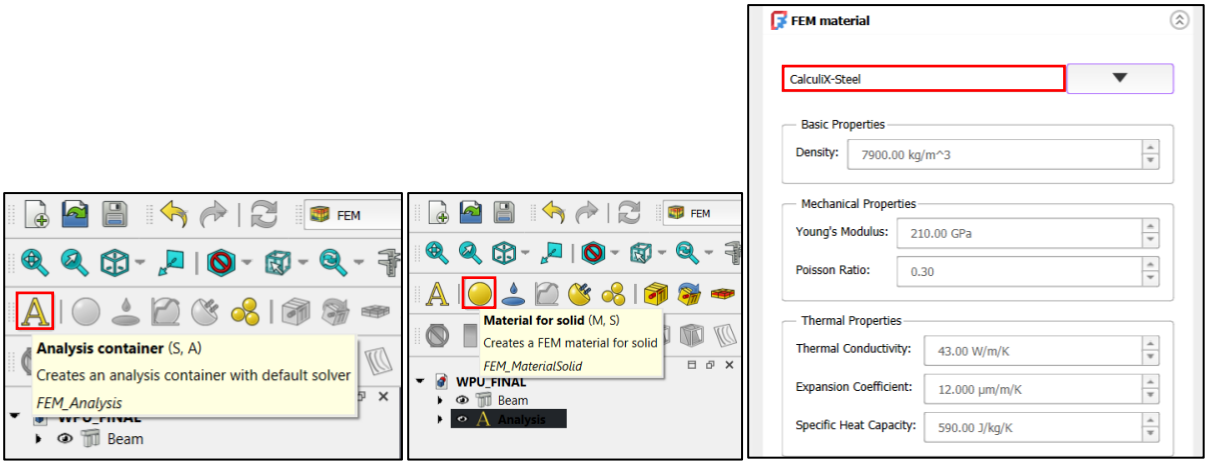
1- النمذجة: نفتح برنامج FreeCAD (يمكن تحميله من خلال الرابط: freecad.org/downloads)، ونختار الواجهة التي سوف نصمم ضمنها الجائز (BIM/Architecture)، وهي واجهة تختص بالتصميم المعماري والنمذجة الإنشائية، ومن الشريط العُلوي نختار (Beam)، ونلاحظ ظهور نافذة يمكن من خلالها تحديد توضع العنصر في جملة الإحداثيات، بالإضافة إلى شكل المقطع العرضي للجائز (IPE 120) المتوفر في مكتبة البرنامج، علماً أنه يمكن استيراد مقاطع أُخرى غير موجودة في البرنامج، ثم ندخل طول الجائز وهو 1.5m.



الشكل (3): النوافذ الخاصة بالنمذجة.

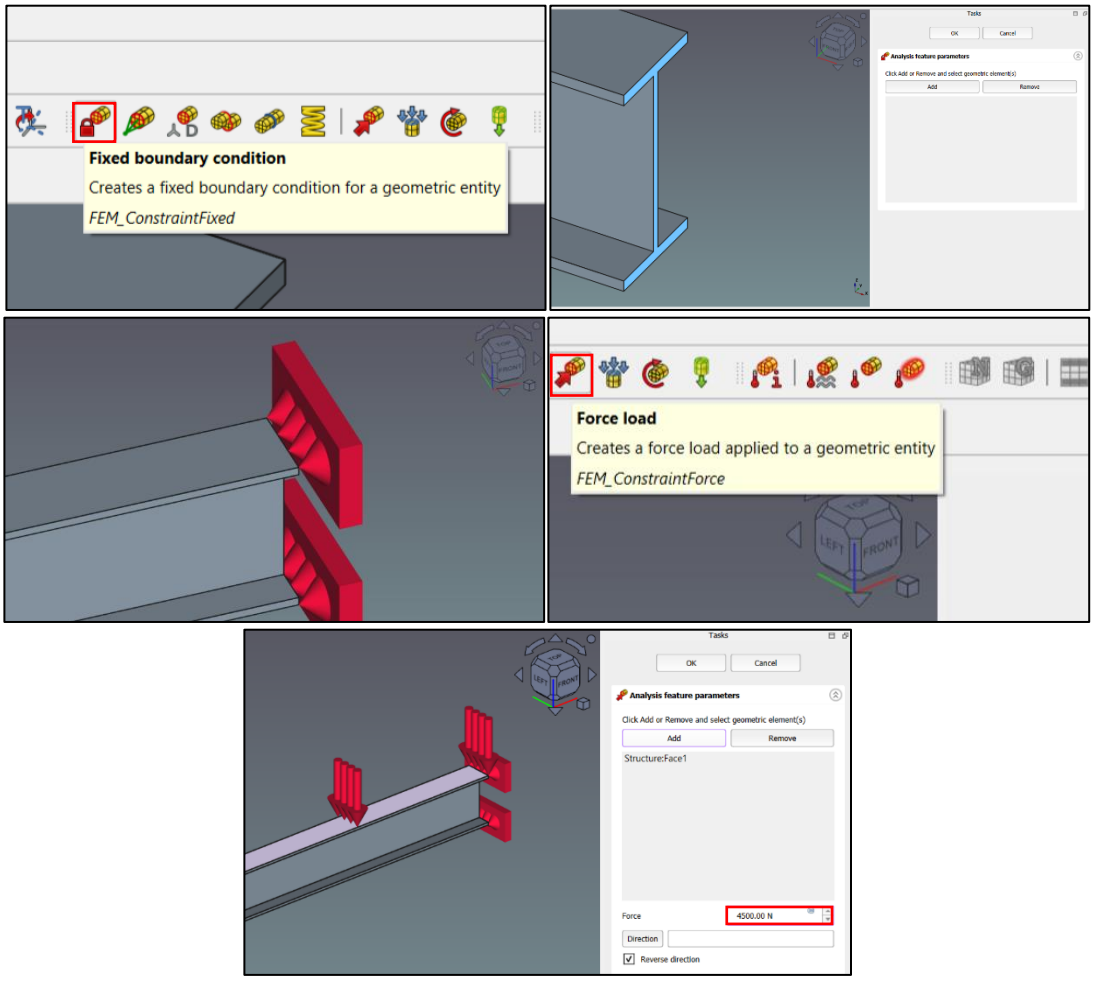
الشكل (4): نمذجة الجائز.

2- تعريف المواد وخصائصها من واجهة التحليل (FEM)، ثم من خيار (Analysis container) الذي يتيح للمستخدم اختيار تعليمة (Material for solid) التي تحدد نوع المادة الصلبة (CalculiX-Steel) نختار الفولاذ، ويتم إدخال الخصائص الأساسية والميكانيكية (كثافة الفولاذ ومعامل يونغ ومعامل بواسون، وعوامل التمدد الحراري) المرافقة له بشكل تلقائي ويمكن تعديلها يدوياً حسب الحاجة.



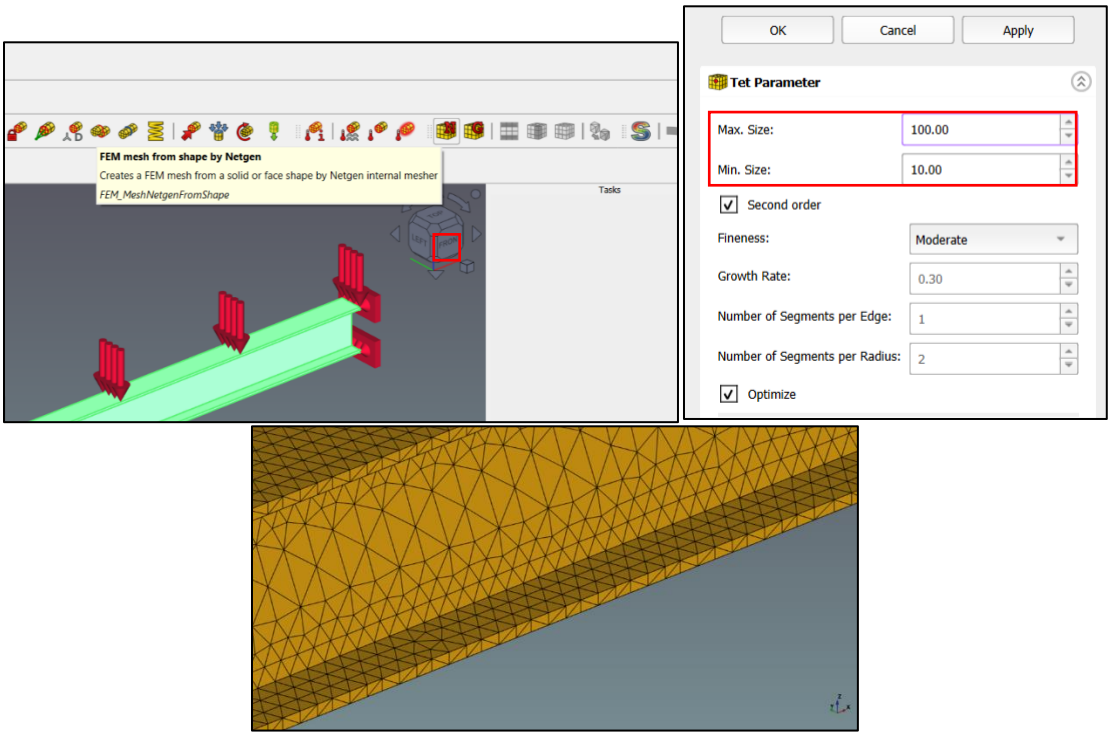
الشكل (5): تحديد الخصائص الأساسية والميكانيكية.

3- نمذجة القيود وشروط النهايات والحمولات المطبقة: حيث نضع الوثاقة (Fixed boundary condition) من الطرف الأيمن والحمل المطبق (Force load) على السطح العُلوي وهو حمولة موزّعة بانتظام قيمتها 3kN/m.



الشكل (6): نمذجة المساند والحمولات.

4- القيام بعملية التجزئة وتشكيل الشبكة (Mesh)، نختار خوارزمية (Netgen)، [5]، وهنا نرى إمكانية التحكم بأبعاد العناصر المنتهية (نختارها ضمن المجال 10-100mm)، علماً أنها تستخدم في تشكيل الشبكة شكل رباعي الوجوه الذي يحتوي على أربع عُقد بشكل افتراضي لقدرته على نمذجة العناصر بشكل دقيق وسريع، علماً أن زيادة عدد العناصر المنتهية تؤدي إلى زيادة عدد العُقد مما يسبب ازدياد حجم مصفوفة الصلابة وهذا يتطلب حجم ذاكرة أكبر من أجل المعالجة والتحليل وزمن أطول لتنفيذ عملية التجزئة و تشكيل الشبكة.



الشكل (7): عملية التجزئة.

5- و أخيراً: نستخدم أداة (CalculiX)، [6]، للقيام بعمليات التحليل، ويمكن تأمل النتائج المختلفة من انتقالات وإجهادات، مما يمكننا من دراستها ومقارنتها وتوقع سلوكها تحت شروط تحميل مختلفة وتصاميم متباينة.

فيما يلي نجد يدوياً قيمة الانتقال الكلي الناتج لنتأكد من صحة حساب البرنامج لها.

الانتقال الناتج عن الانحناء، [7]: $\partial bending = \frac{wL^4}{8EI} \approx 2.65mm$، حيث:

w: قيمة الحمولة الموزّعة (3kN/m).

L: طول الجائز (1.5m).

E: معامل يونغ (210GPa).

I: عزم العطالة في اتجاه تطبيق الحمولة، حيث تم الحصول عليه من البرنامج $(3.41 \times 10^{-6} m^4)$.

الانتقال الناتج عن القص، [7]: $\partial shear = \frac{kwL^2}{2GA} \approx 0.38mm$، حيث:

k: عامل تصحيح القص (1.2).

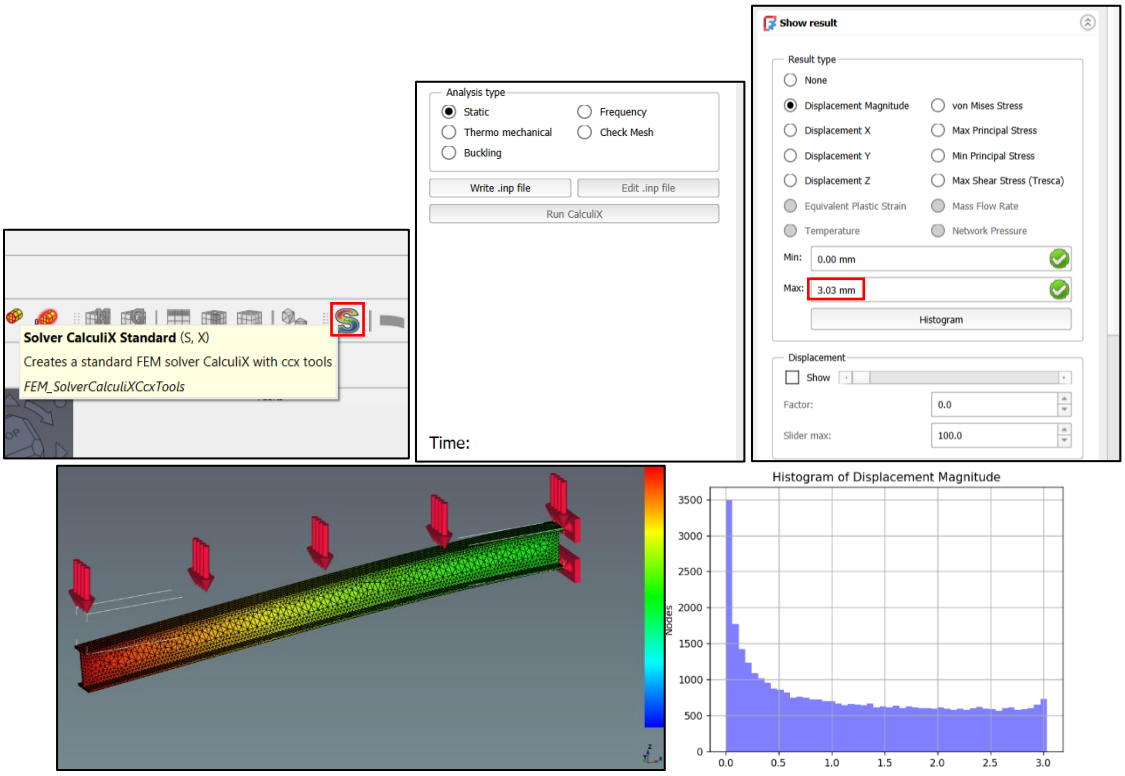
G: معامل القص (80.8GPa).

A: مساحة المقطع العرضي، حيث تم الحصول عليه من البرنامج $(13.2 \times 10^{-4} m^2)$.

الانتقال الكلي هو مجموع الانتقال الناتج عن الانحناء والانتقال الناتج عن القص، [7]:

$$\partial total = \partial bending + \partial shear = 2.65 + 0.38 \approx 3.03mm$$

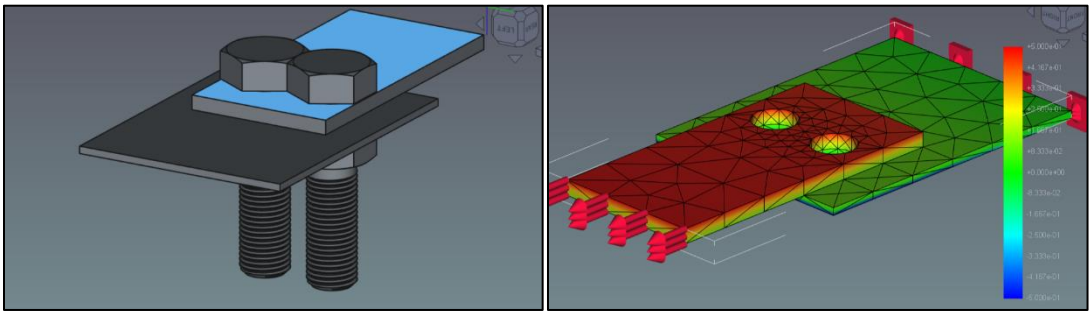
تم الحصول على الانتقال الأعظمي للجائز يدوياً وهو تقريباً 3.03mm، علماً أن البرنامج يأخذ باعتبار عوامل دقيقة قد لا تشملها الحسابات اليدوية، ونلاحظ تطابق هذه القيمة مع نتيجة البرنامج، وكذلك يمكن حساب الإجهادات بأنواعها المختلفة كما يبين الشكل (8).



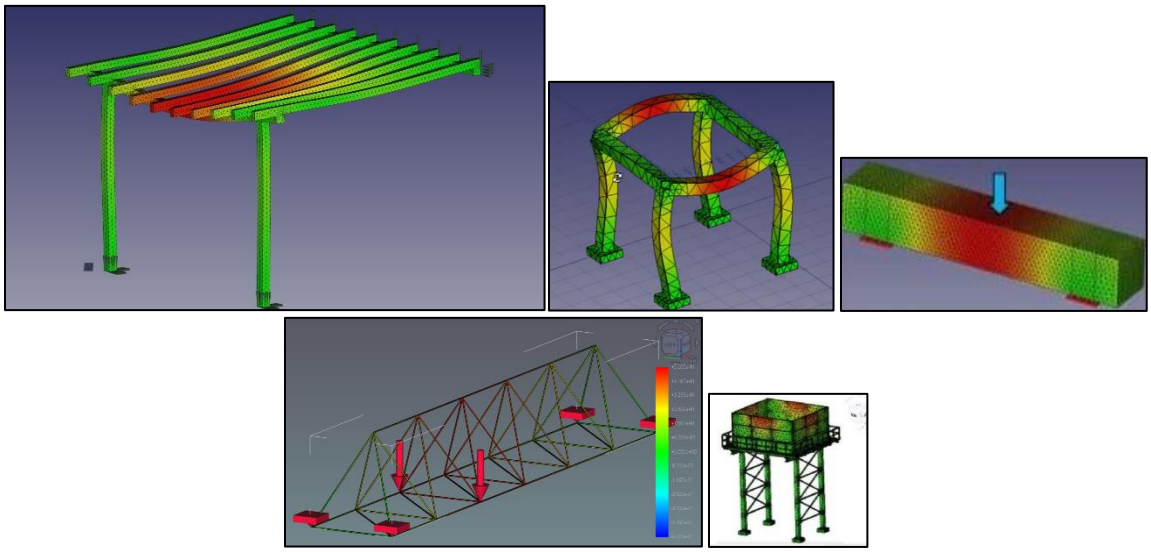
الشكل (8): الحصول على الانتقال.

الخاتمة:

فيما سبق استعرضنا البرمجيات مفتوحة المصدر، واستخدامها لطريقة العناصر المنتهية لتحليل عنصر إنشائي، مسلطين الضوء على واجهة المستخدم وطريقة التعامل معها، علماً أن هذا التطبيق العملي البسيط لم يغُص في بحر الإمكانيات التي تخزنها هذه البرمجيات بل تمثل مدخلاً يُعرف عنها، ولقد قمنا بنمذجة صفيحتين متصلتين بالبراشيم الموضحة بالشكل (9)، كما يوضح الشكل (10) مزيداً من التطبيقات العملية الموجودة على الإنترنت من المجتمع العلمي و مستخدمي FreeCAD.



الشكل(9): نمذجة وتحليل الصفيحتين.



الشكل (10): المزيد من الأمثلة التطبيقية.

المراجع:

[1]. صفو. م، ميكانيك الإنشاءات 2، منشورات جامعة حلب، 2012.

[2]. Bathe, K.-J. Finite Element Procedures, Prentice Hall, 1996.

[3]. FreeCAD Official Documentation.

[4]. The Efficent Engineer: Understanding the Finite Element Method.

[5]. Netgen Official Website.

[6]. CalculiX Official Docs.

[7]. W. C. Young, R. G. Budynas, and A. M. Sadegh, Roark's Formulas for Stress and Strain, 9th ed. McGraw-Hill, 2019, Table 8.1.