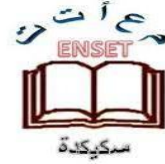




الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي
- سكيكدة -



قسم التكنولوجيا

التخصص: هندسة ميكانيكية

مذكرة التخرج لنيل شهادة أستاذ التعليم الثانوي بعنوان:

تطبيق معايير المقاومة في حساب الأعمدة (حالة عمود التحكم Redler).

من اعداد:

- العايب دنيا إيمان
 - بن منصور هديل ميلاد
- تحت اشراف الاستاذ:

- د. لعداسي نوري

لجنة المناقشة:

- | | | | |
|--------------------|-------------|-----------|-----------------------|
| • د. سعايدية عزيز | أستاذ محاضر | أ- رئيسيا | م. ع. أ. ت. ت. سكيكدة |
| • د. اساسفة براهيم | أستاذ محاضر | ب- مناقشا | م. ع. أ. ت. ت. سكيكدة |
| • د. لعداسي نوري | أستاذ محاضر | ب- مشرفا | م. ع. أ. ت. ت. سكيكدة |

السنة الجامعية 2024/2023

شكر وعرهان

مصداقا لقوله تعالى: " وإذا تأذن ربكم لئن شكرتم لأزيدنكم "

نحمد الله عز وجل أن وصلنا إلى هذه المرحلة من التوفيق والنجاح ووفقنا لإنجاز هذا العمل المتواضع وألهمنا الصبر على الصعاب، ورعى زهور حلمنا بفرحة التمام.

أما بعد نتقدم بجزيل الشكر للأستاذ " لعداسي نوري "

الذي لم يبخل علينا بنصائحه القيمة وإسهاماته وبصماته الواضحة في هذه المذكرة.

كل الشكر والعرهان لأساتذة لجنة المناقشة "إساففة إبراهيم" و "سعايدية عزيز" على دراسة وتقييم هذه المذكرة لتكون مرجعا صحيحا لطلبة السنوات المقبلة.

إلى أساتذة الهندسة الميكانيكية، شرف لنا أن نعطّر بذكركم صفحات مذكرتنا، فاليوم نحن نعلوا المنابر ونعانق العلياء، ونصل هنا بفضلكم وبفضل مجهوداتكم.

كل الشكر إلى مدير المدرسة العليا لأساتذة التعليم التكنولوجي سكيكدة السيد "بوجعدار".

كما نتقدم بجزيل الشكر والامتنان إلى رئيس قسم التكنولوجيا الأستاذ "صالح رحموني"

والشكر الموصول أيضا إلى كل العاملين بمصنع الاسمنت "حجر السود" وعلى رأسهم "مقراني فاروق" على جميع معلوماتهم القيمة ودعمهم لنا.

وأخيرا نشكر كل من أعاننا في عملنا، ولو بكلمة تشجيع ونتمنى الإفادة من خلال عملنا هذا.

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

وصلى الله على صاحب الشفاعة سيدنا محمد النبي الكريم ، وعلى آله وصحبه اجمعين
الحمد لله حبا وشكرا وامتنانا على البدء والختام، وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

وبكل حب اهدي ثمرة تخرجي

إلى الذي زين إسمي بأجمل الالقاب... إلى من علمني أن الدنيا كفاح و سلاحها العلم و المعرفة ... والدي
العزير.

إلى من احتضني قلبها قبل يديها وسهلت لي الشدائد بدعائها... إلى القلب الحنون والشمعة التي كانت لي نورا
في الليالي المظلمات ... سر قوتي ونجاحي أُمي الغالية.

إلى من ساندني بكل حب عند ضعفي وازاح عني طريقي المتعب ...إلى من شد الله به عضدي فكان خير
معين إلى أخي الغالي.

إلى رفيقة المشوار التي قاسمتني لحظاته حفظها الله ورعاها، زميلتي في العمل "هديل ميلاد "

إلى الذين كانوا كلهم سندي في مسيرتي الدراسية ...إلى كل من ساهم في تكويني إلى جميع أساتذتي.

إلى كل من أقسموا أن لا يبرحو حتى يبلغو...إلى كل من شرف بحمل رسالة التعليم.

دنيا إيمان

إهداء

الحمد لله وكفى والصلاة على الحبيب المصطفى وأهله ومن وفى أما بعد:

الحمد والشكر لله الذي وفقنا لتثمين هذه الخطوة في مسيرتنا الدراسية بمذكرتنا هذه ثمرة الجهد والنجاح بفضلته تعالى، وما أجمل أن يجود المرء بأغلى ما لديه والأجمل أن يهدي الغالي للأغلى.

إلى من كنت أرجو أن أنال شرف نجاحي هذا بجانبه، إلى من أحمل إسمه بكل فخر ومن علمني موته أن الدنيا كفاح وسلاحها العلم والمعرفة، إلى من رحل قبل أن يقطف ثمار جهده اهدي له عملي هذا محفوفاً بالدعوات.
إلى تلك الروح الطاهرة "والدي رحمه الله"

إلى من جعل الجنة تحت أقدامها واحتضني قلبها قبل يدها وسهلت لي الشدائد بدعائها، إلى القلب الحنون والشمعة التي كانت لي في الليالي المظلمات، إلى سر قوتي ونجاحي.
"والدتي حفظها الله"

إلى من قال فيهم: "سنشد عضدك بأخيك"، إلى ضلعي الثابت، ومن مد يده دون كل ولا مثل وقت ضعفي. يا من هونتم عليا كل مشقة. اخواني "رفيق"، "علي"، "يعقوب"
إلى ذلك الصدر الحنون الذي إحتواني لتهون علي كل صعاب. "عمي" الربيعي"

إلى أخواتي وحبيبات قلبي الاتي قدمن لي كل الحب والدعم "بسملة" "أمال"، "مليكة"، "كريمة"، "فوزية"، "روميساء"، "امال". ضمادات ضمانات، ضروريات، أنتن حضن وحرز وحب وسعادات
إلى من سرنا سويا ونحن نشق درب النجاح، زميلتي في العمل "دنيا إيمان"
إلى التي كلما تأملت فيها استحضرت عظمة نعمة ربي حينما أكرمني بها، الى من قضيت معها أجمل سنواتي
رفيقة سكني "روميساء"

إلى رفيقات دربي الاتي قدمت لي كل الحب والدعم، إليكن صديقاتي وعزيزاتي: "بوثينة"، "جيهان"، "عبير"، "أية"، "رقية"، "شروق"، "سمية"، "فدوى"، "إكرام"، "براءة"، "حكيمه".

هديل ميلاد

المخلص

تلعب الأعمدة الميكانيكية دورا حيويا في العديد من التطبيقات الصناعية، ويعتبر كلل الأعمدة أهم التحديات التي يواجهها المهندسين والمصممين نتيجة تعرضها الى اجهادات مختلفة (التواء، انحناء، التواء وانحناء معا ...الخ). هذا ما يؤثر سلبا على أدائها الوظيفي، لذلك فإن تحديد أقطار الأعمدة المناسبة والتحقق منها عملية جد مهمة في مرحلة التصميم وذلك قبل تصنيع الاجهزة والميكانيزمات، أو بعد ادائها لوظيفتها، لفهم آليات انهيارها وذلك من خلال التحقق من الحسابات.

يهدف العمل الذي قمنا به على مستوى هذه المذكرة أساسا الى تحديد العوامل الرئيسية المسببة لإنهيار " عمود التحكم Redler " اثناء اشتغاله في جهاز " ناقل الاسمنت Redler ". وهذا ما قادنا الى التحقق من أبعاد العمود لإختبار مدى قدرته على تحمل الاجهادات المطبقة عليه، وذلك بإجراء المحاكاة باستعمال برمجية solidworks، حيث سمحت لنا باختبار سلوكه افتراضيا قبل تصنيعه، وذلك من خلال تحديد وبطريقة سريعة مختلف المناطق الحرجة التي قد يحدث فيها تمركز الاجهادات وتكون سببا في تشوهه.

ولمراقبة أبعاد العمود والتحقق منها ما قادنا الى تطبيق طرق حسابية مختلفة ومقارنة دقة نتائجها. حيث توصلنا الى أن قطر العمود المتحصل عليه باستعمال طريقة "ASME" ($d=80.6 \text{ mm}$) يختلف نسبيا عن قطر المصنع ($d=150\text{mm}$)، بينما كانت القيم المحصل عليها بتطبيق كل من معياري DE-Soderberg " ($d=126.4 \text{ mm}$) و "Gerber" ($d=106.35 \text{ mm}$) قريبة منطقيا من القطر المراد التحقق منه، حيث خلصنا الى أن العمود يمكن أن يقاوم مختلف الاجهادات المطبقة عليه بابعاد المصنع بكل أمان .

الكلمات المفتاحية: كلل الأعمدة، محاكاة SolidWorks Simulation، طريقة ASME،

معياري DE-Soderberg، معيار Gerber.

Résumé

Les arbres mécaniques jouent un rôle essentiel dans de nombreuses applications industrielles. La fatigue des arbres est l'un des défis majeurs auxquels sont confrontés les ingénieurs et les concepteurs en raison des diverses contraintes (torsion, flexion, et combinaison de torsion et flexion... etc.) qui les affectent négativement sur leur performance fonctionnelle. Ainsi, la détermination et la vérification des diamètres appropriés des arbres sont des processus cruciaux à l'étape de conception, avant la fabrication des appareils et des mécanismes, ou après leur mise en service, pour comprendre les mécanismes de leur rupture en vérifiant les calculs.

Le travail que nous avons réalisé dans le cadre de ce mémoire vise principalement à identifier les facteurs principaux causant la fatigue de "l'arbre de commande Redler" pendant son fonctionnement dans le dispositif de "convoyeur de ciment Redler". Cela nous a amenés à vérifier les dimensions de l'arbre pour tester sa capacité à supporter les contraintes appliquées, en effectuant une simulation de l'arbre à l'aide du logiciel SolidWorks, ce qui nous a permis de tester son comportement virtuellement avant sa fabrication, en identifiant rapidement les différentes zones critiques où des concentrations de contraintes pourraient se produire et être à l'origine de sa déformation.

Pour surveiller et vérifier les dimensions de l'arbre, nous avons appliqué différentes méthodes de calcul et comparé la précision de leurs résultats. Nous avons constaté que le diamètre de l'arbre obtenu en utilisant la méthode ASME ($d = 80.26$ mm) diffère relativement du diamètre du constructeur ($d = 150$ mm), tandis que les valeurs obtenues en appliquant les critères de DE-Soderberg ($d = 126.4$ mm) et de Gerber ($d = 106.35$ mm) sont logiquement proches du diamètre donné. Nous avons conclu que l'arbre peut résister en toute sécurité aux différentes contraintes appliquées avec les dimensions fabriquées.

Mots clés : Fatigue des arbres, solidworks simulation, méthode d'ASME, Critère de DE-Soderberg, critère de Gerber.

Abstract

Mechanical shafts play a crucial role in many industrial applications. Shaft fatigue is one of the biggest challenges faced by engineers and designers. This effect is due to the various stresses (torsion, bending, combined torsion and bending, etc.). These stresses negatively impact their functional performance. Therefore, determining and verifying the appropriate shaft diameters is a crucial process in the design phase, either before the manufacturing of devices and mechanisms or after they have been put into service. For this, we must verify the calculations to understand the mechanisms of their failure.

The aim of this work is to determine the factors causing the failure of the "Redler control shaft" during its operation in the "Redler cement conveyor" device. For this reason, we verify the dimensions of the shaft in order to test its resistance ability to the applied stresses. For this, we Performed a simulation with the SolidWorks software. The goal of our simulation was to test the virtual behavior of "Redler control shaft" before manufacturing. The results show the various critical areas where stress concentration might occur and cause deformation.

To identify and verify the shaft dimensions, we apply different calculation methods in order to compare the efficiency of their results. We find that the shaft diameter obtained using the ASME method ($d=80.6$ mm) differs relatively from the manufactured diameter ($d=150$ mm). The values obtained by applying the DE-Soderberg method ($d=126.4$ mm) and Gerber method ($d=106.35$ mm), were logically close to the specified diameter. Finally, We conclude that the shaft with its manufactured dimensions can safely withstand the various applied stresses.

Keywords: Shafts failure, solidworks simulation, ASME method, DE-Soderberg criteria, Gerber criteria.

الفهرس

I.....	شكر و عرفان
II.....	إهداء
IV.....	الملخص
VII	الفهرس
XI.....	فهرس الأشكال
XV.....	فهرس الجداول
XVI.....	قائمة الرموز والإختصارات
XVIII.....	الإشكالية
1	المقدمة العامة
3.....	الفصل الأول: عموميات حول الأعمدة
4	1.I مقدمة
4.....	2.I تعريف العمود
4.....	3.I الفرق بين العمود ومحور الدوران
5.....	4.I انواع الاعمدة
8.....	5.I طرق التوصيل بين الاعمدة
8.....	6.I الاحمال المطبقة على الاعمدة
9.....	7.I تأثير عناصر الالة على العمود
10.....	8.I مبادئ و اعتبارات تصنيع العمود
10.....	1.8.I مبادئ تصميم العمود
10.....	2.8.I اعتبارات تصميم العمود
11	9.I المواد المستخدمة في تصنيع الاعمدة
11.....	10.I خصائص المواد المستخدمة في تصنيع الاعمدة
11.....	11.I تصنيع الاعمدة
12.....	12.I استخدامات الاعمدة
12.....	13.I خاتمة

13.....	الفصل الثاني: معايير المقاومة
14.....	1.II. مقدمة
14.....	2.II. الاحمال و الاجهادات المطبقة على العمود
14.....	1.2.II. الاجهادات المحورية (الشد والانضغاط)
15.....	2.2.II. اجهاد الانحناء
16.....	3.2.II. اجهاد الالتواء
17.....	4.2.II. الاجهادات المركبة
17.....	3.II. كلل الاعمدة
17.....	1.3.II. تعريف الكلل
17.....	2.3.II. عوامل تأثير الكلل
18.....	4.II. تمثيل الكلل
19.....	5.II. اجهاد حد التحمل S_e
20.....	6.II. المعاملات المؤثرة على اجهاد حد التحمل S_e
21.....	7.II. تركيز الاجهادات
21.....	1.7.II. تعريف تركيز الاجهادات
21.....	2.7.II. بعض حالات تركيز الاجهادات
22.....	8.II. حساب معاملات تركيز الاجهادات
23.....	1.8.II. معامل حساسية الشق q
24.....	2.8.II. حساب k_t و k_{tS}
26.....	9.II. معايير انهيار الكلل للاجهاد المتناوب والمتوسط
28.....	10.II. الإجهاد المكافئ ل " Von Mises–Hencky "
29.....	11.II. طرق ومعايير حساب قطر العمود
34.....	12.II. الخاتمة

35.....	الفصل الثالث: عموميات حول برمجية Solidworks
36.....	1.III مقدمة
36.....	2.III تعريف برنامج SolidWorks
36.....	3.III أيقونة برنامج solidworks
36.....	4.III وظيفة برنامج solidworks
37.....	III 1.4 أسلوب قطعة.....
38.....	III 2.4 أسلوب تجميع.....
38.....	III 3.4 أسلوب تمثيل ثنائي الأبعاد.....
39.....	III 5 واجهة المستخدم.....
40.....	III 1.5 أشرطة القوائم.....
40.....	III 2.5 شريط الأدوات.....
41.....	III 3.5 شجرة التصميم.....
41.....	III 4.5 مساحة الرسم.....
42.....	III 5.5 جزء المهام.....
43.....	III 6 العرض والتوجيه.....
44.....	III 7 ركن التأكيد.....
44.....	III 8 نظامي رسم الإسقاطات الاورتوغرافية.....
46.....	III 9 معايير الصياغة والوحدات.....
46.....	III 10 المحاكاة باستخدام برنامج Solidworks.....
46.....	III 11 خطوات تفعيل Solidworks Simulation.....
48.....	III 12 خطوات المحاكاة.....
54.....	III 13 خاتمة.....
55.....	الفصل الرابع: الجانب التطبيقي.....
56.....	1.IV مقدمة.....
56.....	2.IV نبذة تاريخية عن مصنع الاسمنت حجار السود.....

57.....	1.2.IV بطاقة فنية عن المجمع الصناعي للإسمنت GICA
58.....	3.IV مهام فريق جيكا
58.....	4.IV الموقع الجغرافي لمصنع الاسمنت حجار السود
58.....	5.IV عرض المصنع
60.....	6.IV الهيكل التنظيمي لمصنع الاسمنت حجر السود
61.....	7.IV المعطيات التقنية
61.....	1.7.IV تحديد الموقع
61.....	2.7.IV عمود التحكم Redler
62.....	3.7.IV الخصائص الكيميائية و الميكانيكية لمادة العمود
63	8.IV تنفيذ المحاكاة وحساب قطر العمود
63.....	1.8.IV تنفيذ المحاكاة
63	1.1.8.IV تصميم العمود بأسلوب ثلاثي الابعاد (3D)
66.....	2.1.8.IV تصميم العمود بأسلوب ثنائي الابعاد (2D)
68.....	3.1.8.IV مراحل المحاكاة
71.....	4.1.8.IV : نتائج المحاكاة
74.....	5.1.8.IV الاستنتاج
74.....	2.8.IV حساب القطر بتطبيق معايير المقاومة
74.....	1.2.8.IV نمذجة القوى وحساب ردود الأفعال على العمود
75.....	2.2.8.IV حساب وتمثيل الجهود القاطعة وعزوم الانحناء
77.....	3.2.8.IV حساب عزم الالتواء
78.....	4.2.8.IV حساب قطر العمود
82.....	5.2.8.IV تحليل النتائج
83.....	9.IV خاتمة
84	الخاتمة العامة
85.....	قائمة المراجع

فهرس الأشكال

الفصل الأول :عموميات حول الأعمدة.

- شكل I.1: عمود مسنن..... 4
- شكل I.2: عمود أسطواني..... 5
- شكل I.3: عمود بأقطار متدرجة..... 5
- شكل I.4: عمود مرفقي..... 5
- شكل I.5: عمود الحديبات..... 6
- شكل I.6: عمود مرن..... 6
- شكل I.7: عمود مخدد..... 7
- شكل I.8: عمود مفصلي..... 7
- شكل I.9: عمود مجوف..... 7
- شكل I.10: قوارن..... 8
- شكل I.11: تمثيل الاحمال المؤثرة على العمود..... 9
- شكل I.12: تركيب لعناصر نقل الحركة..... 10

الفصل الثاني : معايير المقاومة.

- شكل II.1: عمودان خاضعان لإجهاد محوري 14
- شكل II.2: عمود خاضع لإجهاد الانحناء..... 15
- شكل II.3: عمود مصمت خاضع لإجهاد الالتواء..... 16
- شكل II.4: منحنى تغير الاجهادات..... 18
- شكل II.5: منحنى حد التحمل..... 19
- شكل II.6: بعض حالات تركيز الاجهادات في الاعمدة..... 22
- شكل II.7: قيم (q) في حالة الاجهاد الناظمي..... 23
- شكل II.8: قيم (q) في حالة الاجهاد المماسي..... 23
- شكل II.9: عمود به كتف خاضع لإجهاد الشد..... 24
- شكل II.10: عمود به كتف خاضع لإجهاد الانحناء..... 24

- شكل II.11: عمود به كتف خاضع لإجهاد الالتواء 24
- شكل II.12: عمود به اخدود خاضع لاجهاد الشد..... 25
- شكل II.13: عمود به اخدود خاضع لاجهاد الانحناء..... 25
- شكل II.14: عمود به اخدود خاضع لاجهاد الالتواء..... 25
- شكل II.15: عمود به ثقب عرضي خاضع لاجهاد الانحناء..... 26
- شكل II.16: عمود به ثقب عرضي خاضع لاجهاد الالتواء..... 26
- شكل II.17: معايير مختلفة لانهايار الكلال..... 27
- شكل II.18: مخطط Soderberg يوضح خط الأمان (AB)..... 31

الفصل الثالث : عموميات حول برنامج Solidworks.

- شكل III.1: ايقونة برنامج solidworks..... 36
- شكل III.2: تحديد أسلوب العمل..... 37
- شكل III.3: واجهة أسلوب قطعة..... 37
- شكل III.4: أسلوب تجميع..... 38
- شكل III.5: واجهة أسلوب تمثيل ثنائي الابعاد..... 39
- شكل III.6: واجهة المستخدم..... 40
- شكل III.7: شريط القوائم..... 40
- شكل III.8: شريط أدوات الرسم..... 41
- شكل III.9: شجرة التصميم..... 41
- شكل III.10: مساحة الرسم..... 42
- شكل III.11: جزء المهام..... 43
- شكل III.12: أدوات العرض والتوجيه..... 44
- شكل III.13: ركن التأكيد..... 44
- شكل III.14: اسقاط الزاوية الثالثة..... 45
- شكل III.15: اسقاط الزاوية الاولى..... 45
- شكل III.16: تنشيط خاصية المحاكاة من خلال شريط القوائم..... 47
- شكل III.17: تفعيل خاصية المحاكاة من خلال الاعدادات..... 47

- شكل III.18: واجهة بدا التحليل.....48
- شكل III.19: واجهة تطبيق المواد.....49
- شكل III.20: واجهة تطبيق التثبيت.....50
- شكل III.21: واجهة تطبيق الاحمال.....51
- شكل III.22: واجهة ربط التجميع.....52
- شكل III.23: واجهة نتائج اجهاد (Von mises).....53
- شكل III.24: واجهة نتائج الازاحة (Dépl. Résultant).....53
- شكل III.25: خطوات تعريف مخطط معامل الامن.....54
- الفصل الرابع : الجزء التطبيقي.**
- شكل IV.1: مدخل مصنع الاسمنت.....57
- شكل IV.2: الهيكل التنظيمي لمصنع الإسمنت حجر السود.....60
- شكل IV.3: جهاز ناقل الاسمنت Redler.....61
- شكل IV.4: موقع عمود التحكم Redler في النظام.....62
- شكل IV . 5: تحديد أسلوب العمل.....63
- شكل IV. 6: رسم العمود.....64
- شكل IV. 7: تحديد ابعاد العمود.....64
- شكل IV. 8: تجسيم العمود حول المحور.....65
- شكل IV. 9: انجاز الخوابير على العمود.....65
- شكل IV.10: انجاز الثقب على العمود.....66
- شكل IV.11: رسم ثنائي الابعاد للعمود.....67
- شكل IV.12: إختيار دراسة جديدة في واجهة محاكاة Solidworks68
- شكل IV.13: تحديد مادة صنع العمود.....69
- شكل IV.14: تثبيت العمود.....69
- شكل IV. 15: تطبيق القوى على العمود.....70
- شكل IV.16: ربط تجميع العمود.....71
- شكل IV.17: اجهاد Vou Mises.....72

- شكل IV. 18: نتائج الازاحة للعمود.....73
- شكل IV. 19: نتائج التشوه 73
- شكل IV. 20: رسم تخطيطي للقوى المؤثرة على العمود.....74
- شكل IV. 21: تمثيل الجهود القاطعة وعزوم الانحناء على العمود.....77

فهرس الجداول

الفصل الثاني: معاير المقاومة.

جدول 1.II: المعاملات a و b 20

جدول 2.II: معامل المصادقية..... 21

جدول 3.II: قيم عوامل التحميل حسب " ASME " 31

الفصل الرابع: الجزء التطبيقي.

جدول 1.IV: بطاقة فنية لمصنع " جيكا " 57

جدول 2.IV: التركيب الكيميائي للصلب C45 62

جدول 3.IV: الخصائص الميكانيكية للصلب C45 62

جدول 4.IV: حد المرونة والاجهاد الأقصى للفولاذ الكربوني 78

قائمة الرموز

التشوه النسبي او الانفعال	ε	الاجهاد الناظمي للشد او الانضغاط (N/mm^2)	σ_n
إجهاد الالتواء المماسي المتناوب (N/mm^2)	τ_a	معامل يونغ (N/mm^2)	E
إجهاد الالتواء المماسي المتوسط (N/mm^2)	τ_m	عزم الانحناء (N.m)	M, M_f
الاجهاد الأقصى للقص (N/mm^2)	σ_c	العزم التربيعي القطبي للانحناء (mm^4)	I_0
معامل حساسية الشق	q	الاجهاد المماسي للالتواء (N/mm^2)	τ_t
اجهادات أولية (N/mm^2)	τ_0, σ_0	عزم الالتواء (N.m)	T, M_t
زاوية الانحراف (rad)	φ	العزم التربيعي القطبي للالتواء (mm^4)	J_0
عزم الانحناء المتناوب (N.m)	M_a	السرعة الزاوية (rad/s)	ω
عزم الانحناء المتوسط (N.m)	M_m	إجهاد الانحناء الناظمي (N/mm^2)	σ_f
معامل الامن	FS	الاجهاد الناظمي المتوسط (N/mm^2)	σ_m
معامل تاثير حالة السطح	Ka	الاجهاد الناظمي المتناوب (N/mm^2)	σ_a
معامل درجة الحرارة	Kb	حد التحمل (N/mm^2)	S_e
معامل تاثير الاحمال	Kc	حد التحمل لعينة تجربة مور (N/mm^2)	S_ϵ
معامل درجة الحرارة	Kd	حد الخضوع (N/mm^2)	S_{ut}
معامل الموثوقية	Kf	معامل تركيز اجهاد الكتل في حالة الانحناء	K_f
معامل التاثيرات المختلفة	Ke	معامل تركيز اجهاد الكتل في حالة الالتواء	K_{fs}
عزم الانحناء المتناوب (N.m)	M_a	حد المرونة (N/mm^2)	S_y
عزم الالتواء المتناوب (N.m)	M_m	مقاومة الكتل المتوسط (N/mm^2)	S_m
عزم الالتواء المتوسط (N.mm)	T_m	مقاومة الكتل المتناوب (N/mm^2)	S_a
عزم الالتواء المتناوب (N.mm)	T_a	معامل تركيز الاجهاد النظري في حالة الانحناء	K_t
إجهاد القص الأقصى المقبول (N/mm^2)	$\sigma_{max adm}$	معامل تركيز الاجهاد النظري في حالة الالتواء	K_{ts}

قائمة الإختصارات

المنظمة الدولية للتقييس	ISO	التصنيع المدعم بالحاسوب	FAO
المعهد البريطاني للمعايير	BSI	التصميم المدعم بالحاسوب	CAO
المعايير الصناعية اليابانية	JIS	المعهد الوطني الأمريكي للتقييس	ANSI
المعهد الألماني للتقييس	DIN	تحليل العناصر المتناهية	FEA

الإشكالية

تعد الأعمدة الدوارة من أهم العناصر الأساسية في الأجهزة الميكانيكية. نتيجة وظيفتها الأساسية المتمثلة في نقل الحركة الدورانية والاستطاعة الميكانيكية في مختلف الآلات، لذلك فهي تتعرض إلى إجهادات واحمال متنوعة تؤثر على مقاومتها، كفاءتها وادائها الجيد في الميكانيزمات، في بعض الحالات، قد تؤدي هذه الإجهادات إلى انهيارها أثناء عملها.

يهدف العمل الذي سنقوم به من خلال مذكرتنا هذه إلى تجسيد مختلف المعارف النظرية التي تلقيناها طيلة سنوات التكوين وتطبيقها في الجانب العملي، وهذا من خلال دراسة ظاهرة الكلال "عمود التحكم Redler".

يعتبر "عمود التحكم Redler" جزءاً أساسياً في جهاز "ناقل الاسمنت Redler" بمصنع الاسمنت حجر السود. هذا العمود كان قد تعرض للانحيار أثناء ادائه الوظيفي وقبل بلوغه مدة الحياة اللازمة. وهذا ما دفعنا إلى إجراء دراسة شاملة حول مختلف الإجهادات المؤثرة عليه وتحديد العوامل الرئيسية التي أدت إلى انهياره، وذلك بالتحقق من ابعاده المحددة من قبل المصمم، بتطبيق طرق مختلفة، حيث تعتمد كل واحدة منها على معايير محددة.

المقدمة العامة

تحتل أعمدة الدوران باهتمام كبير خلال عمليات التصميم والتصنيع، كونها تؤدي وظائفها تحت أحمال ميكانيكية عالية. ونظرا لأهميتها نجدها تستخدم في تطبيقات واسعة في الصناعات الميكانيكية المختلفة، منها المحركات والمعدات الصناعية، ونقل الطاقة في المولدات الكهربائية، وغيرها من الآلات الميكانيكية. إن قدرتها على تحمل الإجهادات الشديدة تجعلها أكثر عرضة لخطر الفشل لهذا تم تكريس جهود كبيرة لدراسة وتحليل كفاءتها حيث يلعب التحليل والفهم الدقيق لمعايير كلل الأعمدة دوراً حاسماً في تصميم الهياكل الهندسية وصيانتها.

تم تقسيم مذكرتنا الى أربع فصول رئيسية: يقدم الفصل الأول بعض العموميات حول الأعمدة، بما في ذلك أنواعها، طرق تصنيعها، المواد المستخدمة في صنعها وخصائص هذه الأخيرة، بالإضافة الى استخداماتها وأهم الاعتبارات التي يمكن أخذها أثناء تصنيعها.

أما الفصل الثاني فكان مخصص للتعرف على مختلف الطرق والمعايير المستخدمة في تحديد وحساب اقطار الأعمدة، نذكر منها طريقة: ASME ، طريقة Goodman ، معيار DE-Soderberg ، معيار Gerber... الخ، كما تحدثنا فيه عن ظاهرة كلل الأعمدة وتعرفنا على مناطق تمركز الاجهادات ومدى تأثيرها على مقاومة الأعمدة. في الفصل الثالث تم فيه تقديم لبرمجية Solidworks، وذلك بإبراز مختلف الأدوات التي يحتويها من أدوات إنشاء، أدوات وظائف، وأدوات عرض دون ان ننسى الاستخدام الآخر المتمثل في انجاز المحاكاة للقطع ثلاثية الابعاد، بتطبيق مختلف الاحمال عليها ومن ثم تحديد مناطق تمركز الاجهادات وتحديد قيم الانتقالات.

الفصل الأخير خصصناه للعمل التطبيقي و هو الجزء الأهم في دراستنا هذه، حيث قمنا فيه في البداية بتقديم لمحة عن مصنع الاسمنت حجر السود اين قمنا باجراء تدريب ميداني لنتعرف على اهم وحداته الانتاجية و هيكله لنركز على عمود التحكم redler قيد الدراسة ونتعرف على موقعه ووظيفته في جهاز ناقل مسحوق الإسمنت، الذي تعرض للإنهييار قبل انتهاء مدة حياته الافتراضية، هذا مادفعنا لمعرفة العوامل التي ادت الى ذلك.

استخدام برنامج SolidWorks Simulation مكنتنا بعد إنشاء نموذج ثلاثي وثنائي الأبعاد للعمود ثم إجراء المحاكاة بإخضاعه لتأثير الأحمال التي سمحت لنا بتحديد المناطق الحرجة الأكثر عرضة للتشوه . قصد التحقق من قطر العمود باستخدام طريقة ASME ، DE-Soderberg و Gerber قمنا بحساب عزم الإنحناء و الإلتواء ،وأخيرا مقارنة النتائج المحصل عليها لقطر العمود.

انهينا مذكرتنا هذه بخاتمة عامة كنا قد استعرضنا فيها مختلف النتائج المحصل عليها ، واستخلاص العوامل الرئيسية المسببة في انهيار العمود.

لقد اجريت العديد من الدراسات في هذا المجال نذكر منها على سبيل المثال ولا للحصر دراسة بعنوان " تحديد معاملات الأمان بطريقة S-N باستخدام طريقة Gerber، Goodman و Soderberg " للمؤلف "José Eduardo Salgueiro Lima" [1]، حيث قام بدراسة مستعملا ثلاثة معايير للكلل، وهي معايير Goodman، Soderberg و Gerber، تم معالجة في هذه الدراسة مشكلة افتراضية لعمود التثبيت للمخمد الهيدروليكي لطائرة صغيرة لبناء منحنيات المعايير المستخدمة، وكذلك لتحديد معاملات كل معيار. حيث خلص الى ان معيار Goodman هو الذي اعطى نتائج اكثر دقة للتنبؤ بظاهرة الكلل.

دراسة اخرى بعنوان " مقارنة بين منهجيات تحليل كلل الاعمدة " للمؤلف " S.M.O.Tavares " و آخرون [2]، حيث قام باستخدام طريقة ASME و طريقة DIN 743 من اجل التحقق من قطر عمود فولاذي واجراء مقارنة بين النتائج المحصل عليها بكلتا الطريقتين. حيث خلص الى ان هناك اختلاف كبير في قيمة العوامل المؤثرة على حد التحمل و خاصة عامل حالة السطح و النتائج المحصل عليها بطريقة DIN 743 هي الاقرب و الاكثر شمولاً حسب المؤلف.

الهدف الرئيسي من العمل الذي قمنا بانجازه في هذه المذكرة هو التحقق من قطر عمود التحكم redler باستخدام معايير مختلفة قصد معرفة مدى مقاومته للاجهادات المطبقة عليه، بالإضافة الى تحديد العوامل التي ادت الى انهياره قبل انتهاء مدة الحياة الازمة.

الفصل الأول

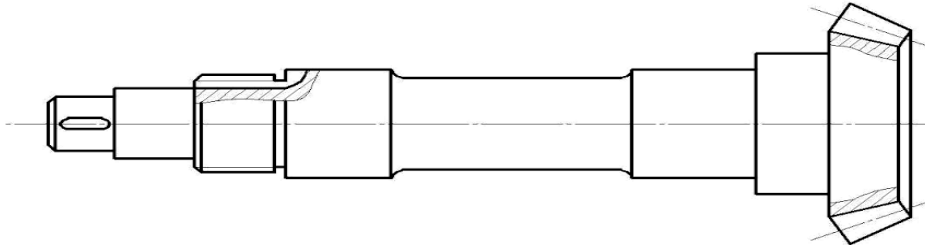
عموميات حول الأعمدة

1.1 مقدمة :

يُعد عمود الدوران أحد العناصر الأساسية في الآلات والمعدات الصناعية فهو يلعب دور العمود الفقري للماكينة، يستخدم في العديد من المحركات والأجهزة الميكانيكية عادة لنقل الحركة الدورانية. في هذا الفصل سنعرض بعض المفاهيم العامة حول الأعمدة، نتعرف على أنواعها وطرق التوصيل بينها والاحمال المؤثرة عليها، وبعدها سنتطرق الى تأثير عناصر الالة على الاعمدة واعتبارات تصميمها، ومن ثم ننتقل إلى مواد صنعها والخصائص التي تتميز بها هذه المواد، ونكتشف طرق تصنيعها وفي الأخير ننهي هذا الفصل بذكر مختلف استخدامات الأعمدة.

2.1 تعريف العمود :

العمود هو عبارة عن عنصر أو جزء من الالة، عادة ما يكون ذو مقطع عرضي دائري، ينقل الحركة والاستطاعة الميكانيكية (عزم الدوران) إلى مختلف العناصر المثبتة عليه كالتروس، البكرات والعجلات المسننة... الخ. اثناء عمل الالة تنشأ احمال تؤثر على العمود نتيجة هذه العناصر. كما يتم توجيهه بمحامل تكون مثبتة على الهيكل [3,4].



شكل 1.1: عمود مسنن.

3.1 الفرق بين العمود ومحور الدوران :

تتشابه الاعمدة و المحاور في الشكل العام ،فكل منها يتم تصنيعه على هيئة قضبان اسطوانية بقطر واحد او بأقطار متدرجة كما ان كل منهما يمكن ان يكون مصمما أو مجوفا، لكن يكمن الاختلاف في وظيفة كل منهما، حيث تستخدم الأعمدة في نقل عزم الدوران لذلك فانه عند إجراء حسابات التصميم عليها يتم حساب اجهاد الالتواء الناتج عن الدوران، إجهاد الانحناء الناتج عن وزن الأجزاء المركبة عليها و وزن العمود نفسه، تصمم الأعمدة في الآلة بحيث تحمل الأجزاء وهي إما في وضع رأسي أو أفقي أو مائل حسب ظروف التصميم، أما المحاور فهي غير مسؤولة عن نقل عزم الدوران وعند إجراء حسابات التصميم عليها يتم حساب إجهاد الانحناء فقط [5] .

4.I انواع الاعمدة :

توجد عدة انواع من الاعمدة، نميز منها:

• اعمدة اسطوانية :

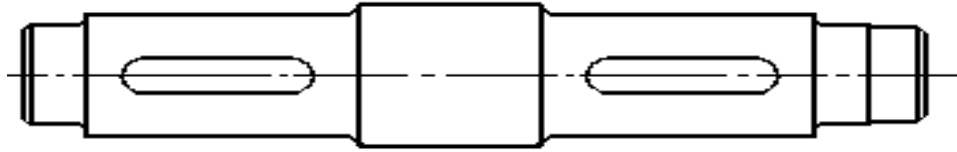
يعد العمود الاسطواني المستقيم من أبسط انواع الاعمدة وانتاجه من الامور النادرة، حيث يزيد من صعوبة تثبيت الاجزاء المركبة عليه، كما يجعل عمليات الفك والتركيب أكثر تعقيدا. شكل I.2، [5].



شكل I.2: عمود أسطواني.

• اعمدة بأقطار متدرجة :

يمكن ان تكون هذه الاعمدة بتدرجات اسطوانية او مخروطية، تستخدم كأعمدة دوران في المخارط ، الفرائز وغيرها من ماكينات التشغيل، حيث تثبت الركائز والتروس المختلفة على الاقطار المتدرجة، بالإضافة لقدرتها العالية على امتصاص الاجهادات الميكانيكية الناتجة عن ادائها الوظيفي. شكل I.3، [5].



شكل I.3: عمود بأقطار متدرجة.

• الاعمدة المرفقية :

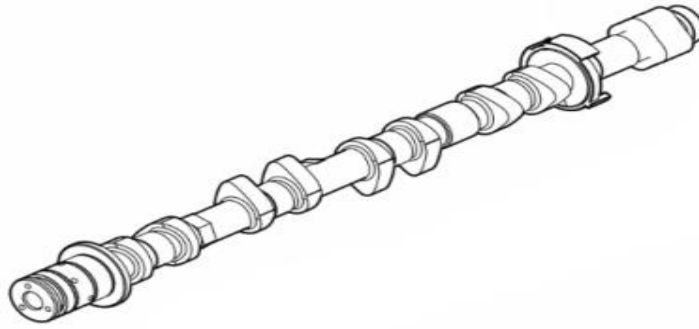
العمود المرفقي هو عمود يحمل مجموعة اقطار غير مركزية اي بمحاور مختلفة تقع حول المحور الاساسي، ويستخدم في جميع محركات الاحتراق الداخلي والمكابس الترددية لتحويل الحركة الترددية الى حركة دورانية او العكس. شكل I.4، [5].



شكل I.4: عمود مرفقي.

• أعمدة الحدبات (الكامات) :

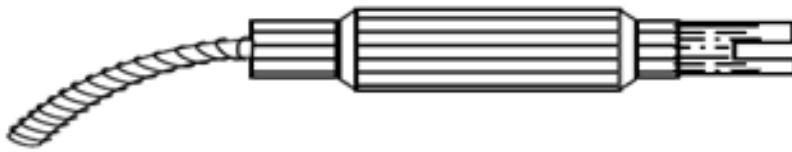
يسمى أيضا عمود الكامات، وهو عبارة عن عمود أسطواني موجود به حدبات ببيضاوية الشكل بعدة مواضع وبتجاهات مختلفة، يعمل عمود الحدبات على تحويل الحركة الدورانية الى حركة ترددية كما في آلات الاحتراق الداخلي للتحكم في حركة فتح وغلق صمامات التغذية وعوادم الاحتراق. شكل 5.I، [5].



شكل 5.I: عمود الحدبات.

• الأعمدة المرنة :

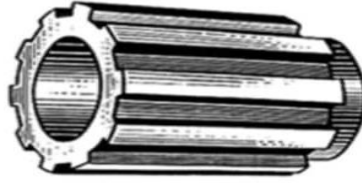
تستخدم لنقل الحركة بين الأجزاء التي تقع محاور دورانها في وضع يستحيل الربط بينهما، كما تستخدم في العمليات الميكانيكية التي يصعب تشغيلها بالطرق العادية مثل: عمليات التجليخ والتنقيب ... الخ، نجدها بشكل عام في الأجهزة الطبية بعيادات الأسنان. شكل 6.I، [5].



شكل 6.I: عمود مرن.

• الأعمدة المخددة :

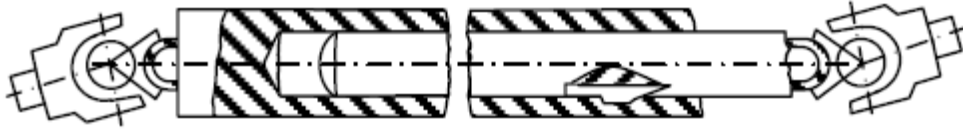
تسمى أيضا بالأعمدة المسننة وهي عبارة عن اعمدة اسطوانية مشكل على سطحها الخارجي عدة أسنان طولية تعمل بمثابة خوابير لنقل عزم الدوران الى الجزء المقابل لها، وهي مشكلة من الداخل بنفس الشكل وتستخدم عادة وصلة مخددة (مسننة) لتحقيق حركة محورية نسبية بين العمود المخدد ووصلة الجزء المتزواج معه. تشكل الأسنان طوليا (مستقيمة) أو بشكل حلزوني وذلك حسب الحركة المطلوبة للوصلة والقدرة المنقولة. شكل 7.I، [5].



شكل 7.I: عمود مخدد.

• الأعمدة المفصليّة :

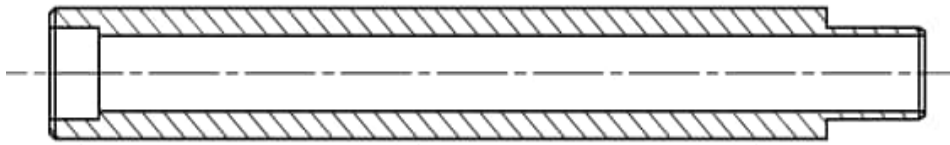
يتميز العمود المفصلي بمرونة الحركة كونه مزود بوصلة او عدة وصلات مرنة، ليعمل على توصيل الحركة والعزم بين مجموعتي الآلة مثبتتان في مستويين مختلفين، بحيث يزيد او ينقص او ينكمش في حالة حدوث اهتزازات. شكل 8.I، [6].



شكل 8.I: عمود مفصلي.

• الأعمدة المجوفة :

يعد العمود المجوف مكونا هاما في محركات المركبات التي تعمل بالطاقة الكهربائية، مثل: القطارات... الخ. الميزة الأساسية للعمود المجوف هي خفة الوزن التي تكون غالبا امرا ضروريا كما في محركات الطائرات، كذلك مناسب لمختلف التركيبات وآلات التشغيل. شكل 9.I، [7].



شكل 9.I: عمود مجوف.

- مميزات الأعمدة المجوفة:

1. العمود المجوف أكبر مقاومة لعزم الالتواء والانحناء من العمود المصمت الذي له نفس الوزن.
2. خفة الوزن.
3. وجود تجاويف تسمح بمرور الزيت لتسهيل الدوران الجيد للأجزاء المركبة عليها.
4. تثبيت أجهزة التحكم الدقيقة داخل تجويف الأعمدة.

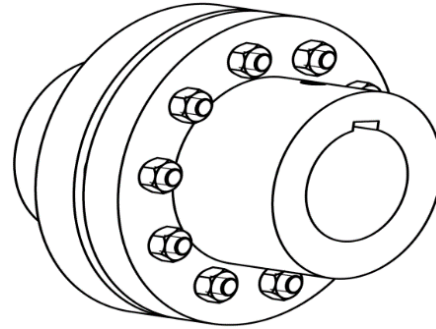
5. تكلفة منخفضة مقارنة بالأعمدة المصمتة.
6. تستخدم في التطبيقات التي تكون فيها الصلابة أكثر أهمية.
7. تستخدم في نطاق واسع في آلات التشغيل، آلات التعبئة والتغليف... الخ [5, 7].

5.I طرق التوصيل بين الأعمدة :

حتى يتم توصيل عمودين من أجل نقل عزم الدوران تستخدم عناصر اقتران أو توصيل تسمى قوارن أو اوصال. هناك نوعان من عناصر التوصيل هما: القوارن الصلبة والقوارن المرنة، تستخدم القوارن الصلبة المبينة في الشكل 10.I (a) لتحقيق توصيل دائم بين عمودين دون أن تحدث أي حركة نسبية بينهما، وتعمل أيضا على المحاذاة الدقيقة بينهما، لكن في حالة حدوث اختلال في المحاذاة نتيجة الاجهادات العالية يمكن أن يؤدي ذلك إلى كلل مبكر للأعمدة، لذلك تم تصميم القوارن المرنة لنقل عزم الدوران مع السماح ببعض الانتقالات المحورية، القطرية والزاوية . الشكل 10.I (b)، يبين بعض أنواع القوارن المرنة [8,10].



(b) : قوارن مرنة .



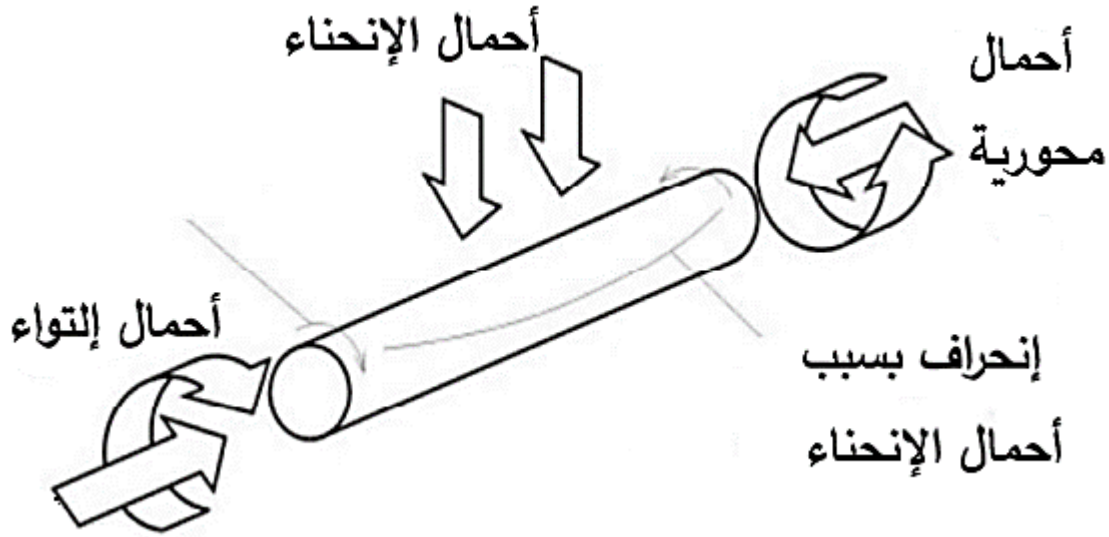
(a) : قوارن صلبة.

شكل 10.I: قوارن [8].

6.I الاحمال المطبقة على الأعمدة :

تتعرض الأعمدة لمجموعة من الاحمال المختلفة يمكن تلخيصها فيما يلي:

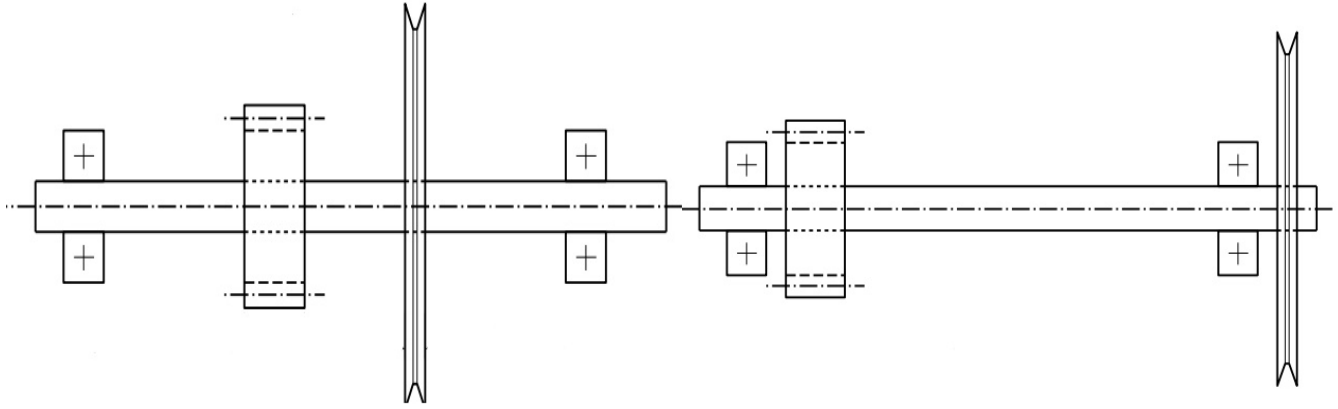
- عزم الانحناء .
- عزم الالتواء .
- احمال محورية [8].



شكل 11.I: تمثيل الاحمال المؤثرة على العمود[8].

7.I تأثير عناصر الالة على العمود:

عند تصميم العمود فإن الهدف المنشود مهما كانت البيانات الأساسية للحساب (المقاومة، الصلابة، السرعة الحرجة... الخ) . هو الحصول على التركيب الأكثر اقتصادا وامانا، بمعنى اخر يتعلق الامر بالحصول على أصغر قطر ممكن له، حيث هذا الأخير يتأثر بشكل كبير بتوزيع عزوم الانحناء. ولتقليل هذه العزوم قدر الإمكان من الضروري تركيب عناصر نقل الحركة أقرب ما يمكن من دعامات العمود. يوضح الشكل I. 12 تركيبان أساسيان لعناصر نقل الحركة، أحدهما أفضل بكثير من الآخر.



(a): تركيب جيد. (b): تركيب سيء.

شكل I.12: تركيب لعناصر نقل الحركة [12].

تنتج العديد من عناصر نقل الحركة (الاقصال، التروس الحلزونية، التروس المخروطية...الخ) بالإضافة إلى التمدد الحراري أحمالاً محورية، يمكن أن تكون هذه الأحمال كبيرة جداً في بعض الحالات. لذلك يتم توجيه الأعمدة بواسطة الوسادات أو المدحرجات. لكن هناك بعض أنواع عناصر نقل الحركة كالأقصال والمكابح الفكية (بطل) مثلاً، لا تنتج أي انحناء للأعمدة، أو قد تنتج انحناء ضئيل. لذا فإن موقعها بالنسبة للمحامل ليس له أهمية كبيرة [5].

8.I مبادئ و اعتبارات تصنيع العمود :

1.8.I مبادئ تصميم العمود :

ينبغي مراعاة المبادئ العامة التالية في تصميم العمود:

- ابقاء الأعمدة قصيرة قدر الإمكان مع جعل المحامل قريبة من الأحمال المطبقة عليها، مما يساهم في تقليل انحرافها.
- تحديد مواقع مسببات الاجهاد بعيداً عن المناطق شديدة الاجهاد في العمود.
- استخدام أعمدة مجوفة إذا كان الوزن أمراً بالغ الأهمية [8].

2.8.I اعتبارات تصميم العمود :

تشمل اعتبارات تصميم العمود ما يلي:

- حجم المكونات وتباعدها والتفاوتات المسموح بها.

- اختيار المواد والمعالجات الخاضعة لها.
- الانحراف والصلابة.
- تأثير الاهتزازات.
- الاجهاد وعزوم الدوران (عزم الانحناء، عزم الالتواء).
- قيود التصنيع [8, 10].

9.I المواد المستخدمة في تصنيع الاعمدة :

يستخدم الفولاذ الكربوني المدرفل على الساخن في تصنيع أعمدة النقل والاعمدة التي لا تتطلب خصائص مقاومة خاصة، تتراوح نسبة الكربون فيه من 0.15 % إلى 0.30 %، اما بالنسبة للأعمدة التي تدور بسرعات عالية والخاضعة لأحمال متغيرة تتطلب فولاذ أكثر مقاومة، وبالتالي يمكن ان يخضع الفولاذ لمعالجات حرارية حيث تتراوح نسبة الكربون فيه من 0.35 % إلى 0.55 %. ومن أكثر المواد استعمالا نجد: 40 Cr8, 45 Cr8, 50Cr4, 50Cr12.

لأداء بعض الوظائف الخاصة يمكن ان تصنع الاعمدة من مواد اخرى غير الفولاذ: سبائك الالمنيوم او التيتانيوم والبلاستيك المقوى بالألياف وسبائك النحاس وغيرها من المواد [3,9].

10.I خصائص المواد المستخدمة في تصنيع الاعمدة :

يجب ان تتمتع المواد المستخدمة في تصنيع الأعمدة بالخصائص التالية:

- معالجة حرارية جيدة.
- مقاومة التآكل العالية.
- أن تتمتع بقابلية تشغيل جيدة.
- أن تكون ذات صلابة عالية.
- ان يكون لها القدرة على مقاومة الصدمات. [5, 9, 11].

11.I تصنيع الاعمدة :

يتم الحصول على خام الأعمدة بشكل عام عن طريق الدرفلة على الساخن. ليتم بعد ذلك اخضاعها لعمليات تشغيل نهائية كالخرطة والتصحيح، للحصول على أبعادها النهائية. حيث تكون صلابة الاعمدة المدرفلة على البارد

كبيرة مقارنة بالأعمدة المدرفلة على الساخن، لكن تحتوي الأعمدة المدرفلة على البارد على إجهادات متبقية أعلى، قد أن تتسبب في تشوه العمود عند تشغيله خاصة على مستوى الأخاديد أو مجاري الخوابير [9].

12.I استخدامات الأعمدة :

يتم استخدام أعمدة الدوران في العديد من التطبيقات المختلفة، عادة في تطبيقات نقل الحركة أو تحويلها، مثل:

- آلات التشغيل كالمخارط والفرائز.
- محركات الاحتراق الداخلي.
- المكابس الترددية واجهزة نقل الحركة في المكائن.
- الصناعة الطبية.
- الصناعة الجوية لتحريك الأجزاء الدوارة ومحركات الطائرات.
- الآلات الزراعية المختلفة [5].

13.I خاتمة :

تُعد الأعمدة بجميع أنواعها من العناصر الحيوية في الإنشاءات الميكانيكية، بفضل قدرتها الفائقة على نقل الاستطاعة وعزم الدوران. مما يجعلها جزءاً لا يتجزأ من معظم الآلات، في هذا الفصل قمنا بإبراز الدور الأساسي الذي تلعبه الأعمدة في ضمان كفاءة وأداء النظام الميكانيكي. لذلك يتم تصميمها وفقاً للاحتياجات المحددة لكل تطبيق تُستخدم فيه، لضمان تحقيق الأداء الأمثل.

الفصل الثاني

معايير المقاومة

1.II. مقدمة :

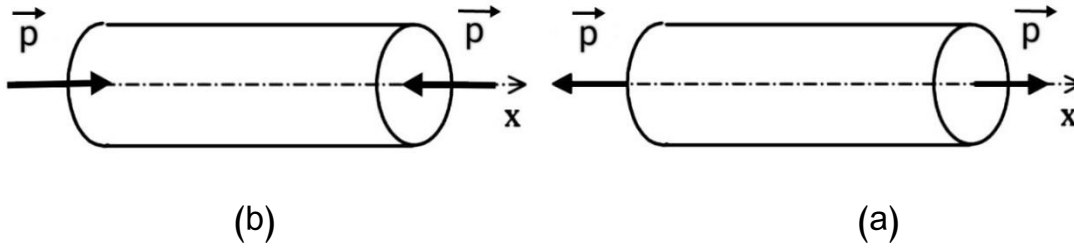
تعد أعمدة الدوران من العناصر الأساسية للعديد من الآلات، لذلك يجب تصميمها بعناية لضمان سلامتها وكفاءتها، ولبلوغ هذا الهدف يجب تحديد أبعادها بدقة، إذ يمكن حساب قطر عمود الدوران باستخدام طرق مختلفة، تعتمد الطريقة الأكثر شيوعاً على تحديد الإجهاد الأقصى الذي يمكن أن يتحمله عمود الدوران دون أن ينهار، وبالتالي تحديد قطر العمود المطلوب لمقاومة الاجهادات المؤثرة عليه.

2.II. الاحمال و الاجهادات المطبقة على العمود :

1.2.II. الاجهادات المحورية (الشد والانضغاط) :

ينتج الإجهاد المحوري عندما يتعرض العمود لقوتين محاوريتين متعاكستان في الاتجاه وعموديتان على مقطعه العرضي (عادة هو مقطع اسطواني)، يُرمز له ب σ_n [4,13].

- إجهاد شد إذا كانتا تعملان على تمديد العمود. (الشكل 1.II (a)).
- إجهاد انضغاط إذا كانتا تعملان على تقلصه. (الشكل 1.II (b)).



شكل 1.II: عمودان خاضعان لإجهاد محوري.

تعطى عبارة اجهاد الشد والانضغاط σ_n في كلتا الحالتين بالعلاقة التالية:

- في حالة عمود مصمت (مملوء):

$$\sigma_t = E\varepsilon = \frac{|\vec{p}|}{S} \quad , \quad S = \frac{\pi d^2}{4} \quad (1. II)$$

- في حالة عمود مجوف:

$$\sigma_t = E\varepsilon = \frac{|\vec{p}|}{S} \quad , \quad S = \frac{\pi(D^2-d^2)}{4} \quad (2. II)$$

حيث :

σ_n : الاجهاد الناظمي للشد او الانضغاط (N/mm^2).

E: معامل يونغ (N/mm^2).

ϵ : التشوه النسبي او الانفعال .

p : القوة المحوية المطبقة (N) .

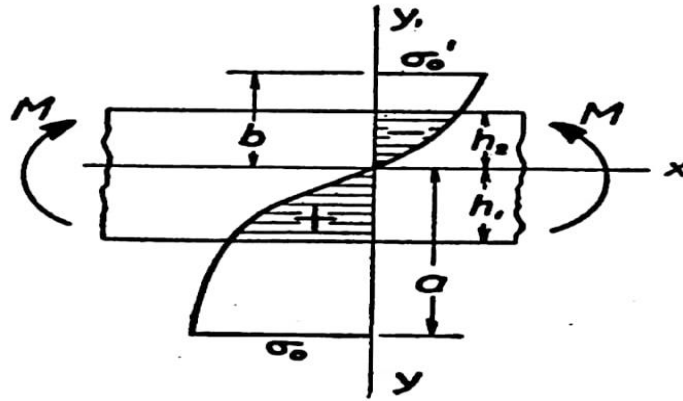
S : مساحة المقطع العرضي للعمود (mm^2) .

d : قطر العمود (mm) .

D : القطر الخارجي للعمود في حالة عمود مجوف (mm) [4,13] .

2.2.II اجهاد الانحناء :

إجهاد الانحناء هو إجهاد ناتج عن تطبيق قوى مماسية على مقطع العمود. ينتج عن هذه القوى إجهاد شد سالب في الألياف العلوية من المقطع العرضي، وإجهاد إنضغاط موجب في الألياف السفلية، يُرمز له بـ σ_f [4, 13].



شكل 2.II: عمود خاضع لإجهاد الانحناء.

يعطى اجهاد الانحناء بالعلاقة التالية :

$$\sigma_f = \frac{M_f \cdot r}{I_0} \quad (3. II)$$

• العزم التربيعي للانحناء في حالة عمود مصمت:

$$I_0 = \frac{\pi d^4}{64} \quad (4. II)$$

• العزم التربيعي للانحناء في حالة عمود مجوف:

$$I_0 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (5. II)$$

حيث :

M_f : عزم الانحناء (N.m)

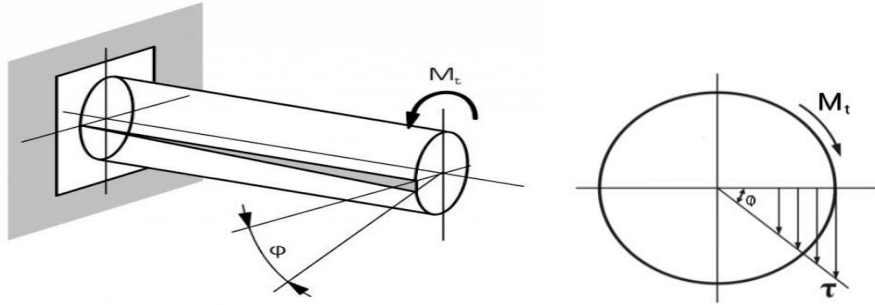
σ_f : اجهاد الانحناء الناظمي (N/mm^2)

I_0 : العزم التربيعي للانحناء (mm^4)

r : البعد بين مركز ونقطة من مقطع العمود (mm) ، وهو نصف قطر العمود عند اقصى قيمة للإجهاد . [4، 13]

3.2.II اجهاد الالتواء :

هو إجهاد ينتج في العمود عندما يتعرض إلى زوج من العزوم المتبادلة متساوية الشدة ومتعاكسة الاتجاه، يرمز له ب τ_t . يكون العمود في حالة التواء عندما يثبت في أحد طرفيه او كليهما ويتعرض لعزم دوران عمودي على محوره. يؤدي الالتواء الى ثني الأعمدة [4,13] .



شكل 3.II: عمود مصمت خاضع لإجهاد الالتواء .

تعطى عبارة اجهاد الالتواء بالعلاقة التالية:

$$\tau_t = \frac{M_t \cdot r}{J_0} \quad (6. II)$$

• العزم التربيعي للالتواء في حالة عمود مصمت:

$$J_0 = \frac{\pi d^4}{32} \quad (7. II)$$

• العزم التربيعي للالتواء في حالة عمود مجوف:

$$J_0 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} \quad (8. II)$$

حيث:

τ_t : اجهاد مماسي للالتواء (N/mm^2)

M_t : عزم الالتواء ($N.m$)

J_0 : العزم التربيعي للالتواء (mm^4).

φ : زاوية الانحراف [4,13] (rad) .

II.4.2 الاجهادات المركبة :

حسب العناصر السابقة، تم تقسيم الاجهادات المؤثرة على عمود الدوران الى ثلاث انواع رئيسية: اجهاد محوري، اجهاد الانحناء واجهاد الالتواء. تم مناقشة كل نوع من هذه الانواع على حدى، على افتراض ان نوعا واحدا فقط من هذه الاجهادات يؤثر على عمود الدوران في كل مرة، ولكن في الحالة التطبيقية، غالبا ما يؤثر أكثر من نوع واحد من هذه الاجهادات في آن واحد على عمود الدوران.

المجموعات المحتملة هي كالتالي:

- الاجهاد المحوري واجهاد الانحناء .
- الاجهاد المحوري واجهاد الالتواء .
- اجهاد الانحناء واجهاد الالتواء .
- الاجهاد المحوري واجهاد الانحناء واجهاد الالتواء [15,14].

II.3 ككل الأعمدة :

II.1.3 تعريف الكلل :

هو ظاهرة تحدث للمعادن نتيجة تعرضها لأحمال متكررة مع مرور الزمن، مثلا الأحمال الناتجة عن حركة الأجزاء الدوارة اثناء نقل الاستطاعة الميكانيكية، تبدأ هذه الظاهرة بنشقات صغيرة على سطح المعدن، ثم تتطور تدريجيا الى كسور سطحية بسيطة. مع استمرار التشغيل وبدون معالجة، تتفاقم هذه الكسور فتؤدي الى ضعف المعدن، مما يجعله عرضة للانهييار [16,17].

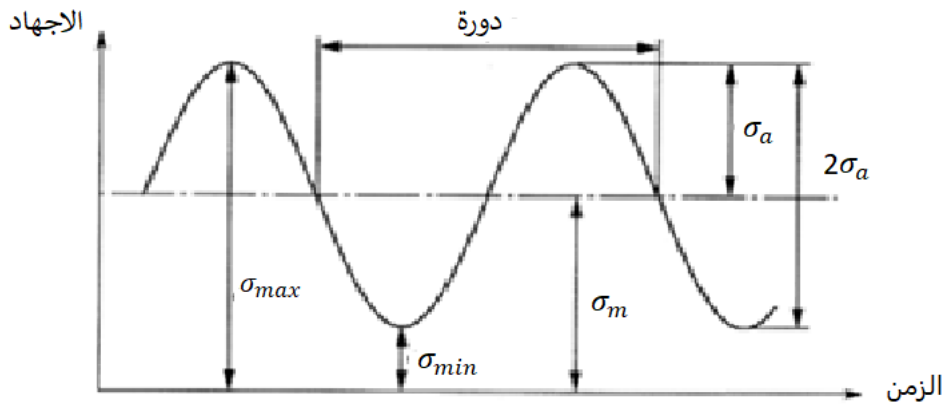
II.2.3 عوامل تأثير الكلل :

- مقدار الاجهاد المتكرر:
- كلما زاد مقدار الاجهاد المتكرر، زادت احتمالية حدوث الكلل.
- نوع الاحمال:
- تختلف مقاومة المواد للكلل حسب نوع الاحمال المتكررة.
- تكرار الاحمال:
- كلما زاد عدد مرات تكرار الاحمال، زادت احتمالية حدوث الكلل [4,16].

4.II تمثيل الكلال :

تخضع معظم القطع الميكانيكية اثناء عملها لأحمال متغيرة مع مرور الزمن، مما يؤدي إلى حدوث تغيرات دورية في الاجهادات. لوحظ أن الكسر يحدث لهذه القطع بعد عدد معين من الدورات N عند سعة اجهاد أقل من اجهاد الكسر الثابت المستخدمة [16,18].

يتم تمثيل الاجهادات المتغيرة خلال الزمن (الكلل) التي يتعرض لها العمود، بإجهدات دورية يمكن وصفها باستخدام دالة جيبيية (اجهادات متوسطة ومتناوبة) [16,18].



شكل 4.II: منحنى تغير الاجهادات [18].

تعطى عبارة الاجهاد المتوسط والاجهاد المتناوب كما يلي:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (9. II)$$

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| \quad (10. II)$$

حيث:

σ_m : الاجهاد المتوسط (N/mm^2).

σ_a : الاجهاد المتناوب (N/mm^2).

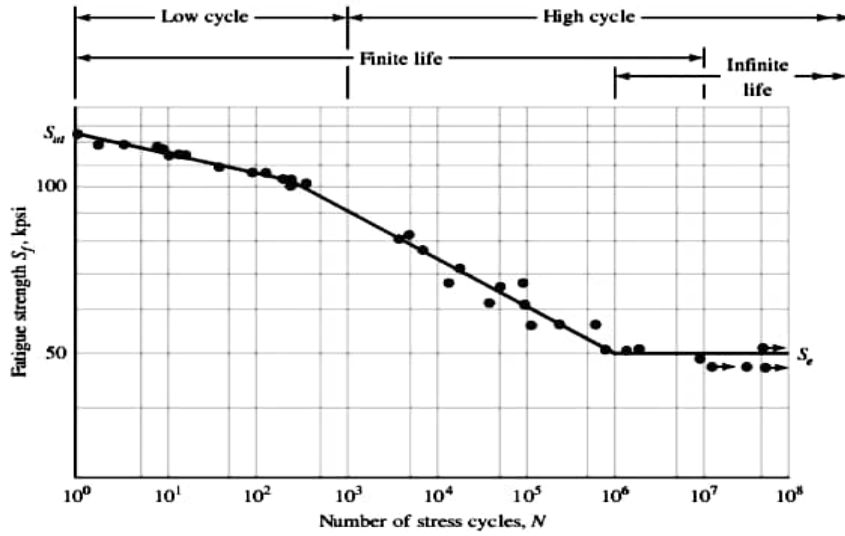
ω : السرعة الزاوية (rad/s).

σ_{max} : الاجهاد الاقصى (N/mm^2).

σ_{min} : الاجهاد الادنى (N/mm^2) [19].

5.II اجهاد حد التحمل S_e :

حد التحمل هو أقصى إجهاد يمكن أن يتعرض له جسم ما دون أن يتعرض للانهيان تحت تأثير قوى متكررة، يتم تحديده عن طريق اختبار الكلال، توضح النتائج ان هناك علاقة بين اجهاد حد الخضوع S_{ut} واجهاد حد التحمل S_e . بشكل عام يكون حد التحمل أقل من حد الخضوع. وهذا لأن حد الخضوع هو الإجهاد الذي يحدث عند بداية الانهيان، بينما حد التحمل هو الإجهاد الذي يمكن أن يتعرض له الجسم لفترة طويلة دون أن يحدث له انهيار ناتج عن الكلال [3,19].



شكل 5.II: منحنى حد التحمل [4].

- يتعرض العمود لعدة عوامل يجب مراعاتها عند تصميمه وتشغيله، يمكن توضيح تأثير هذه العوامل من خلال العلاقة بين S_e و S_e وهي كالتالي [1]:

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_e \quad (11. II)$$

حيث :

$K_a, K_b, K_c, K_d, K_e, K_f$: المعاملات المؤثرة على حد التحمل.

S_e : حد التحمل لعينة تجريبية مور (N/mm^2).

قيم حد التحمل للأصلاب [19]:

- إذا كان $S_{ut} \leq 1400(MPa)$ فان: $S_e \approx 0.5S_{ut}$

- إذا كان $S_{ut} > 1400(MPa)$ فان: $S_e = 700(MPa)$

6.II المعاملات المؤثرة على اجهاد حد التحمل S_e :

- معامل حالة السطح K_a :

يعتمد هذا المعامل على جودة التشطيب النهائي، يعطى بالعلاقة التالية [19] :

$$K_a = aS_{ut}^b \quad (12. II)$$

- تحديد المعاملات a و b :

جدول 1.II: قيم المعاملات a و b [19].

b	a	السطح الناتج
-0.085	1.58	القولبة
-0.265	4.51	مدرفل على البارد
-0.718	57.5	مدرفل على الساخن
-0.995	272	الحدادة

ملاحظة: تأخذ S_{ut} بوحدة (MPa).

- معامل الحجم K_b [19]:

- إذا كان: $d \leq 8 \text{ mm}$ فإن: $K_b = 1$
- إذا كان: $8 \text{ mm} \leq d \leq 250 \text{ mm}$ فإن: $K_b = 1.189(d)^{-0.097}$
- إذا كان: $d \geq 250 \text{ mm}$ فإن: $K_b = 0.6$

- معامل تأثير الاحمال K_c [19]:

- الانحناء: $K_c = 1$
- الالتواء: $K_c = 0.59$
- الاحمال المحورية: $K_c = 0.85$

- معامل درجة الحرارة K_d [19]:

- إذا كان: $t \leq 450^\circ\text{C}$ فإن: $K_d = 1$
- إذا كان: $450^\circ\text{C} \leq t \leq 550^\circ\text{C}$ فإن: $K_d = 1 - 0.0058(t - 450)$

• معامل الموثوقية (المصدافية) K_e [19]:

جدول 2. II: معامل المصدافية [19].

المصدافية %	50	90	95	99	99.9	99.99	99.999
K_e	1	0.897	0.868	0.814	0.753	0.702	0.659

• معامل التأثيرات المختلفة K_f :

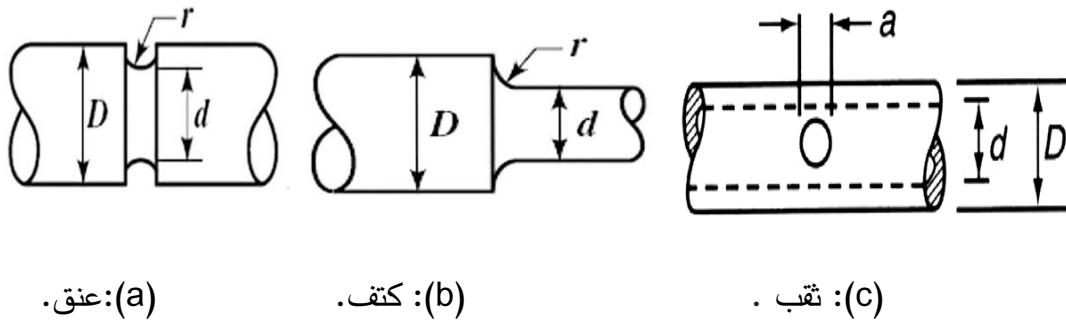
يُستخدم لحساب الانخفاض في حد التحمل بسبب جميع التأثيرات الأخرى غير التأثيرات الأساسية المذكورة سابقا، يُستخدم أيضًا لتذكير المصممين بأن هناك عوامل أخرى يمكن أن تؤثر على مقاومة المواد للكلال، مثل: طريقة التصنيع، التركيب، البيئة، نوع الاستخدام أو التطبيق... الخ. لا توجد قيم محددة للمعامل K_f لان القيم الفعلية ليست متاحة دائما، حيث تختلف هذه القيم حسب هذه العوامل الأخرى، لذلك من المهم مراعاتها عند تصميم القطع أو العناصر [19].

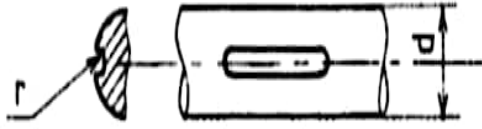
7. II تركيز الاجهادات :

1.7. II تعريف تركيز الاجهادات :

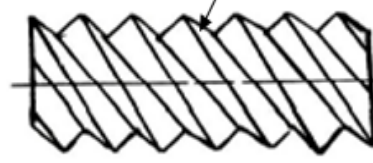
تركيز الاجهادات هو تجمع الاجهادات في منطقة معينة من الجسم الميكانيكي، بحيث تكون قيمتها أكبر بشكل كبير مقارنة بالاجهادات في المناطق الأخرى. يحدث عندما يكون هناك تغيرات مفاجئة في المقطع العرضي للعنصر الميكانيكي، الانقطاعات، الخدوش أو عدم الانتظام في بنية المواد... الخ. يؤدي وجود انقطاعات في العمود (ثقوب، مجاري، اخاديد، كتف... الخ) إلى زيادة الإجهادات المحلية حول هذه المناطق بشكل أكبر من الاجهادات الاسمية التي تم الحصول عليها من مقاومة المواد مما يؤدي إلى انهيار العمود [6].

2 .7. II بعض حالات تركيز الاجهادات:





(d): مجرى.



(e): لولبة.

شكل II.6 : بعض حالات تركيز الاجهادات في الاعمدة [4].

II.8 حساب معاملات تركيز الاجهادات :

- حالة اجهاد ناظمي:

$$\sigma_{max} = k_f \sigma_o \quad (13. II)$$

- حالة اجهاد مماسي:

$$\tau_{max} = k_{fs} \tau_o \quad (14. II)$$

حيث:

σ_{max} : الاجهاد الاقصى الناظمي عند الانقطاعات (N/mm^2).

τ_{max} : الاجهاد الاقصى المماسي عند الانقطاعات (N/mm^2).

σ_o, τ_o : اجهادات اولية تحدد قيمها من المعادلات الاولية (N/mm^2).

k_f : معامل تركز الاجهادات بسبب الكلل في حالة الاجهاد الناظمي (N/mm^2).

k_{fs} : معامل تركز الاجهادات بسبب الكلل في حالة الاجهاد المماسي.

المعاملات k_f و k_{fs} يتم حسابها بالطريقة التالية:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1) \quad (15. II)$$

$$k_{fs} = 1 + q(k_{ts} - 1) \quad (16. II)$$

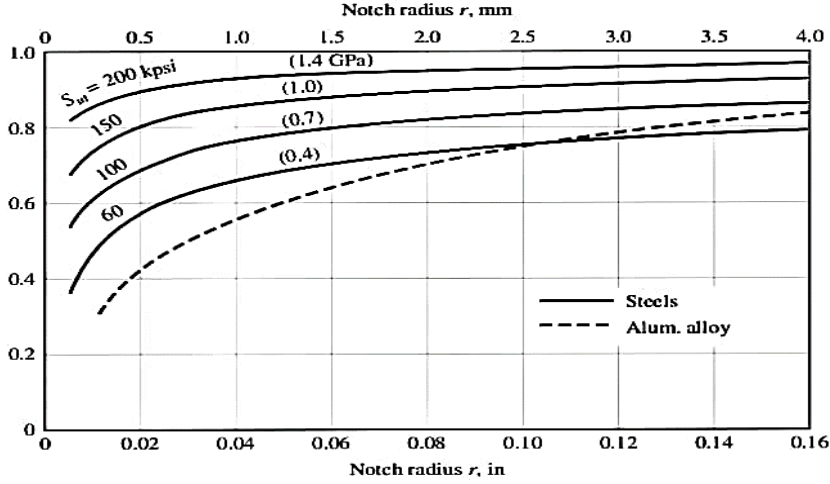
q: معامل حساسية الشق.

k_t : معامل تركيز الاجهاد النظري في حالة الاجهاد الناظمي.

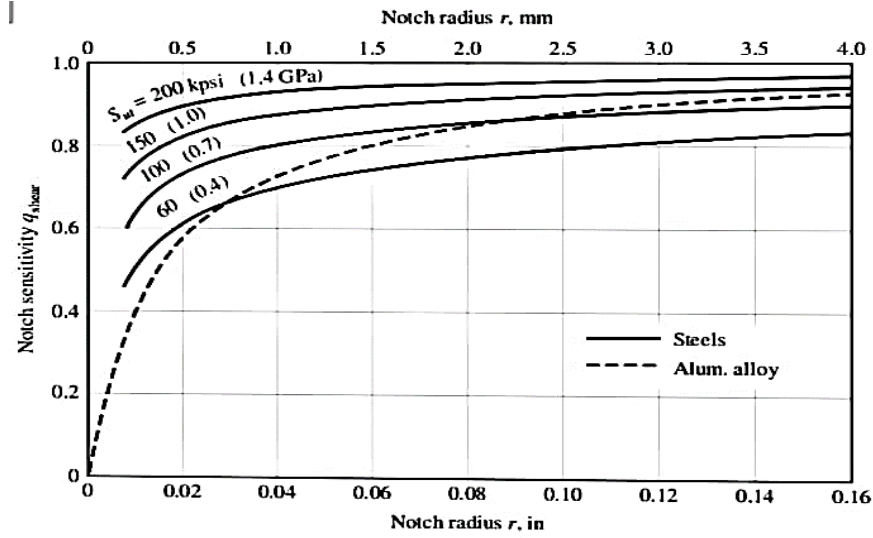
k_{ts} : معامل تركيز الاجهاد النظري في حالة الاجهاد المماسي [19].

1.8.II معامل حساسية الشق q :

قيمة q تستخرج من المنحنيات والنتائج التالية (شكل 7.II و شكل 8.II) بالنسبة للاصلاص والالمنيوم، اما بقية المواد فيتم الحصول على المعامل q الخاص بها من التجارب [4,19] .



شكل 7.II: قيم q في حالة الاجهاد الناظمي [4,19].

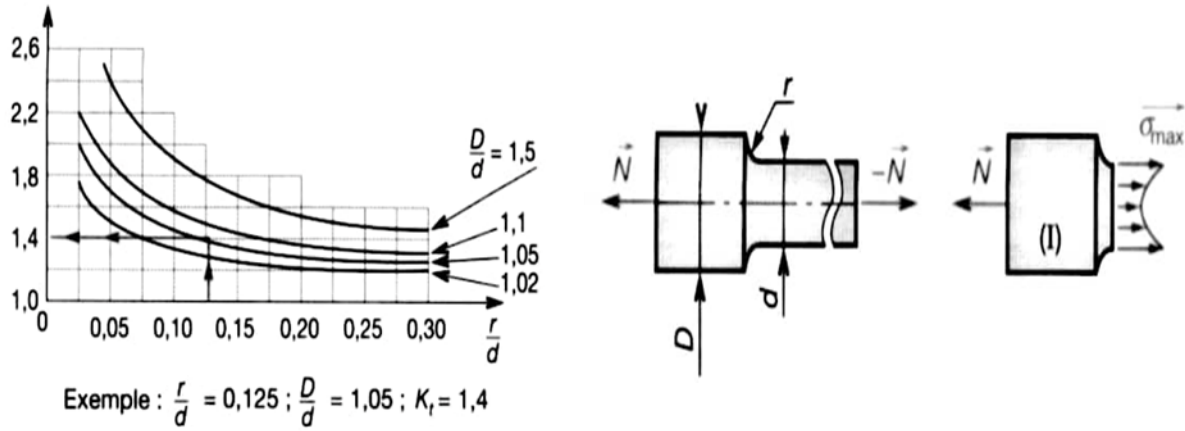


شكل 8.II: قيم q في حالة الاجهاد المماسي [4,19].

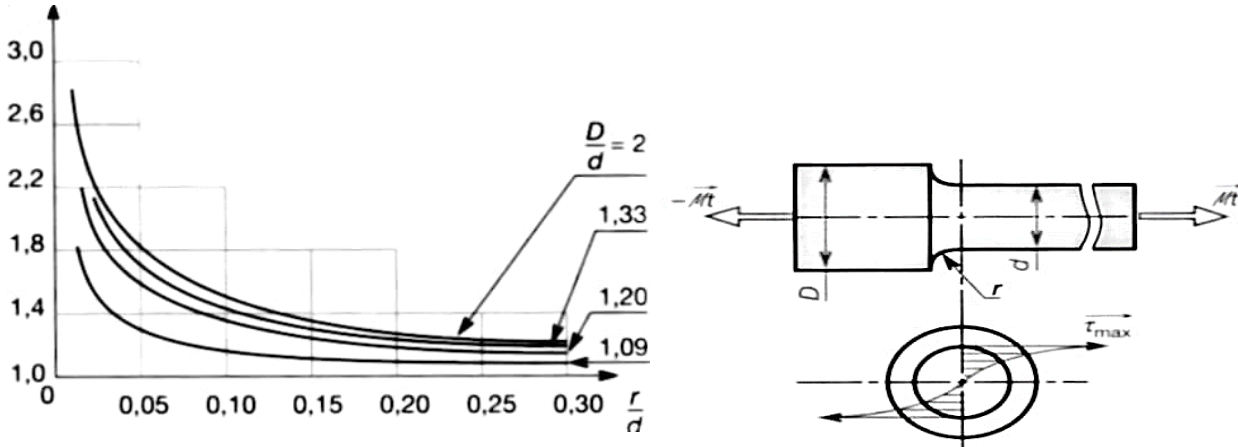
٢: نصف قطر الشق (mm) .

2.8.II حساب k_t و k_{ts} :

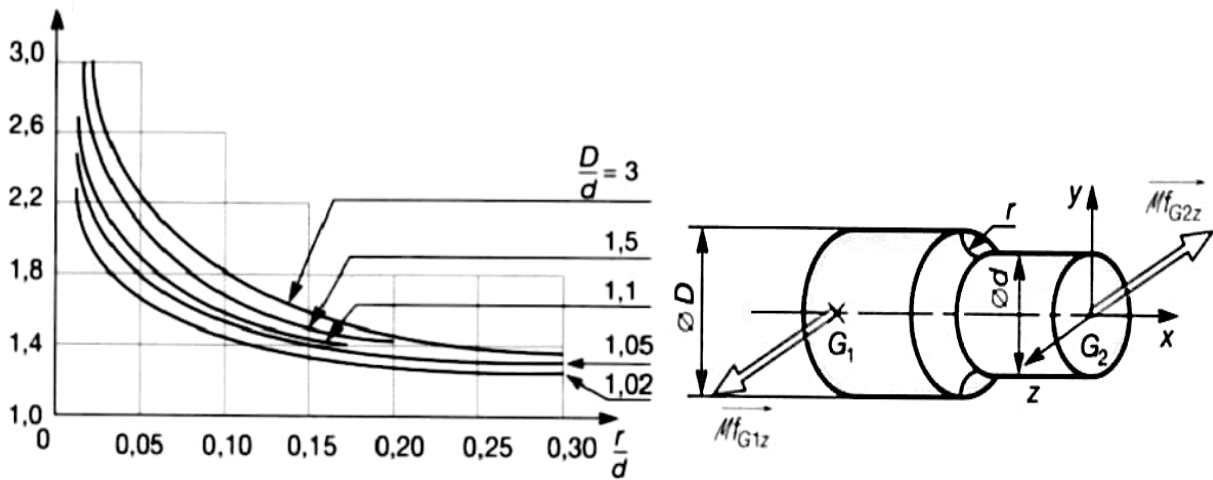
تستخرج هذه المعاملات من المنحنيات التالية [4, 19, 20]:



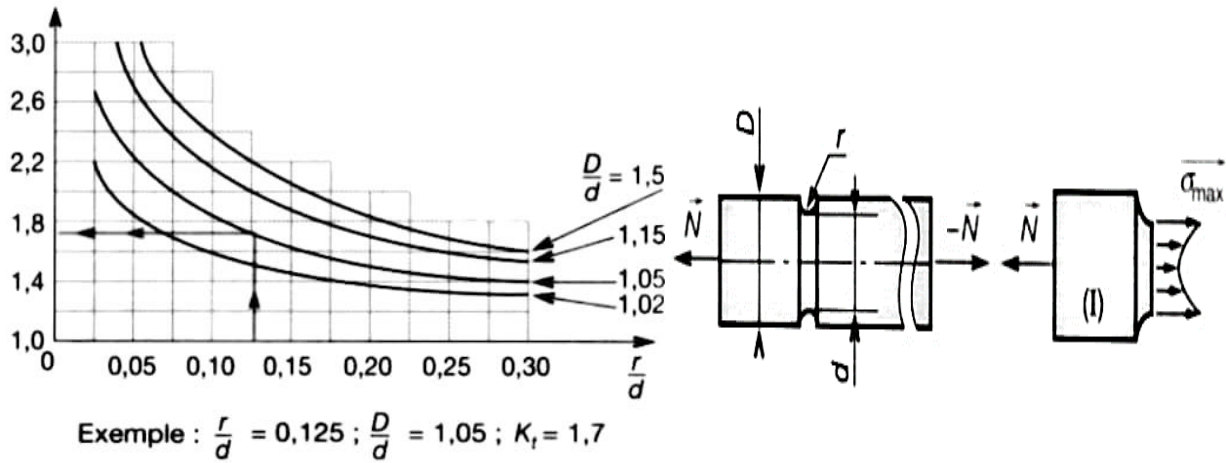
شكل II.9: عمود به كتف خاضع لإجهاد الشد.



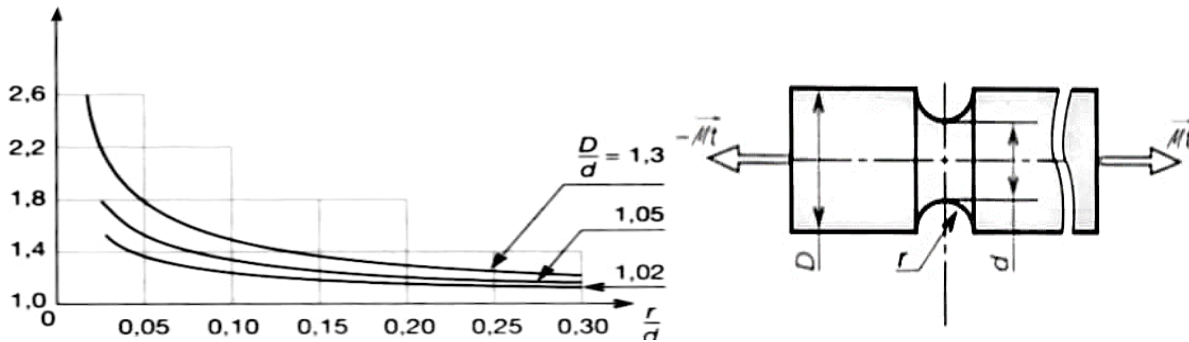
شكل II.10: عمود به كتف خاضع لإجهاد الانحناء.



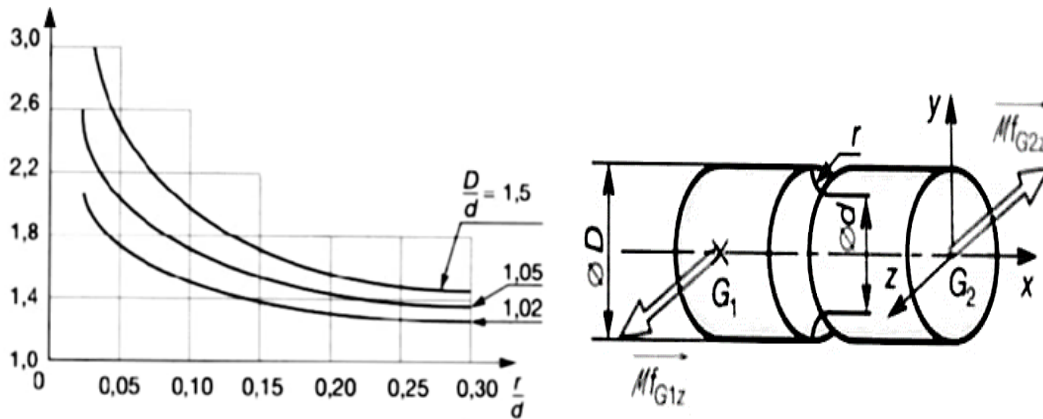
شكل II.11: عمود به كتف خاضع لإجهاد الالتواء .



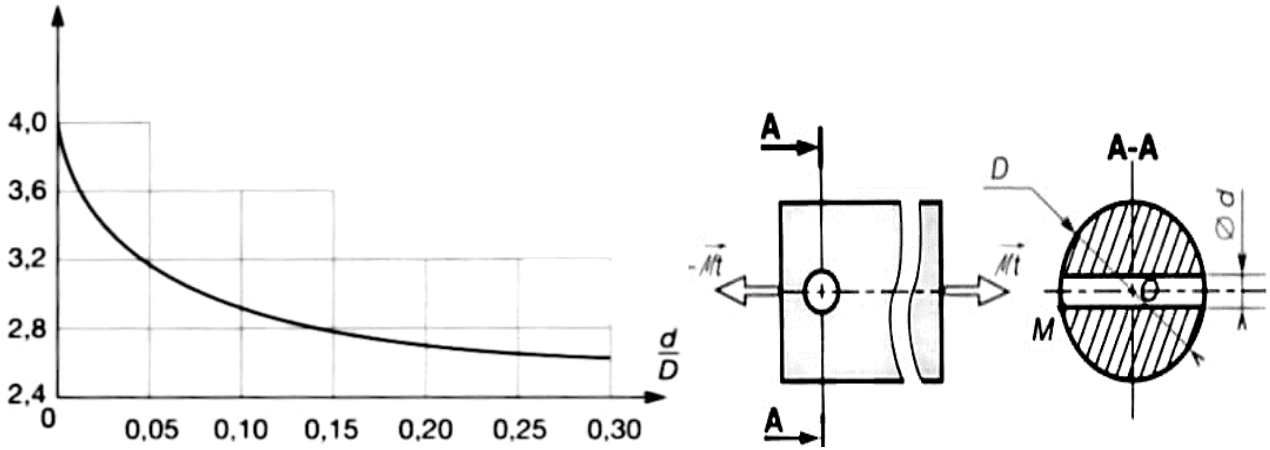
شكل II.12: عمود به عنق خاضع لاجهاد الشد.



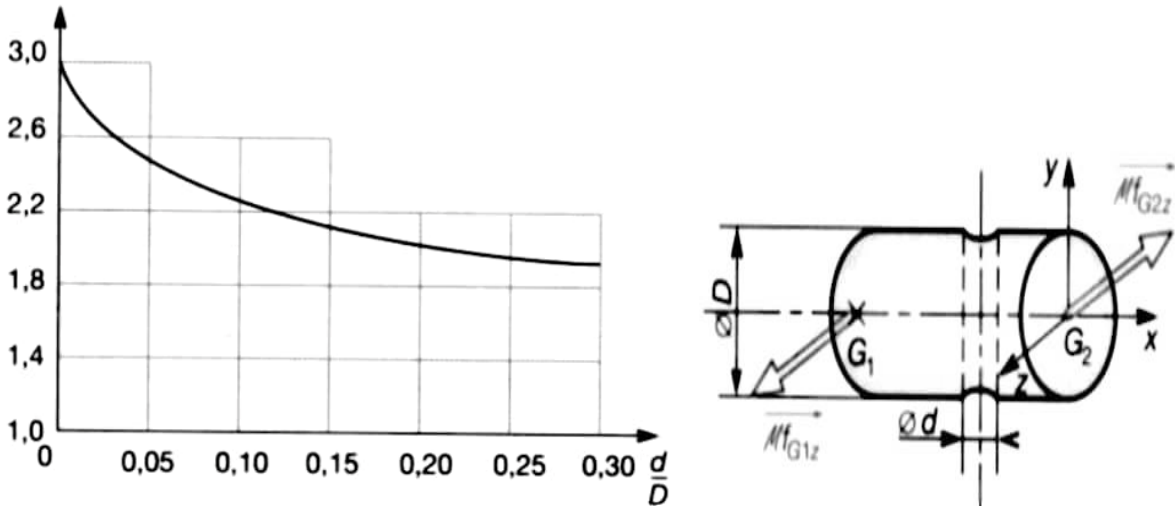
شكل II.13: عمود به عنق خاضع لاجهاد الانحناء.



شكل II.14: عمود به عنق خاضع لاجهاد الالتواء.



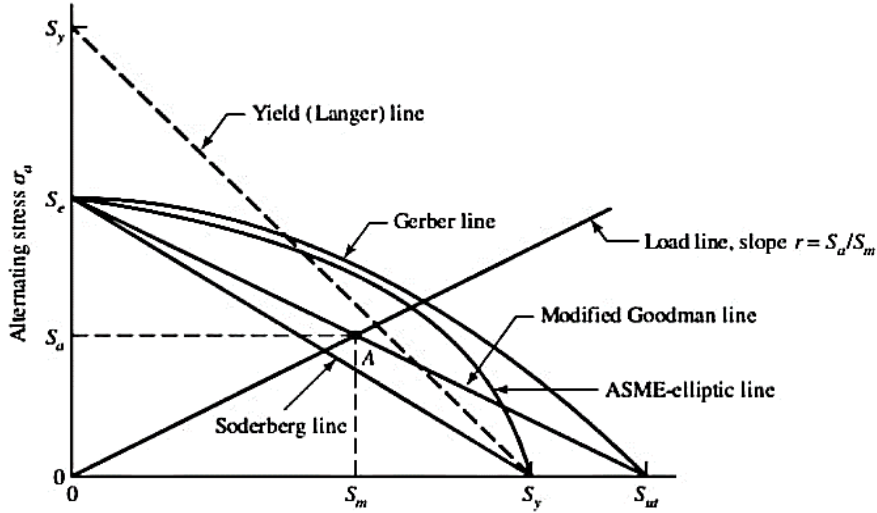
شكل II.15: عمود به ثقب عرضي خاضع لاجهاد الانحناء.



شكل II.16: عمود به ثقب عرضي خاضع لاجهاد الالتواء.

9.II معايير الانهيار للكلل للإجهاد المتناوب والمتوسط :

عند تصميم اعمدة الدوران يستعين المصممون بمخطط يوضح معايير مختلفة للانهيار، وذلك في حالة الاجهاد المتناوب والاجهاد المتوسط. تبين المنطقة فوق الخط المنقطع "Yield (Langer) line" بالنسبة الى كل معيار الانهيار، حيث يساعد المصمم على تحديد قيمة كل من S_e و S_{ut} التي من اجلها يحدث انهيار العمود [19].



شكل 17. II: معايير مختلفة لانهايار الكلال.

من بين هذه المعايير:

معادلة معيار "Soderberg line" [19]:

$$(17. II)$$

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_y} = 1$$

حيث:

S_a : مقاومة الكلال المتناوب (N/mm^2).

S_m : مقاومة الكلال المتوسط (N/mm^2).

معادلة معيار "Modified Goodman" [19]:

$$(18. II)$$

$$\frac{S_a}{S_e} + \frac{S_m}{S_{ut}} = 1$$

معادلة معيار "Gerber" [11]:

$$(19. II)$$

$$\frac{S_a}{S_e} + \left(\frac{S_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

معادلة معيار "ASME-elliptic" [19]:

$$(20. II)$$

$$\left(\frac{S_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{S_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

معادلة معيار "line Lenger" [19]:

$$(21. II)$$

$$S_a + S_m = S_y$$

بتعويض S_a و S_m ب $n\sigma_a$ و $n\sigma_m$ حيث n معامل الامن فنجد:
معادلة معيار "Soderberg line" [19]:

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \frac{n\sigma_m}{S_y} = 1 \quad (22. II)$$

معادلة معيار "modified Goodman" [19]:

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \frac{n\sigma_m}{S_{ut}} = 1 \quad (23. II)$$

معادلة معيار "Gerber" [19]:

$$\left(\frac{n\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1 \quad (24. II)$$

معادلة معيار "ASME-elliptic" [19]:

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1 \quad (25. II)$$

معادلة معيار "line Lenger" [19]:

$$\sigma_a + \sigma_m = \frac{S_y}{n} \quad (26. II)$$

10.II الإجهاد المكافئ لـ " Von Mises–Hencky "

يستخدم هذا المعيار نظرية "Von Mises"، حيث يعتمد على طاقة التشويه القصوى ومخطط " Goodman " المعدل. يتم تعريف الاجهاد الناظمي المتناوب والاجهاد الناظمي المتوسط المكافئ لـ "Von Mises" من خلال العلاقات التالية:

$$\sigma_{a'} = \sqrt{(\sigma_a)^2 + 3(\tau_a)^2} \quad (27. II)$$

$$\sigma_{m'} = \sqrt{(\sigma_m)^2 + 3(\tau_m)^2} \quad (28. II)$$

حيث:

σ_a : اجهاد الانحناء الناظمي المتناوب (N/mm^2).

σ_m : اجهاد الانحناء الناظمي المتوسط (N/mm^2).

τ_a : اجهاد الالتواء المماسي المتناوب (N/mm^2).

τ_m : اجهاد الالتواء المماسي المتوسط (N/mm^2).

تعطى عبارة σ_a ، σ_m ، τ_a ، τ_m كما يلي:

$$\sigma_a = K_f \frac{32.M_a}{\pi d^3} \quad (29. II)$$

$$\sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^2} \quad (30. II)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16.T_a}{\pi d^3} \quad (31. II)$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{16.T_m}{\pi d^3} \quad (32. II)$$

ومنه تصبح العبارتان (27. II) و (28. II) كما يلي :

$$\sigma_{a'} = \sqrt{\left(K_f \frac{32.M_a}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(K_{fs} \frac{16.T_a}{\pi d^3}\right)^2} \quad (33. II)$$

$$\sigma_{m'} = \sqrt{\left(K_f \frac{32.M_m}{\pi d^3}\right)^2 + 3 \left(K_{fs} \frac{16.T_m}{\pi d^3}\right)^2} \quad (34. II)$$

حيث:

M_a : عزم الانحناء المتناوب (N . mm).

M_m : عزم الانحناء المتوسط (N . mm).

T_a : عزم الالتواء المتناوب (N . mm).

T_m : عزم الالتواء المتوسط (N . mm).

K_f : معامل تركيز اجهاد الكتل في حالة الانحناء.

K_{fs} : معامل تركيز اجهاد الكتل في حالة الالتواء [4,19].

11. II طرق و معايير حساب قطر العمود:

يوجد عدة طرق لحساب اقطار الاعمدة نذكر منها:

• طريقة (ASME(American society of Mechanical Engineers):

هذه الطريقة سهلة الاستخدام ولها دور هام في التصميم، حيث تسمح بالتقييم السريع لأقطار الأعمدة باستخدام

نظرية التحديد الثابت استنادا إلى الحد الأقصى للقص. تحدد هذه الطريقة إجهاد القص المسموح به [4,19].

- يتم حساب الإجهاد أقصى القص في حالة مقطع عرضي دائري مملوء بالصيغة التالية:

$$\sigma_c = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{(K_f M_f)^2 + (K_t M_t)^2} \leq \sigma_{\max adm} \quad (35. II)$$

- يتم حساب الاجهاد الاقصى المسموح به حسب العلاقتين:

$$\sigma_{\max adm} = b. \sigma_b = 0,18. S_y$$

$$\sigma_{max adm} = b \cdot \sigma_b = 0,30 \cdot S_{ut}$$

حيث :

- $b = 1$: بدون تركيز الاجهادات

- $b = 0,75$: بتركيز الاجهادات

$$d^3 \geq \frac{16}{\pi \sigma_{max adm}} \sqrt{(K_f M_f)^2 + (K_t M_t)^2} \quad (36. II)$$

حيث:

σ_c : الاجهاد الأقصى للقص (N/mm^2).

d : قطر العمود (mm).

K_f, K_t : معاملات التحميل.

M_f : الحد الأقصى لعزم الانحناء ($N \cdot mm$).

M_t : الحد الأقصى لعزم الالتواء ($N \cdot mm$).

- يتم حساب قطر عمود مجوف في حالة وجود احمال الالتواء والانحناء والاحمال المحورية بالعلاقة التالية:

$$d_o^3 \geq \frac{16}{\pi \sigma_{max adm} (1-K^4)} \sqrt{\left[K_f M_f + \frac{\alpha F d (1+K^2)}{8} \right]^2 + (K_t M_t)^2} \quad (37. II)$$

d_o : القطر الخارجي في حالة عمود مجوف (mm).

K_f, K_t : معاملات التحميل (تحدد من الجدول جدول (4.II)).

M_f : الحد الأقصى لعزم الانحناء ($N \cdot mm$).

M_t : الحد الأقصى لعزم الالتواء ($N \cdot mm$).

K : النسبة بين القطر الداخلي و القطر الخارجي في حالة عمود مجوف.

F : القوة المحورية (الشدة او الضغط) (N).

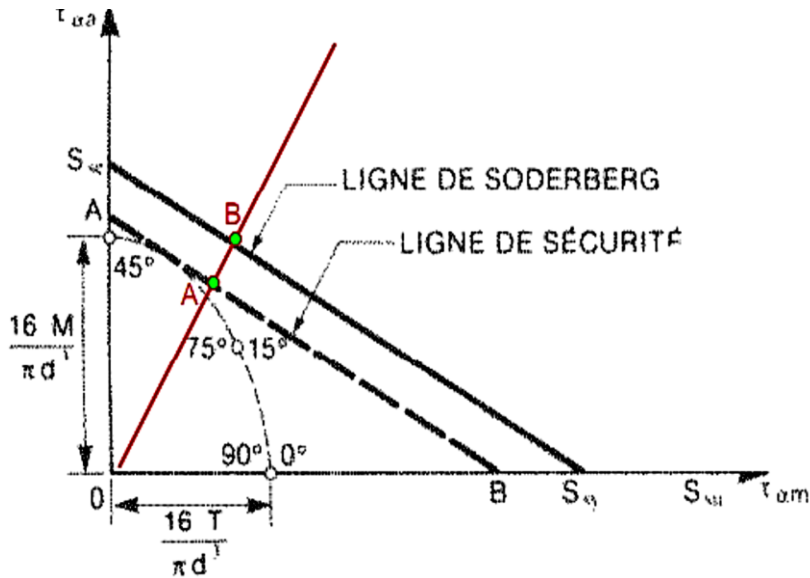
يبين الجدول التالي عوامل التحميل حسب طريقة "ASME":

جدول II.3: قيم عوامل التحميل حسب طريقة "ASME" [4,5].

Kt	Kf	عوامل التحميل
		عمود ثابت
1	1	• حمولة مطبقة ببطء
2-1.5	2-1.5	• حمولة مطبقة بسرعة
		عمود دوار
1	1.5	• حمولة ثابتة أو مطبقة ببطء
1.5 - 1	2 - 1.5	• صدمات دنيا
3-1.5	3-2	• صدمات قصوى

• طريقة القص الأقصى (code Westinghouse):

في الحالات الأكثر شيوعا يخضع العمود لقيود تختلف بمرور الزمن. لناخذ الحالة التي تنتج فيها الأحمال عزم انحناء ثابت M وعزم دوران T [4, 19].



شكل II.18: مخطط Soderberg يوضح خط الامان (AB) [3].

تعطى علاقة معامل الامن بالمعادلة التالية:

$$n = \frac{\pi d^3}{16 \sqrt{\left(\frac{T}{S_{sy}}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_{se}}\right)^2}} \quad (38. II)$$

حيث:

M : عزم الانحناء الأقصى (N . mm).

T : عزم الالتواء الأقصى (N . mm).

d : قطر العمود (mm).

لتصميم عمود، يتم الحصول على قطره باستخدام العلاقة التالية [3]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot n_s}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{T}{S_{sy}}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_{se}}\right)^2}} \quad (39. II)$$

لدينا :

$$S_{sy} = 0.5 \cdot S_y$$

$$S_{se} = 0.5 \cdot S_e$$

ومنه تصبح المعادلة (39.II) كالاتي:

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot n}{\pi} \cdot \sqrt{\left(\frac{T}{S_y}\right)^2 + \left(\frac{M}{S_e}\right)^2}} \quad (40. II)$$

• معيار DE- Soderberg

بتعويض المعادلتين (33 .II) و(34.II) في المعادلة (22. II) نجد [4,19]:

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left\{ \frac{1}{S_e} \sqrt{[4(k_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]} + \frac{1}{S_y} \sqrt{[4(k_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]} \right\} \quad (41. II)$$

ومنه تعطى علاقة القطر كالتالي :

$$d = \left(\frac{16n}{\pi} \left\{ \frac{1}{S_e} \sqrt{[4(k_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2]} + \frac{1}{S_y} \sqrt{[4(k_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]} \right\} \right)^{1/3} \quad (42. II)$$

S_y : اجهاد حد المرونة (N/mm^2) . [11]

• معيار Gerber :

بالتعويض في العبارة (24. II) يتم الحصول على قطر العمود كما يلي [4, 19]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8nA}{\pi S_e} \times \left\{ 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}}\right)^2} \right\}} \quad (43. II)$$

حيث تعطى عبارة A و B كالآتي :

$$A = \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}$$

$$B = \sqrt{4(k_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2}$$

اذن :

$$d = \sqrt[3]{\frac{8n\sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}}{\pi S_e} \times \left\{ 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\sqrt{3(K_{fs} T_m)^2 S_e}}{\sqrt{4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2}}\right)^2} \right\}} \quad (44. II)$$

• معيار DE-Goodman :

يتم تحديد معامل الأمان في معيار الكلال بطريقة Goodman بتعويض معادلتى الاجهاد المكافئ لـ

" Von Mises " (39. II) و (40. II) في معادلة Goodman " (23. II) :

ومنه يعطى معامل الامن بالعلاقة التالية :

$$\frac{1}{n} = \frac{16}{\pi d^3} \left[\frac{1}{S_e} \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2} + \frac{1}{S_{ut}} \sqrt{4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2} \right] \quad (45. II)$$

وبالتالي يحسب قطر العمود بالعلاقة:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[\frac{1}{S_e} \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2} + \frac{1}{S_{ut}} \sqrt{4(K_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2} \right] \right\}^{1/3} \quad (46. II)$$

حيث:

n : معامل الامن .

S_{ut} : حد الخضوع (N/mm^2) .

S_e : حد التحمل (N/mm^2) [19].

12.II الخاتمة:

في ختام هذا الفصل، يمكن القول أن الهدف منه كان دراسة نظرية لمختلف الأحمال والإجهادات المؤثرة على عمود الدوران، تحديد قطره ومعامل الامن المناسبين لتفادي انهياره المتوقع وضمان تشغيله تحت ظروف مناسبة وأمنة. كما تم عرض لبعض الطرق المستعملة أثناء تصميم الأعمدة، والتي يتم من خلالها حساب القطر اللازم للعمود لتحمل هذه الإجهادات التي قد يتعرض لها.

الفصل الثالث

عموميات حول برنامج

SolidWorks

1.III مقدمة :

ان التكنولوجيا دخلت بقوة في كل الميادين ، لإزالة العبء على المصممين من حيث الجهد والوقت فأصبح العمل سريعاً ودقيقاً، وهذا بفضل البرمجيات. يتضمن التصميم المدعم بالحاسوب (CAO) جميع برامج وتقنيات النمذجة، التي تسمح بتصميم النماذج والمنتجات. كما يتيح أيضاً إمكانية محاكاة المنتجات وبالتالي اختبارها افتراضياً قبل تصنيعها ومن ثم يصبح من السهل نقل المعلومات إلى التصنيع بمساعدة الحاسوب (FAO) .

2.III تعريف برنامج SolidWorks :

هو برنامج تصميم مدعماً بالحاسوب (CAO)، صمم سنة 1993 من قبل الناشر الأمريكي SOLIDWORKS، وتم شراؤه سنة 1997 من قبل شركة Dassault Systèmes. هذا البرنامج هو أداة نمذجة حجمية يسمح بإنشاء قطع معقدة ثلاثية الأبعاد، يمكن بعد ذلك استخدام هذه القطع لإنشاء رسومات ثنائية الأبعاد وتجميعات لعدة أجزاء معاً، يستفيد هذا البرنامج من ميزات Windows والمعروف بسهولة الاستخدام [21،22].

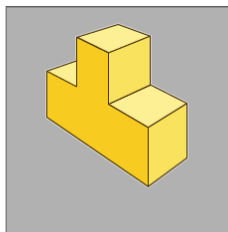
3.III ايقونة برنامج solidworks :



شكل 1.III: ايقونة برنامج solidworks .

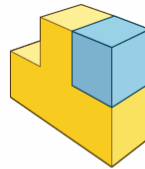
4.III وظيفة برنامج solidworks :

SolidWorks هو برنامج نمذجة ثلاثية الأبعاد، يسمح بإنشاء ثلاث أنواع من الملفات المتعلقة بالأساليب الأساسية التالية: أسلوب قطعة، أسلوب تجميع وأسلوب تمثيل ثنائي الأبعاد. هذه الملفات مترابطة فيما بينها. [23]



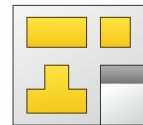
Pièce

Une représentation 3D d'un simple composant de conception



Assemblage

Une composition 3D de pièces et/ou d'autres assemblages



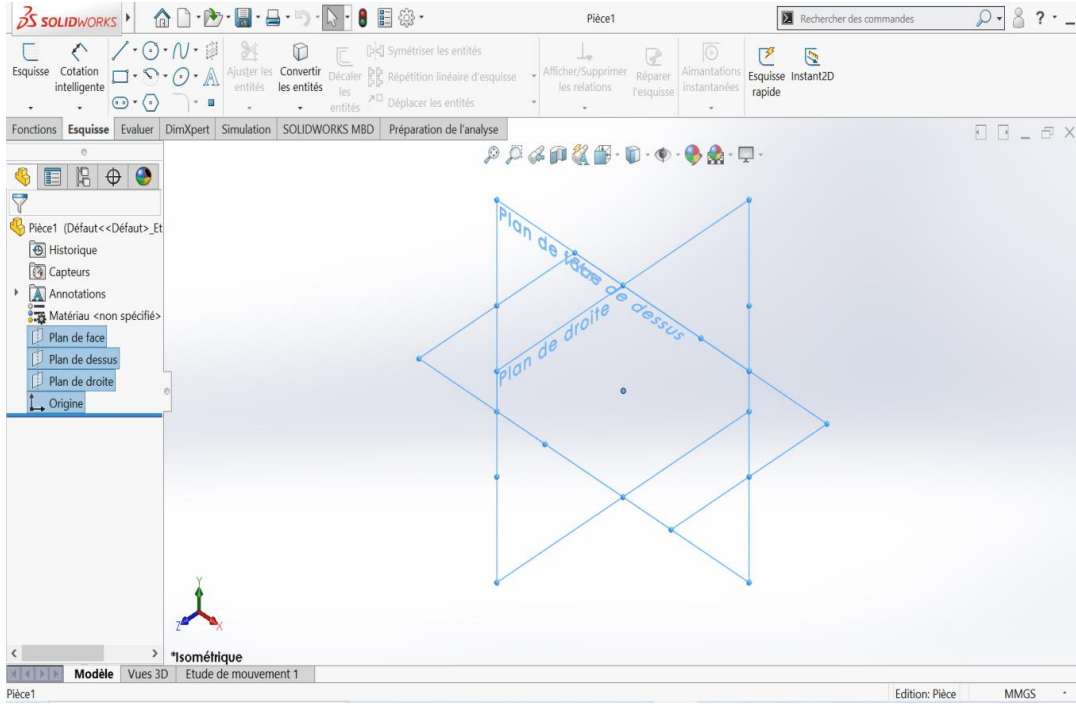
Mise en plan

Une mise en plan d'étude 2D, généralement une pièce ou un assemblage

شكل 2.III: تحديد أسلوب العمل.

1.4.III أسلوب قطعة :

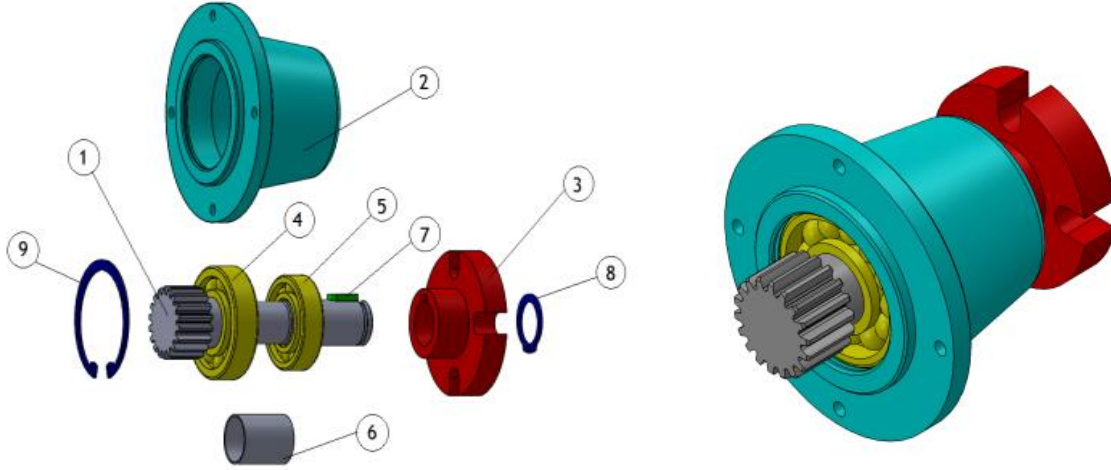
يتم انشاء القطع الميكانيكية عن طريق رسم تخطيطي مصمم على مستوى. هذا الرسم ثنائي الأبعاد مستمد من أشكال هندسية بسيطة مثل: الخطوط والدوائر... الخ. بمجرد أن يصبح الرسم جاهزاً يقدم البرنامج عدة وضائف للتنفيذ. ويمكن تمديدها في اتجاه واحد (التجسيم بإضافة المادة) أو تدويرها حول محور أو القيام بعدة عمليات أخرى [24].



شكل 3.III: واجهة أسلوب قطعة.

III.4.2 أسلوب التجميع :

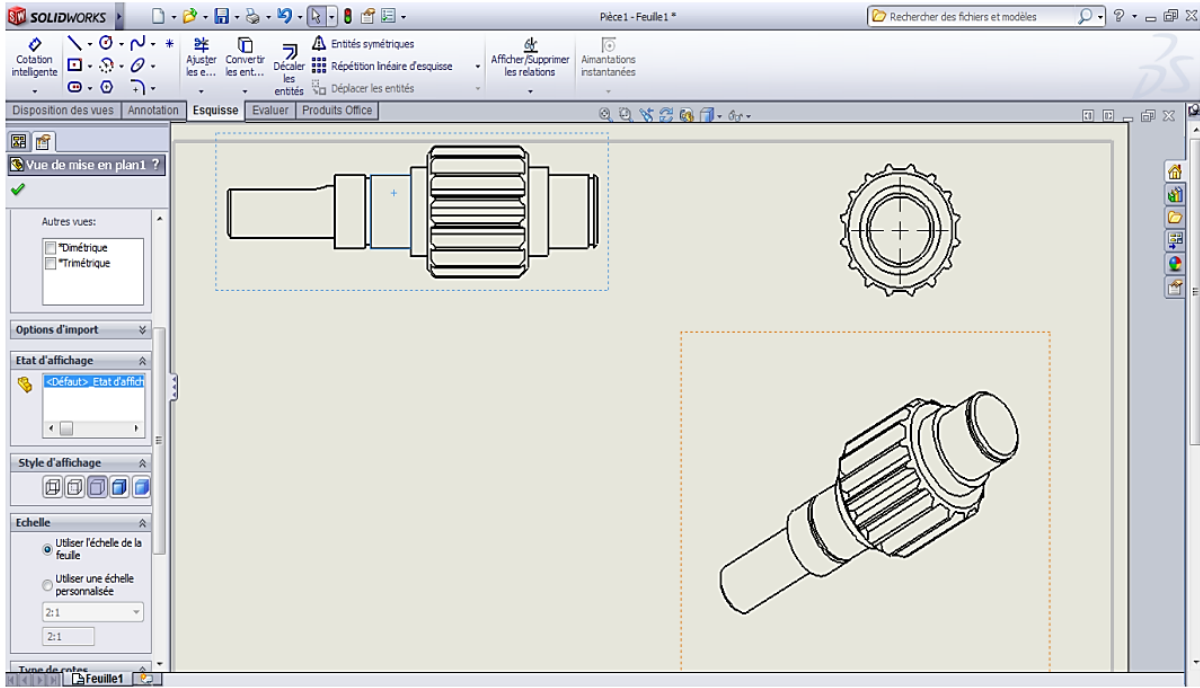
يتم الحصول على هذا الأسلوب من خلال تقريب القطع معا. يتم تحديد موضع القطع بالنسبة لبعضها البعض بواسطة مجموعة من اجبارات التجميع التي تربط بين سطحين معينين بعلاقة هندسية (التطابق، التوازي والتمحور... الخ). يمكن بعد ذلك محاكاة النظام المجمع، ثم إجراء عمليات ضبط بسهولة باستخدام مختلف الأدوات المتاحة (انتقال المكونات، اكتشاف التماسك أو التداخل، وقياس الخلوص، وما إلى ذلك) [24].



شكل III.4: أسلوب تجميع.

III.4.3 أسلوب تمثيل ثنائي الأبعاد :

بمجرد إنشاء القطع والتجميعات، من الممكن إنشاء تمثيل ثنائي الأبعاد لها مع الإدراج التلقائي للأبعاد والوصلات بين التمثيلات ثنائية الأبعاد والنموذج ثلاثي الأبعاد [22].

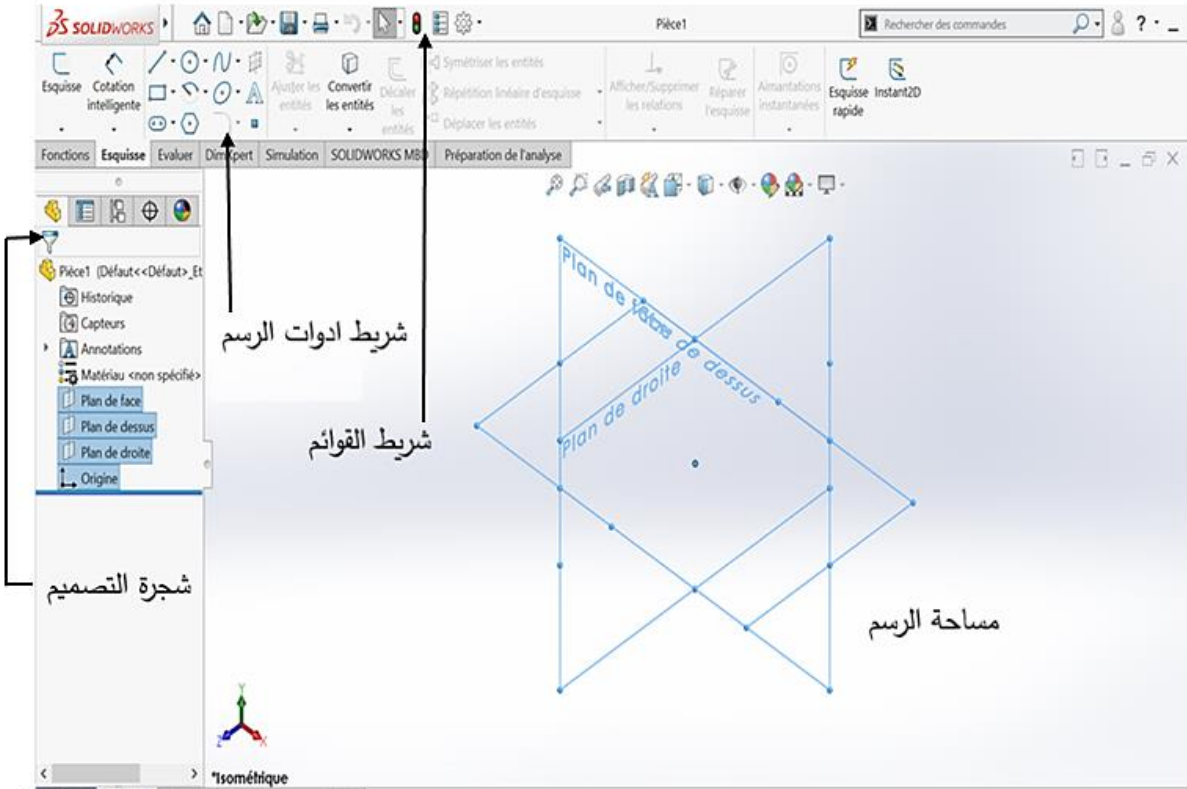


شكل III.5: واجهة أسلوب تمثيل ثنائي الأبعاد [25].

III.5 واجهة المستخدم :

تتألف واجهة المستخدم لبرنامج ال SolidWorks من العناصر الأساسية التالية:

- مدير الأوامر.
- اشربة الأدوات.
- شريط القوائم.
- شريط الحالة.
- شجرة التصميم.
- جزء المهام.
- شريط العنوان.
- مساحة الرسم.
- شريط الأدوات القياسي. وغيرها من العناصر الأخرى [26].



شكل 6.III: واجهة المستخدم.

1.5.III أشرطة القوائم :

هي مجموعة من الأوامر التي يمكن الوصول إليها من خلال النقر على قائمة منسدلة، تشبه أشرطة القوائم في SolidWorks أشرطة القوائم في تطبيقات Windows الأخرى. [27] وهي مبينة في الشكل التالي:




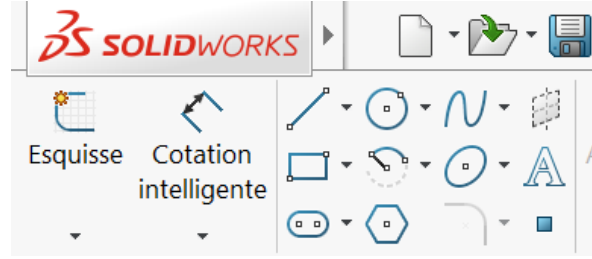
شكل 7.III: شريط القوائم.

2.5.III شريط الأدوات :

تحتوي كل من هذه الاشرطة (شريط أدوات الرسم، شريط أدوات التجميع) على أيقونات فريدة لأدوات محددة، مثل: رسم خط، رسم دائرة، تدوير مسقط أو تكرار دائرة)، وقد تم تصميمها بناء على الوظيفة المطلوبة. [28].

• تحديد الأبعاد:

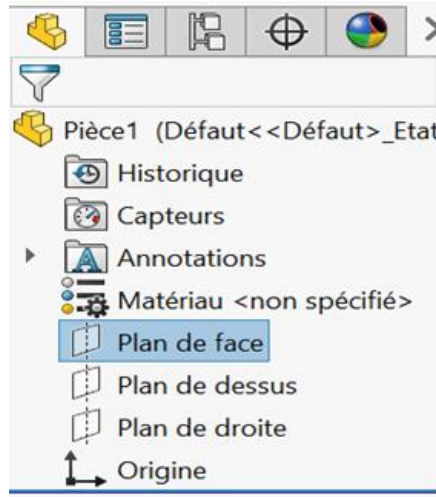
يمكن اضافة الأبعاد على الرسم (الأطوال، انصاف الأقطار... الخ) باستخدام الرمز  ، من خلال شريط أدوات الرسم. يؤدي تغيير الأبعاد الى تغيير حجم القطعة وشكلها بناء على كيفية وضع الأبعاد في الرسم [28].



شكل III.8: شريط أدوات الرسم.

III.3.5 شجرة التصميم :

تقع شجرة تصميم Features Manger على الجانب الايسر من نافذة الرسومات في برنامج Solidworks، يتم فيها عرض تفاصيل حول كيفية إنشاء قطعة، تجميع أو أسلوب ثنائي الأبعاد. [23] وهي موضحة في الشكل التالي:

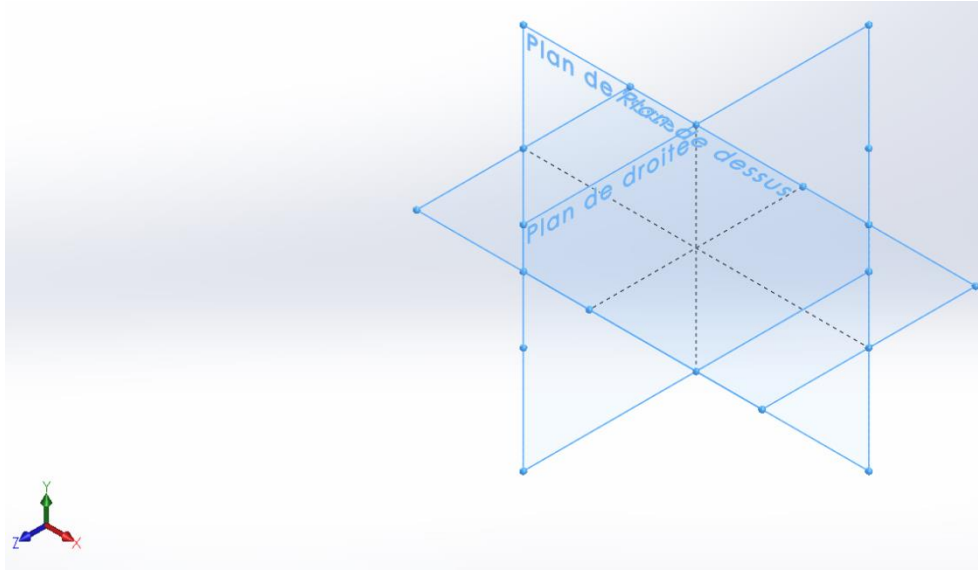


شكل III.9: شجرة التصميم.

III.4.5 مساحة الرسم :

تحتوي المساحة المخصصة للرسم على:

- ثلاثة مستويات رئيسية.
- نقطة المبدأ.
- ثلاثة محاور غير مرتبطة بالمبدأ [29].

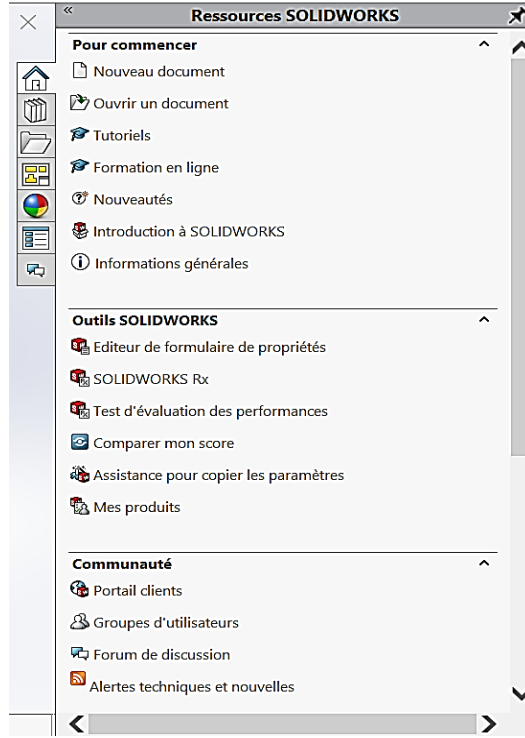


شكل III.10: مساحة الرسم.

III.5.5 جزء المهام :

يظهر هذا القسم في الناحية اليمنى من واجهة البرنامج، يمكن التحكم في إظهاره أو إخفائه عن طريق النقر بزر الفارة الأيمن على شريط الأدوات وتحديد ذلك من خلال القائمة المنبثقة، يحتوي جزء المهام على مجموعة من الأبواب نذكر منها:

- منتدى solidworks.
- مكتبة التصميم.
- مستكشف الملفات.
- لوحة العرض
- المظاهر، المشاهد [29].



شكل III.11: جزء المهام.

III.6 العرض والتوجيه :

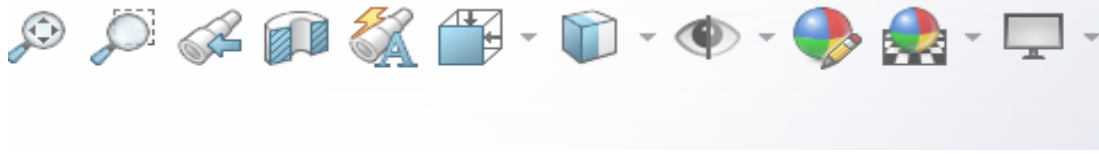
يمكن تحديد مجموعة من طرق العرض المحددة مسبقاً من خلال قائمة منسدلة في شريط أدوات العرض. تتضمن طرق العرض الهندسية القياسية مثل: المسقط الجانبي، الأمامي، العلوي والسفلي ... الخ، بالإضافة إلى ذلك طرق عرض ثلاثية الأبعاد.

• أدوات التوجيه:

يوفر قسم التوجيه في شريط أدوات العرض العديد من الأدوات التي تتيح للمستخدم التحكم يدوياً في اتجاه النموذج بما في ذلك: تكبير أو تصغير النموذج وكذا تدويره، تكبير منطقة معينة، تكبير التحديد... الخ.

• أدوات العرض:

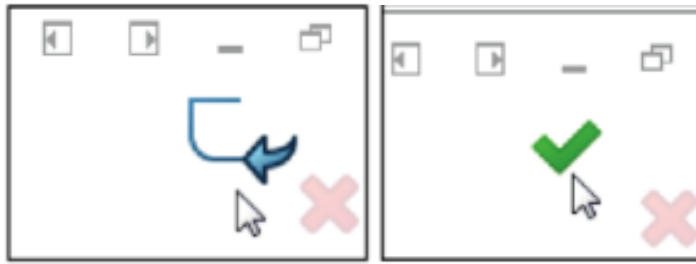
يقدم هذا الجزء من شريط أدوات العرض أوضاع لعرض النموذج والرسم في مستندات الرسم. تتضمن هذه الأدوات ما يلي: تضييل حواف القطعة، اظهار او إزالة الخطوط المخفية عرض المقطع الخ [30].



شكل III.12: أدوات العرض والتوجيه.

III.7 ركن التأكيد :

عندما تكون العديد من أوامر solidworks نشطة، يظهر رمز او مجموعة من الرموز في الزاوية اليمنى العليا من نافذة الرسومات. وتسمى هذه المنطقة ركن التأكيد. عندما يكون الرسم نشطا، يتم عرض رمز أداة الرسم للإشارة ان المستخدم في رسم تخطيطي وعلامة X حمراء كبيرة عند النقر فوقها يتم إلغاء الرسم. عندما تكون الأوامر الأخرى نشطة، بمجرد النقر عليه، تظهر علامة اختيار خضراء عند النقر عليها ينفذ الأمر الحالي. وعلامة X حمراء كبيرة عند النقر فوقها يتم إلغاء الأمر الحالي [31].



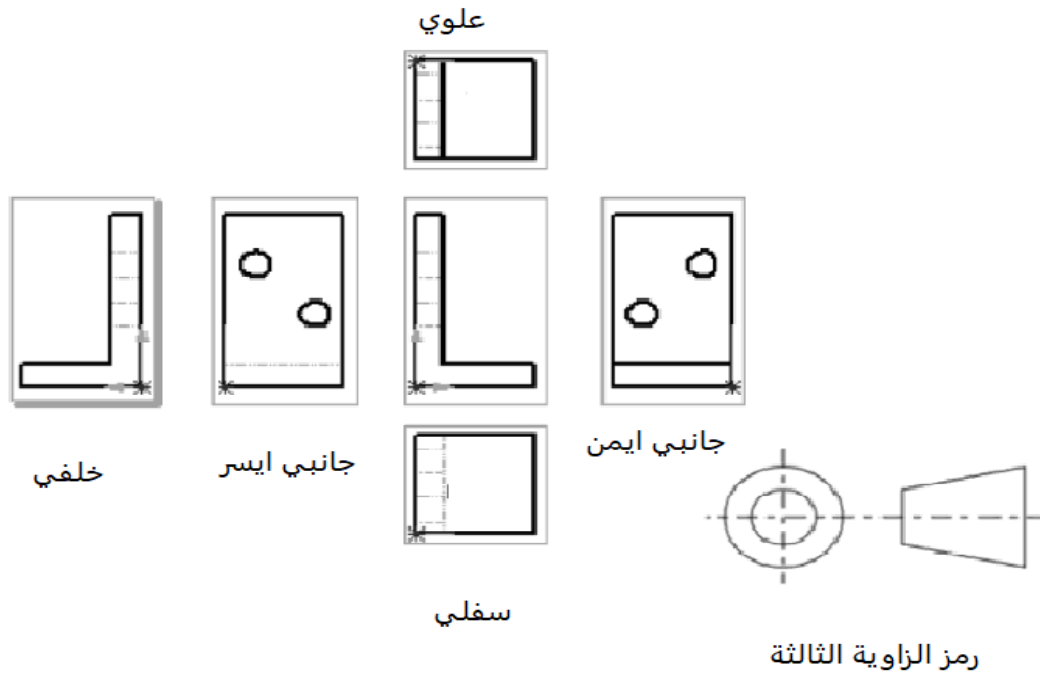
شكل III.13: ركن التأكيد.

III.8 نظامي رسم الإسقاطات الاورتوغرافية:

يوجد نظامان لرسم الإسقاطات. يُسمى النظام الأول إسقاط الزاوية الثالثة ويُسمى النظام الثاني إسقاط الزاوية الأولى. تُشتق هذه الأنظمة من وضع جسم ثلاثي الأبعاد في الربع الثالث أو الأول.

• إسقاط الزاوية الثالثة :

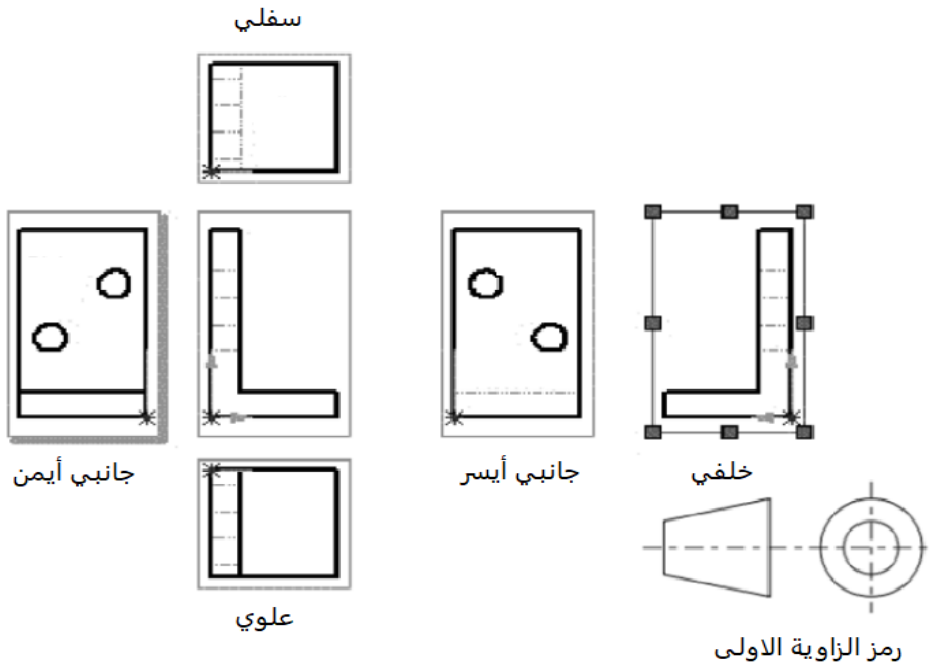
يُوضع الجزء في الربع الثالث في إسقاط الزاوية الثالثة حيث تقع مستويات الإسقاط ثنائية الأبعاد بين المشاهد والجزء. يستخدم معيار الرسم الأمريكي ANSI هذا النوع من الإسقاط. المساقط موضحة على الشكل التالي [13,23]:



شكل III.14: إسقاط الزاوية الثالثة.

• إسقاط الزاوية الأولى:

يُوضع الجزء في الربع الأول في إسقاط الزاوية الأولى حيث تقع مستويات الإسقاط ثنائية الأبعاد خلف المشاهد والجزء. يستخدم معيار الرسم الأوربي ISO هذا النوع من الإسقاط. المساقط موضحة على الشكل التالي: [23,31].



شكل III.15: إسقاط الزاوية الأولى.

9.III معايير الصياغة والوحدات :• **معايير الصياغة:**

هي مجموعة من الخيارات التي تحدد كيفية عرض الرسومات، تُستخدم هذه الخيارات لإنشاء رسومات دقيقة. تحدد المنظمات الوطنية والدولية المختلفة معايير الصياغة الخاصة بها. بعض المعايير الأكثر شيوعاً المستخدمة في SolidWorks هي: ISO، ANSI، BSI، JIS، DIN.

• **معايير الوحدات:**

تُستخدم الوحدات في SolidWorks لقياس الكميات الفيزيائية. هناك نوعان من الوحدات الشائعة المخصصة للأجزاء والرسومات الهندسية:

- **الوحدات الإنجليزية:** تُستخدم البوصة والقدم كوحدات أساسية.
- **الوحدات المترية:** تُستخدم المليمترات والسنتيمتر والمتر كوحدات أساسية [23].

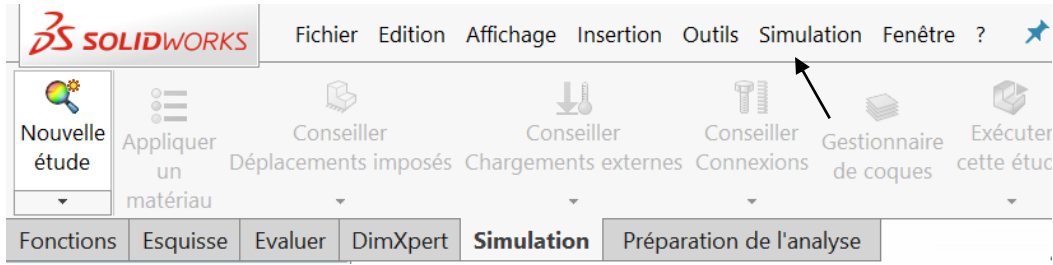
10.III المحاكاة باستخدام برنامج solidworks :

SOLIDWORKS simulation هو برنامج يسمح باختبار السلوك الميكانيكي للقطع افتراضياً قبل تصنيعها ، والذي يستخدم طريقة تحليل العناصر المنتهية (FEA) لتحديد كيفية استجابة القطع الميكانيكية للقوى والاجهادات، كما يتيح أيضاً حل المشكلات الشائعة التي يواجهها المصممون ، مثل تحليل الإزاحات، الإجهادات، الترددات الطبيعية، الاهتزازات، الانبعاج، انتقال الحرارة، وما إلى ذلك [24,32].

III 11 خطوات تفعيل SOLIDWORKS Simulation :

لتفعيل المحاكاة Simulation في برنامج SOLIDWORKS نتحقق أولاً ما إذا كان الجزء الخاص بها من البرنامج نشطاً بالفعل أم لا.

1. البحث عن "Simulation" في كل من القائمة الرئيسية (أعلى يسار الشاشة) وفي قائمة علامات التبويب الموجودة مباشرة فوق وإلى يسار شاشة الرسومات. كما هو موضح في الشكل التالي :

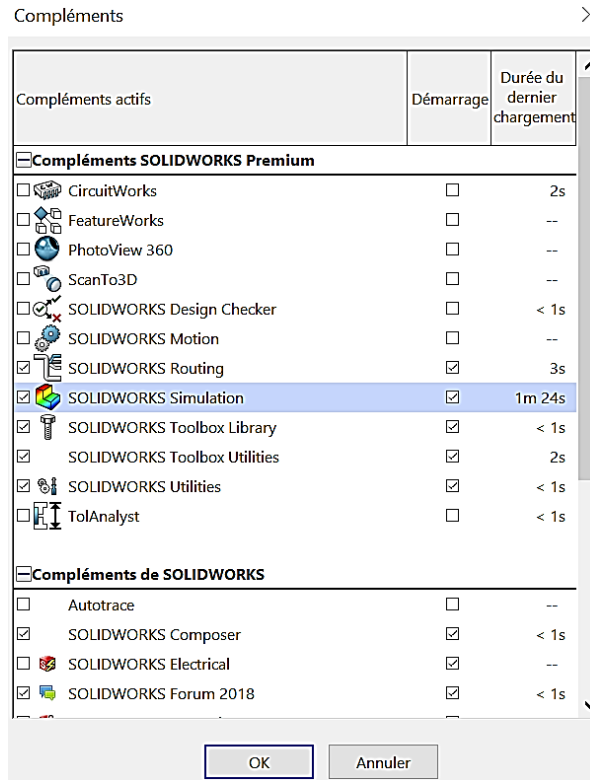


شكل III.16: تنشيط خاصية المحاكاة من خلال شريط القوائم.

إذا لم تظهر في أي من الموقعين، فيتم اتباع الخطوات التالية:

2. النقر فوق "Outils" في الجزء العلوي من نافذة SolidWorks، ثم تحديد الإضافات " Compléments "

من القائمة المنسدلة. تفتح نافذة خاصة بها كما هو موضح في الشكل التالي:



شكل III.17: تفعيل خاصية المحاكاة من خلال الإعدادات.

3. تحديد علامة الاختيار ✓ في كل من العمودين الأيمن والأيسر بجوار Solidworks simulation ، تعمل

علامة الاختيار الموجودة في العمود الأيسر على تنشيط للوضع الحالي، بينما تعمل علامة الاختيار الموجودة

في العمود الأيمن على تنشيط المحاكاة في كل مرة يتم فيها فتح برنامج Solidworks .

4. النقر فوق "ok" لإغلاق نافذة الوظائف الإضافية [33].


12.III خطوات المحاكاة :

• الخطوة الأولى : بدا التحليل.

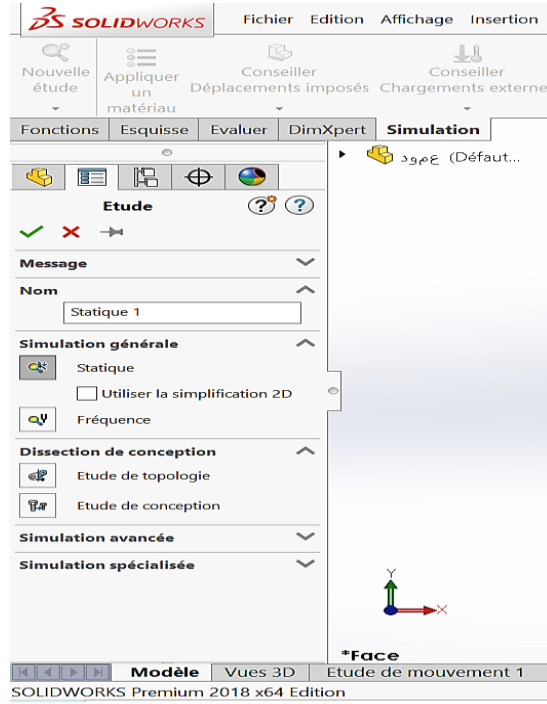
1. النقر فوق "simulation"، ثم اختيار "Nouvelle étude" من القائمة الرئيسية لبرنامج SolidWorks الموجودة أعلى الشاشة .

2. اختيار دراسة جديدة "Etude apparait" تحت الاسم .

3. تحديد "statique" ضمن النوع.

4. النقر على .

- يسمح برنامج SolidWorks Simulation بإنشاء شجرة تصميم محاكاة ضمن شجرة تصميم Features Manager، كذلك يتم إنشاء علامة تبويب في أسفل النافذة للتنقل بين الدراسات المتعددة والنموذج الخاص بالمستخدم [34].



شكل 18.III: واجهة بدا التحليل.

• الخطوة الثانية: تطبيق المواد.

تعتبر المادة مدخلاً أساسياً لأي تحليل، حيث ترتبط نتيجة التحليل ارتباطاً مباشراً بمادة صنع القطع. يتطلب تحديد المادة اتباع الخطوات التاليتين:

1. اختيار المادة.

2. تخصيص المادة (إما لجميع المواد الصلبة في النموذج، أو الأجسام المحددة لجزء متعدد الأجسام، أو للمكونات المحددة للتجميع).

• يتم تطبيق المواد على نموذج المحاكاة من خلال:

1. النقر بزر الفأرة الأيمن فوق "Pièces" في شجرة إدارة المحاكاة SolidWorks، ثم اختيار تطبيق المادة على الكل "Appliquer le matériau à tout".

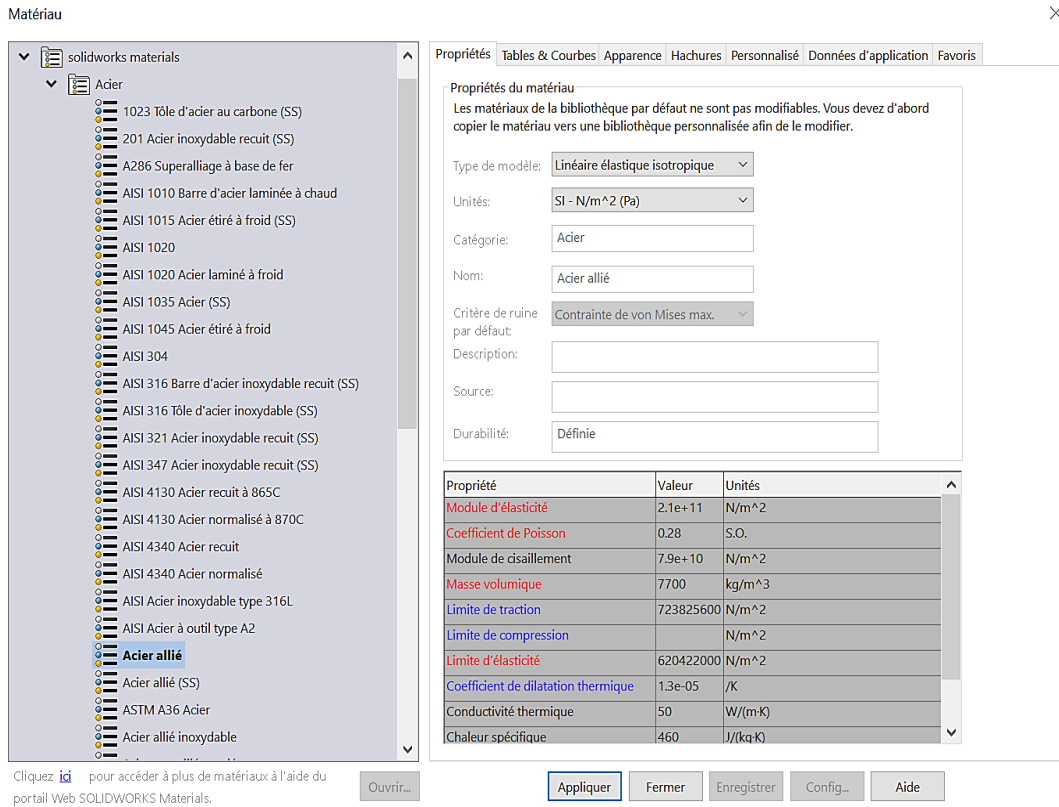
2. يظهر مربع حوار المادة :

أ) اختيار " A partir de fichiers de bibliothèque " .

ب) تحديد " matériaux solidworks " كمكتبة المواد.

ج) النقر فوق علامة الزائد (+) الموجودة بجوار فئة المواد "Acier" ثم تحديد " Acier allié "


3. النقر فوق "Appliquer" [35].

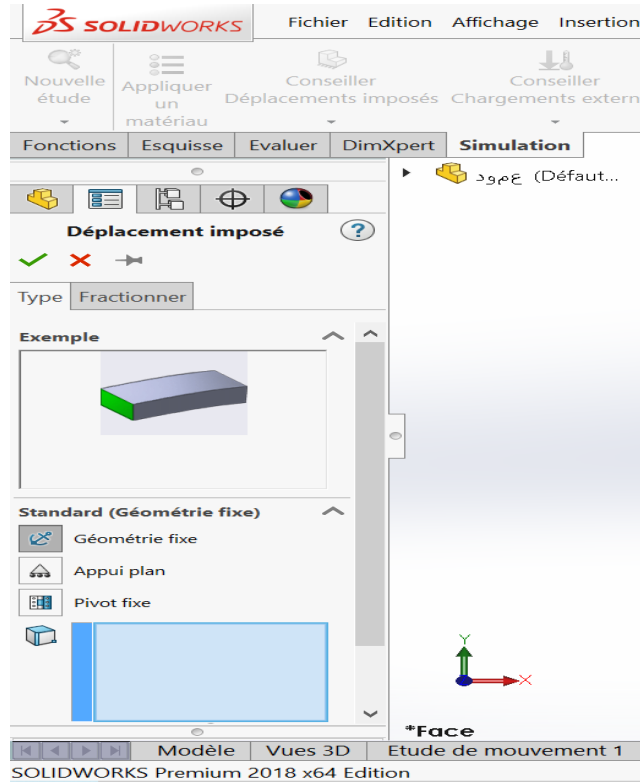


شكل III.19: واجهة تطبيق المواد.

• الخطوة الثالثة: تطبيق التثبيت.

لإجراء أي تحليل، من المهم تثبيت القطع ببعض القيود بحيث يمكن التحقق من تأثير القوى المطبقة عليها. تعتبر التركيبات الموجودة في أداة محاكاة solidworks ترابطية بالكامل ويتم ضبطها تلقائياً مع كل تغيير في هندسة النموذج. يتم إدخال التركيبات إما من خلال شريط أوامر solidworks Simulation أو من خلال شجرة الدراسة الخاصة بالمحاكاة باتباع الخطوات التالية:

1. النقر على أيقونة " Déplacements imposés " من القائمة المنسدلة.
2. تحديد نوع التثبيت " Géométrie fixe "
3. تحديد الاسطح التي سيتم اجراء التثبيت عليها.
4. النقر فوق  . [35,36]



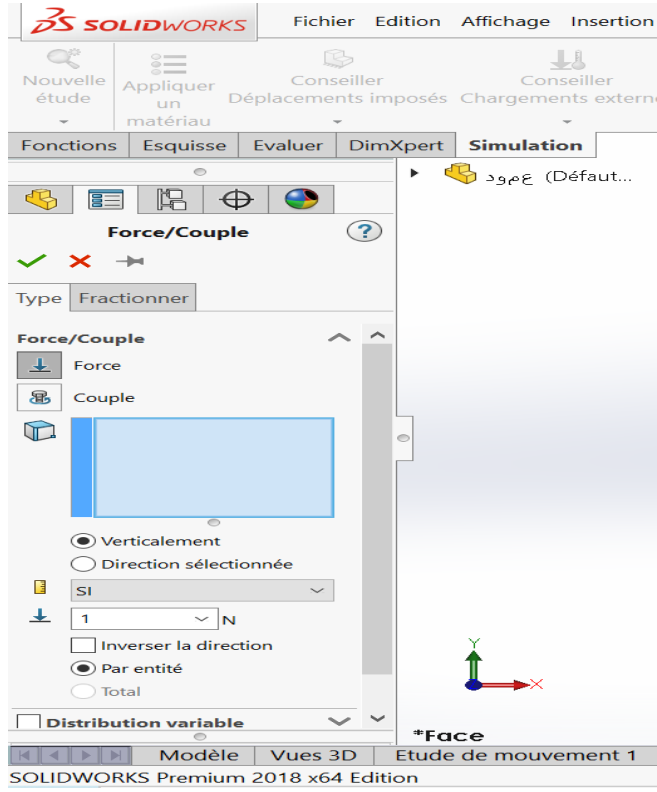
شكل III.20: واجهة تطبيق التثبيت.

• الخطوة الرابعة: تطبيق الاحمال.

يتم تطبيق الاحمال الخارجية من خلال:

1. النقر بزر الفأرة الايمن على مجلد "Chargements externes" من شجرة الدراسة الخاصة بالمحاكاة.
2. تحديد " Force " من القائمة المنبثقة.

3. تظهر نافذة خصائص forces/couple [32]. وهي موضحة في الشكل التالي:



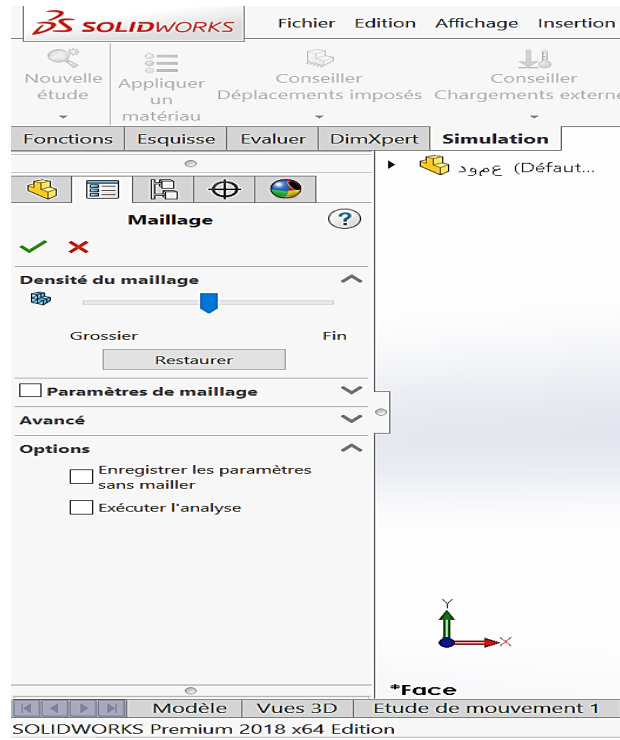
شكل III.21: واجهة تطبيق الاحمال.

• الخطوة الخامسة : ربط التجميع.

تعتبر هذه المرحلة الأخيرة في إعداد النموذج للتحليل وذلك من خلال إنشاء شبكة من العناصر المتناهية في النموذج الصلب. تتم عملية الربط من خلال:

1. النقر بزر الفأرة الأيمن فوق أيقونة "Maillage" في شجرة مدير المحاكاة.
2. تحديد "Créer le maillage" من القائمة المنسدلة.
3. النقر فوق لقبول القيم الافتراضية فيبدأ الربط تلقائياً.

بعد اكتمال الربط يعرض محاكاة SOLIDWORKS النموذج المتشابك [37].



شكل III.22: واجهة ربط التجميع.

• الخطوة السادسة: تنفيذ التحليل.

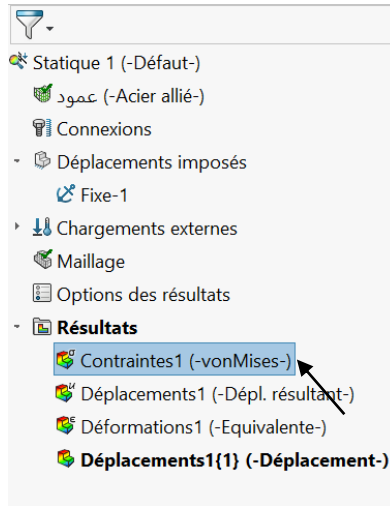
يتم تنفيذ التحليل من خلال:

1. النقر بزر الفأرة الأيمن على اسم الدراسة في شجرة دراسة المحاكاة.
2. النقر على "Exécuter cette étude" لبدء التحليل.
3. انشاء SolidWorks Simulation تلقائيا مخططات النتائج الافتراضية في مجلد النتائج بعد اكتمال التحليل [34].

• الخطوة السابعة: عرض النتائج.

- اجهاد Von Mises:

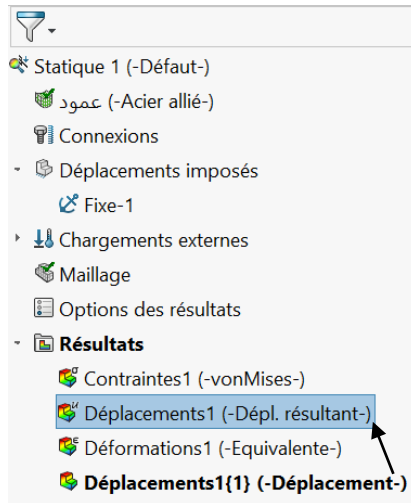
1. النقر فوق علامة الزائد (+) المجاورة لمجلد النتائج. فتظهر جميع أيقونات الرسم الافتراضية.
2. النقر مرتين فوق "Contraintes1 (Von Mises)" لعرض مخطط الاجهاد. [34]



شكل III.23: واجهة نتائج اجهاد (Von mises).

- نتائج الإزاحة :

1. النقر مرتين فوق ايقونة "Déplacements1 (Dépl. Résultant)" لعرض مخطط الإزاحة الناتج [34].



شكل III.24: واجهة نتائج الازاحة (Dépl. Résultant).

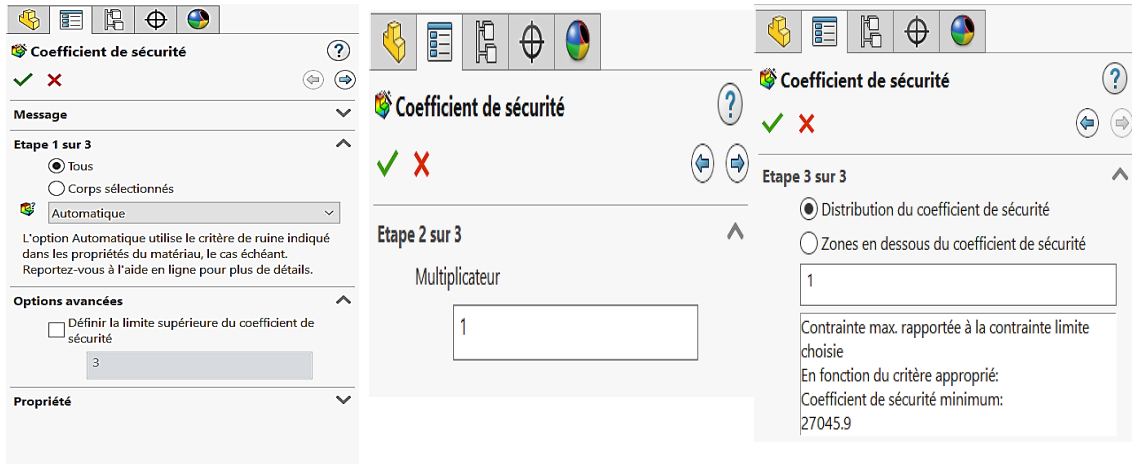
- معامل الأمان :

- توضح النوافذ (الشكل III.25) الخطوات الثلاث في تعريف مخطط معامل الأمان. حيث يتم التنقل عبر الخطوات من خلال النقر فوق السهمين الأيمن والأيسر الموجودين أعلى مربع حوار معامل الأمان.

- 1- تحديد معيار الإجهاد الأقصى ل VonMises.

2- تحديد وحدات العرض، حد الضغط ومعامل الضرب.

3- تحديد "zones en dessous du coefficient de sécurité" وادخال الرقم [36].3



شكل III.25: خطوات تعريف مخطط معامل الامن .

III.13 خاتمة :

في هذا الفصل عرضنا نظرة عامة حول برنامج SolidWorks وتطرقنا الى أساليب العمل فيه، ثم تفصلنا في الأدوات والوظائف التي تسمح بإنشاء التصاميم الهندسية المختلفة، وانتقلنا بعد ذلك إلى أحد تطبيقاتها المتكاملة SolidWorks simulation والتي تلعب دورا هاما في تحسين عملية تصميم المنتجات وضمان سلامتها وفعاليتها وكذلك زيادة الإنتاجية.

الفصل الرابع

الجزء التطبيقي

1.IV مقدمة :

هذا الفصل مخصص للجانب التطبيقي لموضوع دراستنا، حيث سنعرض فيه نبذة تاريخية لمصنع الاسمنت حجار السود بصفته يحتوي على القطعة الميكانيكية "عمود التحكم Redler" محل دراستنا والذي ينتمي الى جهاز ناقل الاسمنت "Redler". يتضمن هذا الفصل هدف أساسي وهو : حساب قطر العمود والتحقق منه لمقاومته للكلل، ثم تحليل النتائج المحصل عليها وذلك بطريقة: ASME ومعيار DE-Soderberg و Gerber. والهدف الثاني إجراء المحاكاة باستعمال برنامج Solidworks من أجل تحديد المناطق الحرجة التي يتعرض لها العمود تحت تأثير الاجهادات المطبقة عليه.

2.IV نبذة تاريخية عن مصنع الاسمنت حجار السود :

تم اعداد دراسة مشروع مصنع الاسمنت من قبل شركة " لافارج الفرنسية " (LAFARGE) عام 1954. يتم توفير المواد الاولية من محاجر الحجر الجيري في " جبل صفية " (DJABELSAFIA) والطين في واد الكبير (OUED EL KEBIR)، حيث تقع هذه المحاجر على بعد 7 كليو مترات و 3 كليو مترات من المصنع على التوالي. تم تكليف شركة "لافارج" بدراسة الرواسب في سنة 1967. ليبلغ جيولوجي الشركة السيد " فرادراو" خلال اجتماع صناعات الطاقة الموافق ل 4 مارس 1968 ان اول بحث تم اجراؤه في عام 1969 قاد "لافارج" الى استنتاج مفاده ان احتياطي " جبل صفية " كان أكثر ملائمة من تلك المتوقعة ، في عام 1969 تم إطلاق مشروع تصنيع الخط الاول من قبل الشركة الفرنسية (F.C.B) والذي بدأ بالإنتاج بعد أربع سنوات ليليه تصنيع الخط الثاني وبدئه في الانتاج سنة 1975 ،وقد تم بناء ورشة عمل (الخام والاسمنت) من قبل الشركة اليابانية "كاوازاكي (KAWAZAKI) " والفرن من قبل فرنسا.

تتكون رواسب " جبل صفية " بشكل اساسي من 55 من الحجر الجيري (LAIS) النقي والمتجانس احتياطات الحجر الجيري 150.000.000 فوق مستوى 115 متر الذي يمثل 100 من العمر لخطي المصنع [38].

1.2.IV بطاقة فنية عن المجمع الصناعي للإسمنت GICA :

جدول 1.IV بطاقة فنية لمصنع " جيكا " [38].

الجنسية	جزائرية
تاريخ التأسيس	26 نوفمبر 2009
نوع العمل	عمل تجاري
الشكل القانوني	شركة مساهمة
عدد شركاتها التابعة	23
طبيعة الصناعة	مادة بناء
المنتجات	إسمنت
المقر الرئيسي	طريق الدار البيضاء. مفتاح. البليدة. الجزائر
موقع الويب	GICA.DZ



شكل 1.IV: مدخل مصنع الاسمنت حجر السود.

3.IV مهام فريق جيكا :

فيما يلي موجز لمجالات النشاط الناتجة اساسا من مهام وصلاحيات مجموعة GICA:

- دعم وتطوير ووضع الخطط (الاجراءات والبحوث والمخططات المالية ... الخ) المتعلقة بتنفيذ هذه الاستراتيجية وضمان تحديثاتها إذا لزم الامر.
- ادارة وتنمية محفظة الاسهم والحصص المحتفظ بها في الشركات التابعة.
- تعزيز وتطوير الانشطة في إطار لشركات.
- ضمان التكامل المتناغم لنشاطها في إطار حماية البيئة وتثمين الموارد الوطنية.
- على هذا النحو فان لها مهمة ثلاثية: صناعية واقتصادية ومالية وكذلك برامج المصلحة العامة مثل: ضمان الامداد المنظم للاسمنت المخصص بشكل خاص لهيكله المشاريع وتعزيز التنمية المستدامة وتشجيع المشاركة في اعمال التضامن الوطني [38].

4.IV الموقع الجغرافي لمصنع الاسمنت حجار السود :

يقع مصنع حجار السود على محور الطريق الوطني رقم 44 الذي يربط عنابة وقسنطينة وسكيكدة، يبعد 50km عن عنابة و45km عن سكيكدة وهو جزء من بلدية بكوش لخضر دائرة بن عزوز ولاية سكيكدة. تبلغ مساحة القاعدة الارضية لمصنع الاسمنت 29ha،45a 40ca ويمتد على طول خط السكة الحديد التي يتصل بها قسم من المسار الداخلي ومناخ المنطقة شبه استوائي ويتميز بشتاء ممطر وصيف حار. [38]

5.IV عرض المصنع :

شركة الاسمنت "حجر السود" (SCHS) هي شركة تابعة لمجموعة "جيكا" (GICA) براس مال مسجل قدره 1.550.000.000 دج اعتبارا من 01 فبراير 2008 دخلت في شراكة مع الشريك الاجتماعي الايطالي "بوزي يونيكيم" (BUZZI-UNICEN) بنسبة 35% ومجموعة "جيكا" (GICA) بنسبة 65% بدا المصنع في الانتاج عام 1973 ويتكون من خطين للتصنيع بطاقة انتاجية تبلغ 900000 طن:

- الخط 1: تاريخ البدء 1973 سعة 1250 طن/يوم كلنكير (Clinker).
- الخط 2: بدء التشغيل في 1975 (اضافة الة التكليس الاولى في 1993 لزيادة السعة الى 1800 طن/يوم من كلنكير).

يشتغل مصنع الاسمنت حجار السود محجرتين، مقلع الحجر الجيري في جبل صافية ومحجر الطين في الواد الكبير، وتشكل احتياطات المواد الخام الرئيسية لمصنع حجار السود. [38]

1.5.IV مقلع الحجر الجيري :

يقع على مسافة 8km من المصنع وعلى بعد 59km من عنابة، وينتشر على مسافة 192 هكتار وتقدر الاحتياطات الجيولوجية القابلة للاستغلال بأكثر من 150 مليون طن ويستخرج بواسطة المتفجرات.

2.5.IV محجر الطين :

يقع على مسافة 4km من المصنع ومساحتها 72 هكتارا، تحتوي على احتياطات تقدر ب 06 مليون طن.

3.5.IV الرمل :

يستخدم في صناعة الخليط الخام ويحتوي على كمية جيدة " السليكا " (silice) ويتم توفيره من قبل مصنع اسمنت "Elma labiad" في ولاية تبسة.

4.5.IV خام الحديد :

يتم توفيره من فرفوس (منجم الوزنة).

5.5.IV الجبس :

يستخدم في صناعة الاسمنت بنسبة 5% ويتم توفيره بواسطة عربات وشاحنات من عين مليلة.

6.5.IV الخبث :

يتم توفيره من مجمع ارسيلورميتال-عنابة للصلب الذي يقع على بعد 50km

وتبلغ نسبة مشاركة مصنع الاسمنت في انتاج مجموعة جيكا 20.14% اما حصتها في الانتاج الوطني للإسمنت فهي 8.30% [38].

7.IV المعطيات التقنية :

1.7.IV تحديد الموقع :

جهاز نقل الأسمنت Redler هو نظام يستعمل في العديد من المنشآت الصناعية، انه مصمم لنقل مسحوق الاسمنت بكميات كبيرة على مستوى أفقي. يتميز هذا النوع من الناقلات بقدرته على نقل المواد بكفاءة عالية، جد اقتصادية ولمسافات طويلة نوعا ما، مما يساهم بشكل كبير في توفير الوقت، الجهد والتكاليف المطلوبة لنقل الاسمنت.



شكل 3.IV: جهاز ناقل الاسمنت Redler.

2.7.IV عمود التحكم Redler :

يقوم المحرك الكهربائي بنقل الحركة الدورانية الى مخفض السرعة عن طريق قارئة ومن المخفض الى عمود التحكم عن طريقة قارئة اخرى، لتصل الحركة الدورانية الى العجلة المسننة وبواسطة السلاسل المثبة على هذه الاخيرة ليتم جر مسحوق الاسمنت الى مكان آخر بواسطة الصفائح الساحبة للمسحوق. يعد عمود التحكم محل الدراسة عنصراً محورياً في جهاز النقل Redler، تتمثل وظيفته الأساسية في نقل الحركة الدورانية والاستطاعة اللازمة لتشغيل النظام بأكمله من المخفض الى بقية أجزاء الناقل.

عمود التحكم Redler



شكل 4.IV: موقع عمود التحكم Redler في النظام.

3.7.IV الخصائص الكيميائية و الميكانيكية لمادة العمود :

مادة صنع عمود التحكم Redler هي: C45 ، يعطى التركيب الكيميائي لهذه المادة كالتالي :

الجدول 2.IV: التركيب الكيميائي للصلب C45 [5].

C%	Si%	Mn%	P%	S%
0.42-0.48	0.15-0.35	0.60-0.90	0.03	0.035

اما الخصائص الميكانيكية لهذه المادة معطاة في الجدول الموالي :

الجدول 3.IV: الخصائص الميكانيكية للصلب C45 [5].

الكثافة (Kg/m ³)	معامل يونغ (GPa)	حد الخضوع (MPa)	حد المرونة (MPa)
7700-8030	190-210	569-686	343-490

8.IV تنفيذ المحاكاة وحساب قطر العمود:

1.8.IV تنفيذ المحاكاة :

تمكننا المحاكاة باستخدام برنامج SolidWorks Simulation من اختبار سلوك العمود محل الدراسة قبل تصنيعه، وذلك بتحديد المناطق الحرجة فيه كونه يتعرض لقوى وإجهادات أثناء أدائه الوظيفي في الجهاز، وبفضل هذه المحاكاة، نستطيع تحديد نقاط الضعف في تصميمه وتصحيحها قبل تصنيعه، مما يوفر لنا الوقت والتكاليف ويضمن جودة نهائية للعمود.

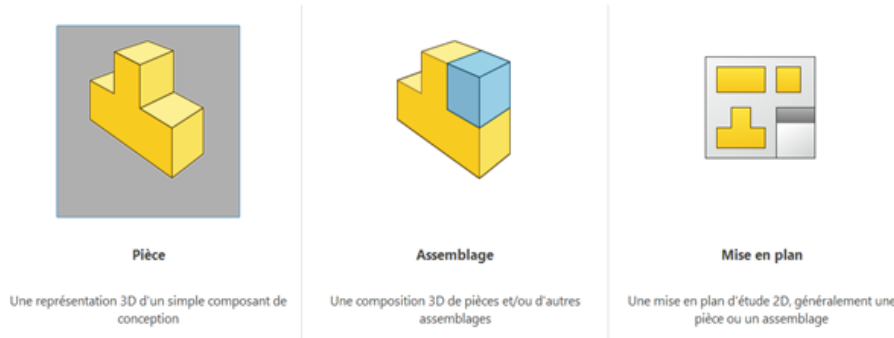
وقبل تنفيذ هذه المحاكاة وجب علينا تصميم العمود وذلك بإنجاز تمثيل ثلاثي الأبعاد باستخدام هذه البرمجية التي كنا قد تطرقنا في الفصل السابق الى اهم الأدوات والوظائف التي تحتويها، في المرحلة الأولى سنقوم بعرض اهم خطوات التصميم ثنائي وثلاثي الأبعاد للعمود محل الدراسة ثم ننتقل الى اختباره افتراضيا قبل تصنيعه بواسطة هذه البرمجية.

1.1.8.IV تصميم العمود بأسلوب ثلاثي الأبعاد (3D) :

يتم رسم العمود حسب الخطوات التالية:

• الخطوة الأولى: تحديد أسلوب العمل

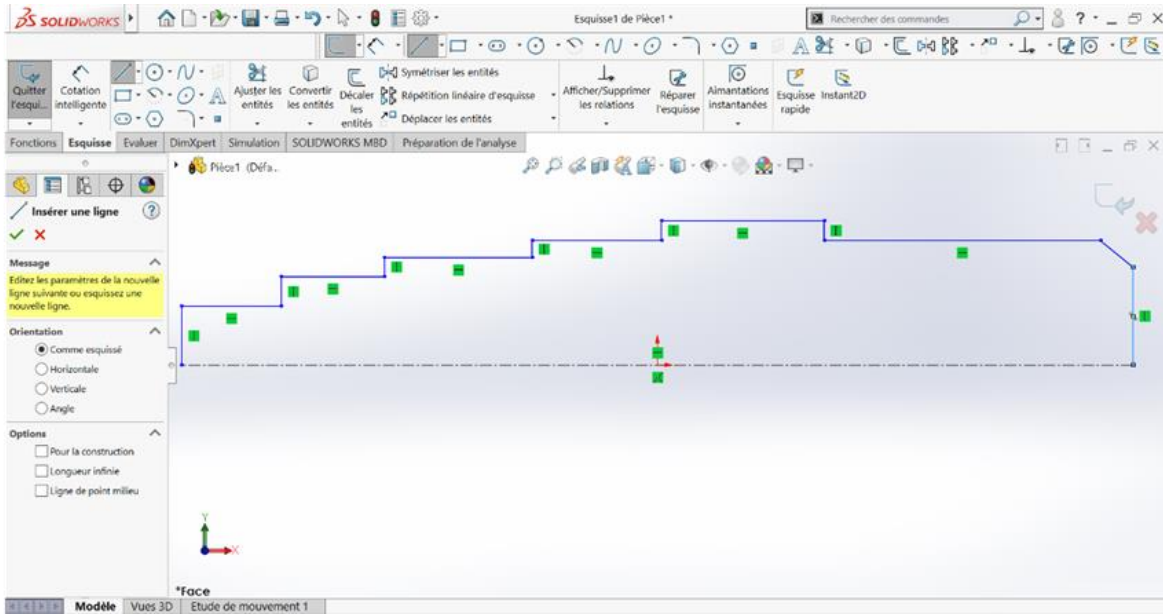
بعد فتح ايقونة البرنامج تظهر واجهة تمثل أساليب العمل الثلاث، نختار أسلوب قطعة pièce.



شكل IV . 5: تحديد أسلوب العمل .

• الخطوة الثانية: رسم العمود

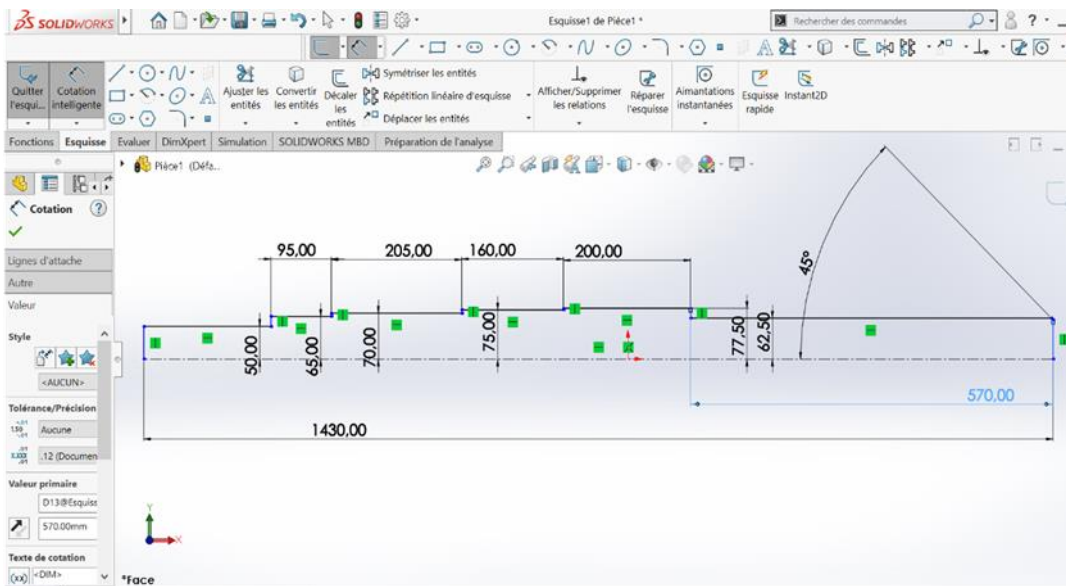
بعد ان تظهر الواجهة المخصصة للرسم نختار مستوي للرسم، ثم نبدأ برسم محور العمود من نقطة المبدأ ومختلف أسطحه.



شكل IV . 6: رسم العمود.

• الخطوة الثالثة: تحديد أبعاد العمود

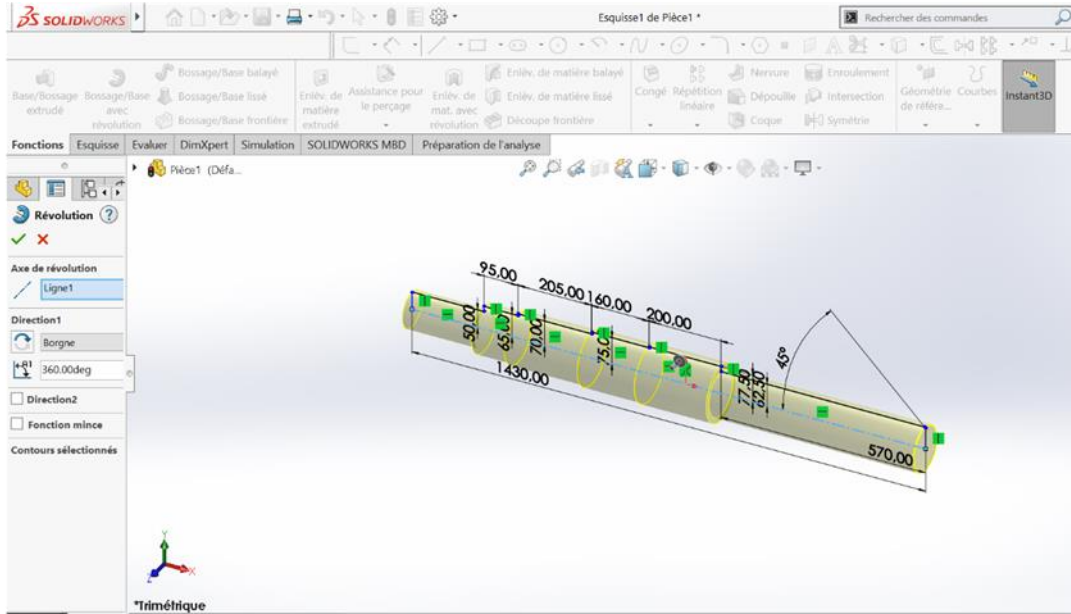
يتم تحديد ابعاد العمود بالنقر على: " cotation intelligente " من شريط أدوات الرسم.



شكل IV . 7: تحديد ابعاد العمود.

• الخطوة الرابعة: تجسيم العمود حول المحور

يتم انشاء الحجم الكامل للعمود بالنقر على "fonction" ثم اختيار "Bossage/Base avec révolution".



شكل IV. 8: تجسيم العمود حول المحور.

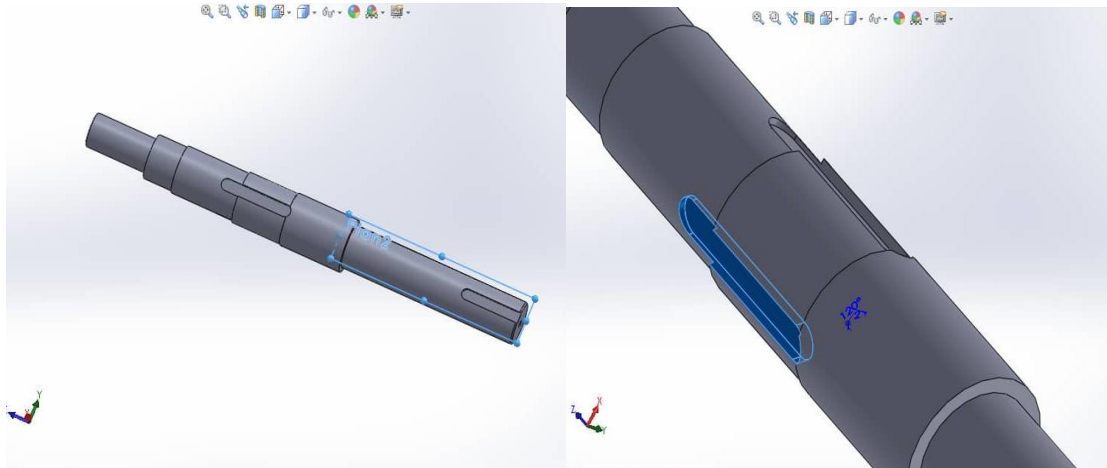
• الخطوة الخامسة: انجاز مجاري الخوابير الثلاثة

يتم في هذه المرحلة إنجاز الخوابير الثلاثة والتي تحدد أبعادها كالتالي:

الخابور الأول: $230 \times 36 \times 12$

الخابور الثاني: $230 \times 36 \times 12$

الخابور الثالث: $190 \times 32 \times 11$

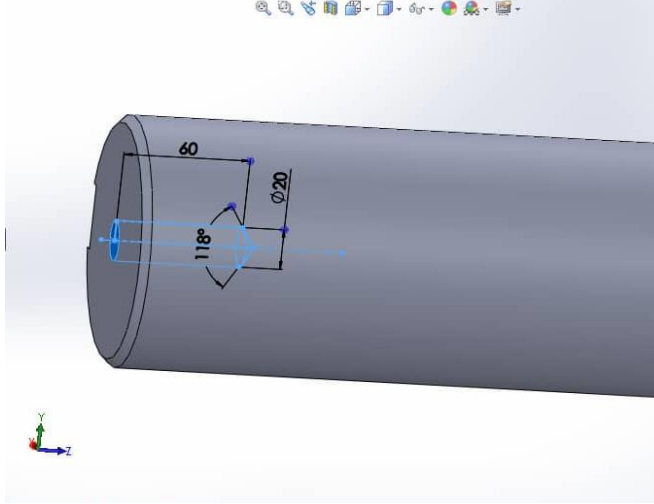


شكل IV. 9: انجاز الخوابير على العمود.

- الخطوة السادسة: انجاز الثقب

يتم إنجاز الثقب في نهاية العمود بالأبعاد التالية:

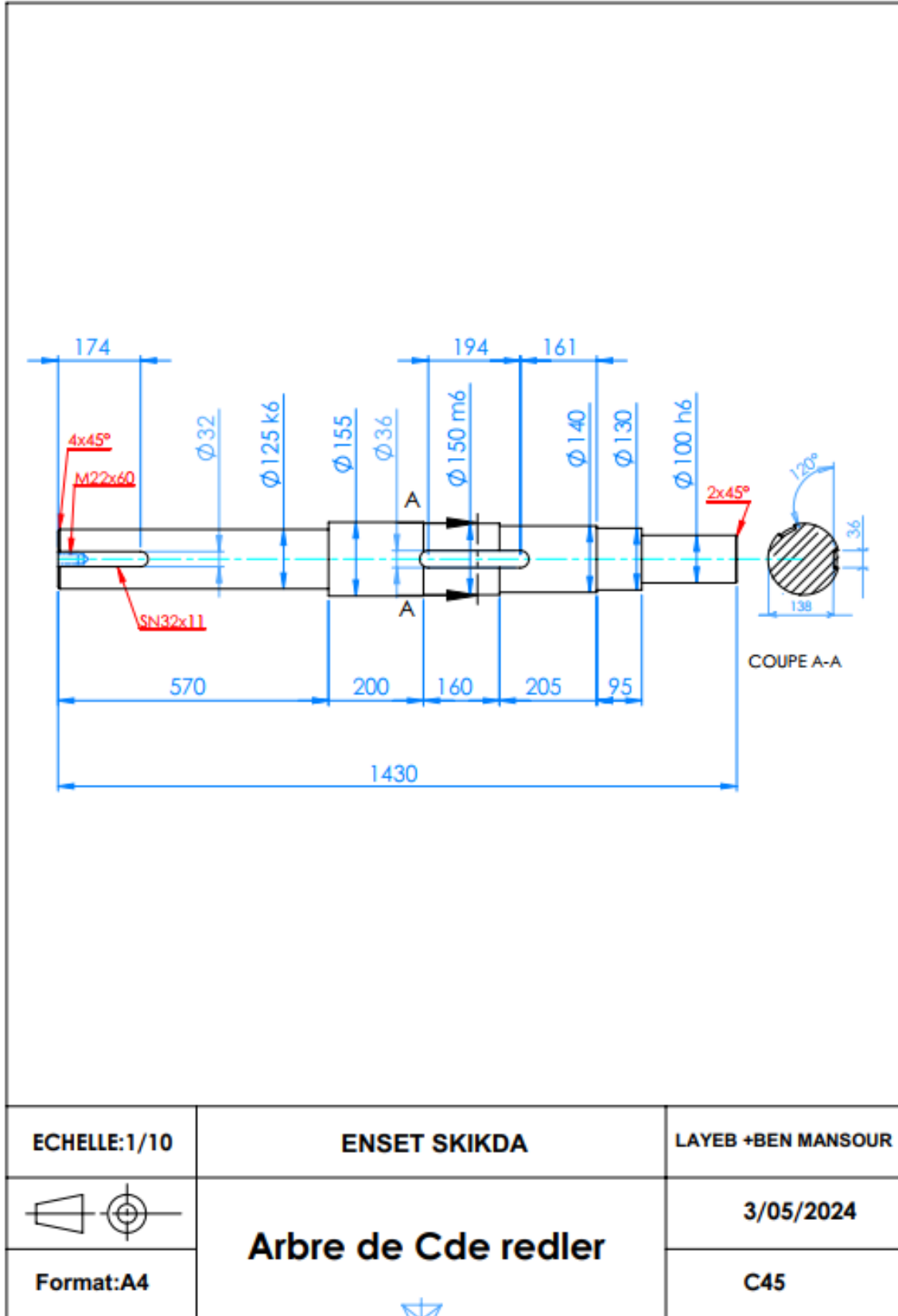
$$\varnothing 22 \times 60$$



شكل 10.IV: انجاز الثقب على العمود.

2.1.8.IV تصميم العمود بأسلوب ثنائي الأبعاد (2D):

بعد إنشاء تصميم ثلاثي الأبعاد للعمود باستخدام أسلوب قطعة، ننتقل الى إنشاء تمثيل ثنائي الأبعاد وذلك بتحديد ورقة رسم ذات حجم A4، ثم تحديد الأبعاد الضرورية للعمود:



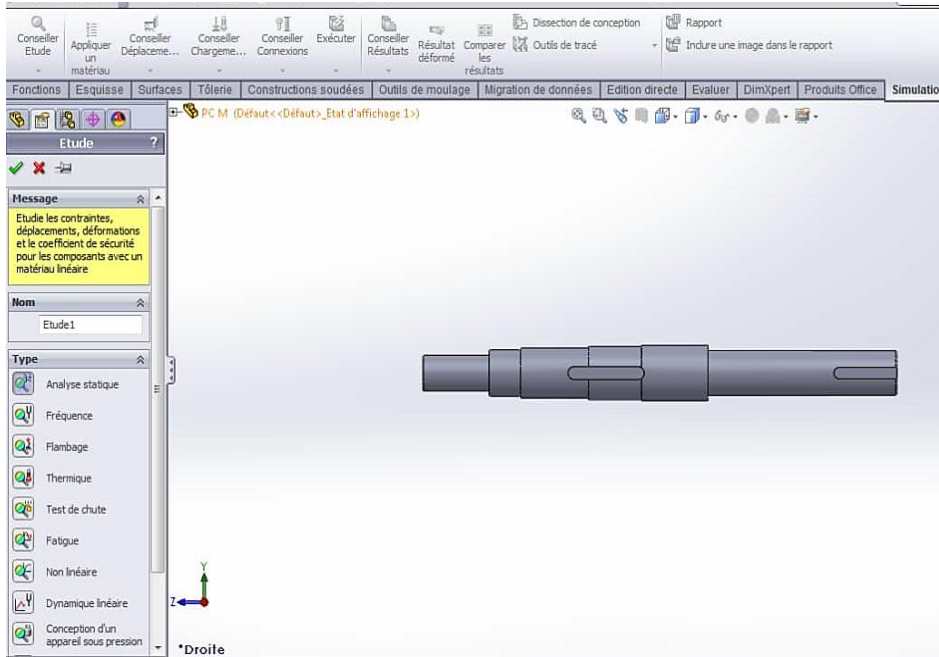
شكل 11.IV: رسم ثنائي الابعاد للعمود .

3.1.8.IV مراحل المحاكاة :

بعد ما قمنا بتصميم العمود محل الدراسة بأسلوب ثنائي وثلاثي الابعاد، ننتقل الى مختلف خطوات محاكاته وهي كالتالي:

- المرحلة الأولى: تحديد دراسة جديدة.

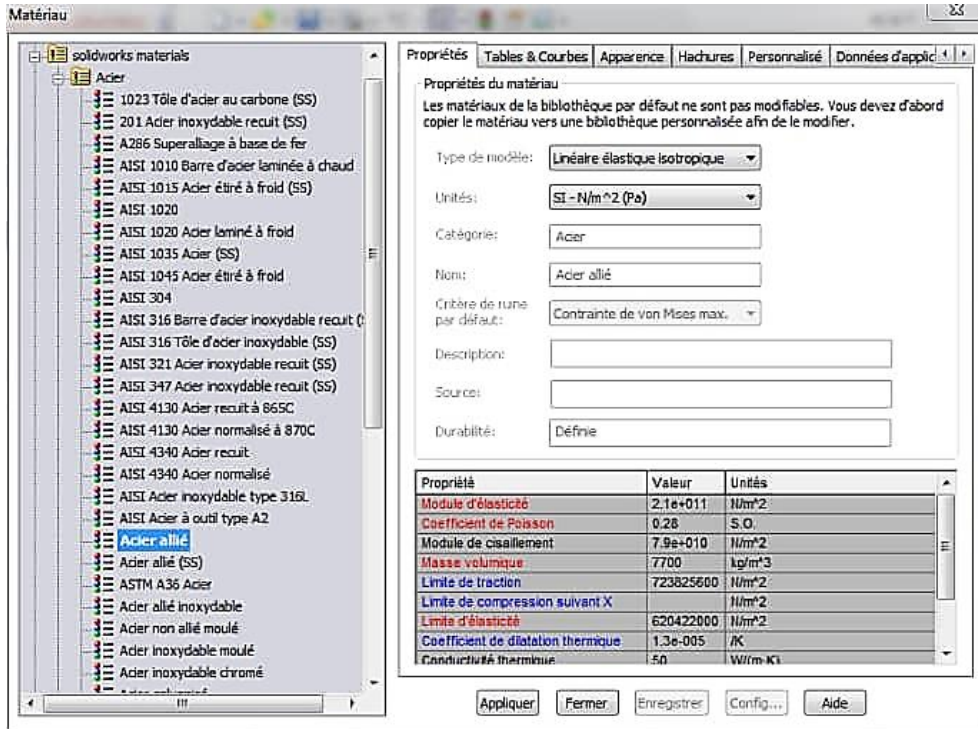
يتم في هذه الخطوة وبعد إضافة تبويبة المحاكاة من شريط القوائم، اختيار دراسة جديدة وذلك بالنقر على: " Etude " يمين واجهة شريط الأدوات بحيث تظهر واجهة المحاكاة.



شكل 12.IV: إختيار دراسة جديدة في واجهة محاكاة Solidworks .

- المرحلة الثانية: تحديد مادة صنع العمود.

يتم في هذه الخطوة إختيار مادة صنع العمود محل الدراسة والمتمثلة في: C45 وذلك بالنقر على " Appliquer " ثم "Fermer".

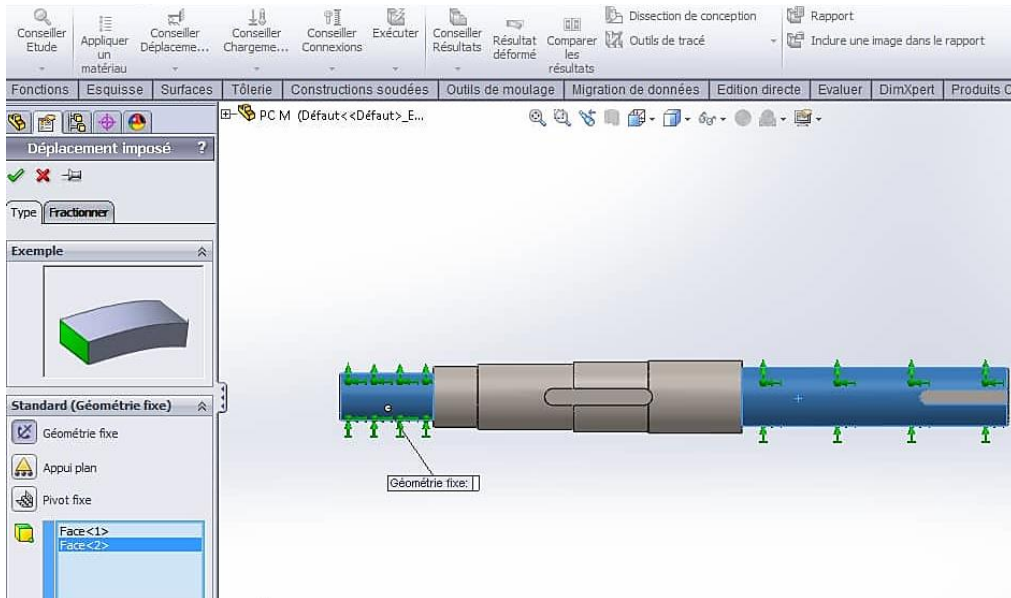


شكل 13.IV: تحديد مادة صنع العمود.

• المرحلة الثالثة: تطبيق التثبيت.

يتم تثبيت العمود على الاسطح التي تتركب عليها المحامل (المدرجات)، بالنقر على

"Déplacement imposé" من القائمة المنسدلة ثم تحديد نوع التثبيت "Géométrie fixe"



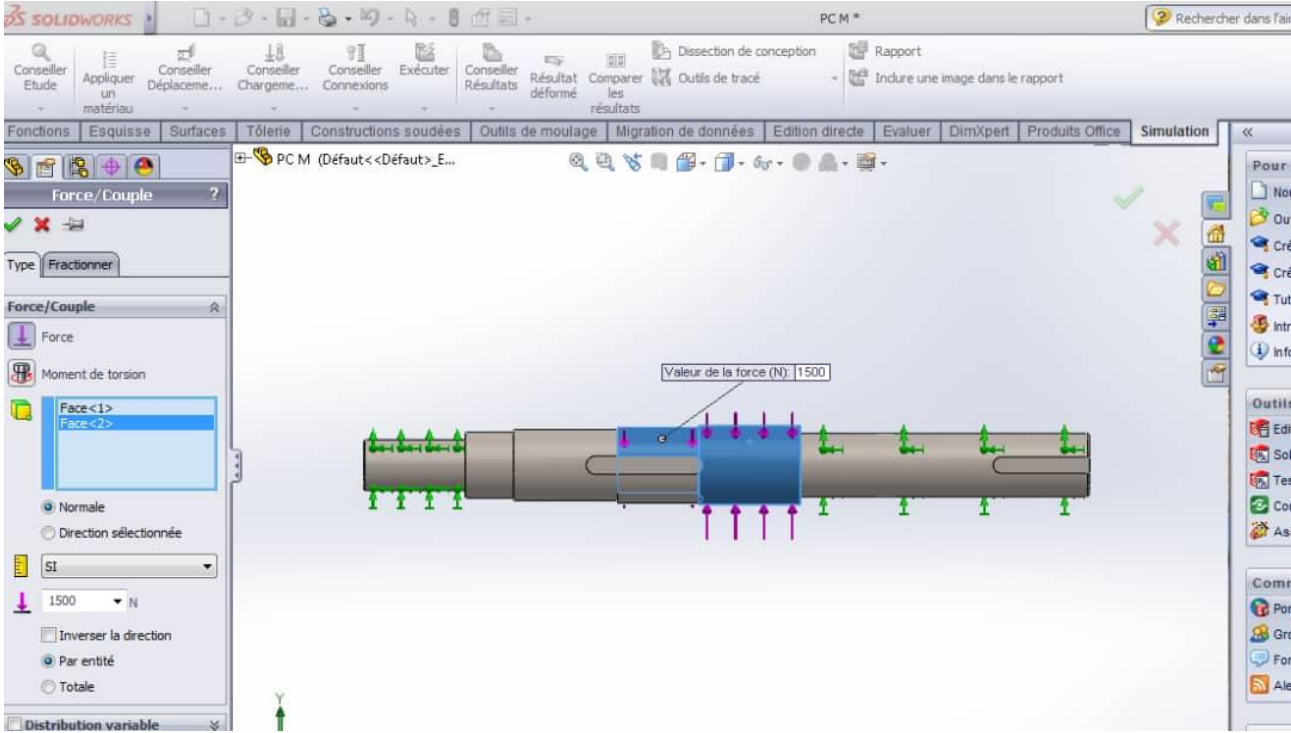
شكل 14.IV: تثبيت العمود.

• المرحلة الرابعة: تطبيق القوى على العمود.

تظهر نافذة خصائص " Force " يتم تطبيق القوى على أسطح تأثير الاحمال بالنقر على

" Forces/couple " ليتم من خلالها تحديد مكان تأثير القوى وقيمتها.حيث:

$$P_1 = P_2 = 1500 (N)$$

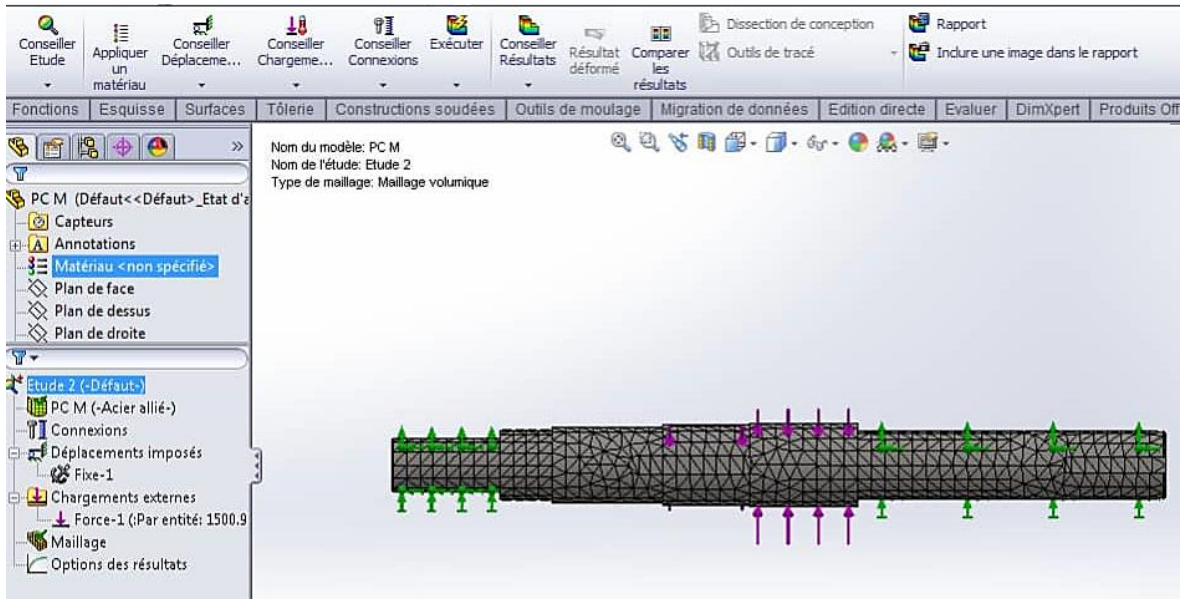


شكل IV. 15: تطبيق القوى على العمود.

• المرحلة الخامسة: إنشاء التجزيئات .

بعد تثبيت العمود وتحديد القوى المؤثرة عليه، يتم إعداد النموذج للتحليل وذلك من خلال إنشاء شبكة من

العناصر المتناهية في النموذج الصلب ويتم عرض النموذج المتشابك بالنقر على " Créer le maillage " .



شكل 16.IV: إنشاء التجزيئات.

• المرحلة السادسة: تنفيذ تحليل العمود.

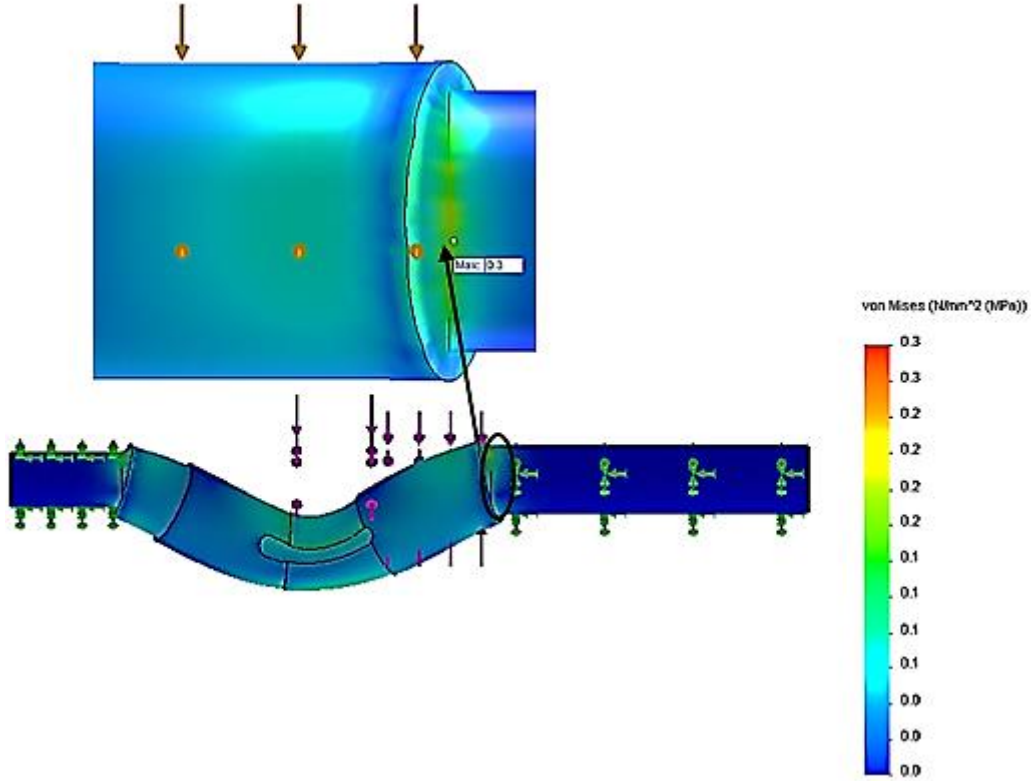
يتم تنفيذ التحليل لعرض مختلف نتائج المحاكاة وذلك بالنقر على " Exécuter cette étude " لبداية التحليل.

• المرحلة السابعة: عرض نتائج محاكاة العمود .

4.1.8.IV : نتائج المحاكاة:

- نتائج اجهاد **Vou Mises**:

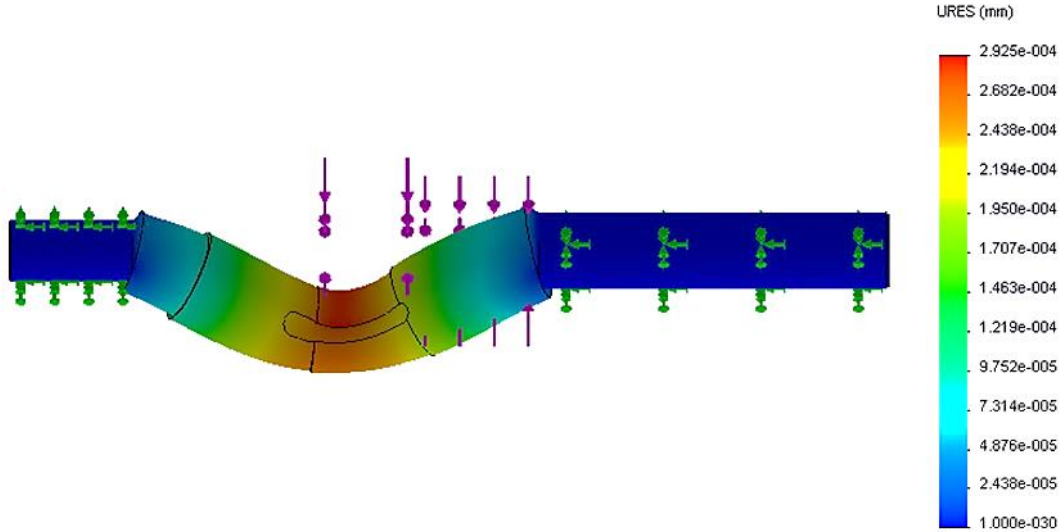
يوضح الشكل 17.IV نتائج توزيع الاجهادات على العمود من خلال تغيرات الالوان، حيث نلاحظ ان اقصى قيمة لاجهاد **Vou Mises** تقدر بـ : $0.3 N/mm^2$ وهي مركزة بشكل رئيسي في الكتف الذي تتموضع بمحاذاته المحامل (المدرجات)، بعدها تبدأ قيمة الاجهاد القصوى في التناقص تدريجيا ،حيث نلاحظ ان المناطق الممثلة باللون الاخضر و المتمركزة اساسا في مكان تركيب العجلة المسننة (مجاري الخوابير) وعلى مستوى الكتفين تُشير إلى وجود إجهادات متوسطة حيث تتراوح من $0.1 N/mm^2$ الى $0.2 N/mm^2$ ، اما المناطق الممثلة باللون الأزرق فتعد المناطق الأكثر أمانا في العمود وهي متواجدة كلما اتجهنا الى اقصى يمين أويسار العمود.



شكل 17.IV: نتائج اجهاد von Mises .

- نتائج الازاحة:

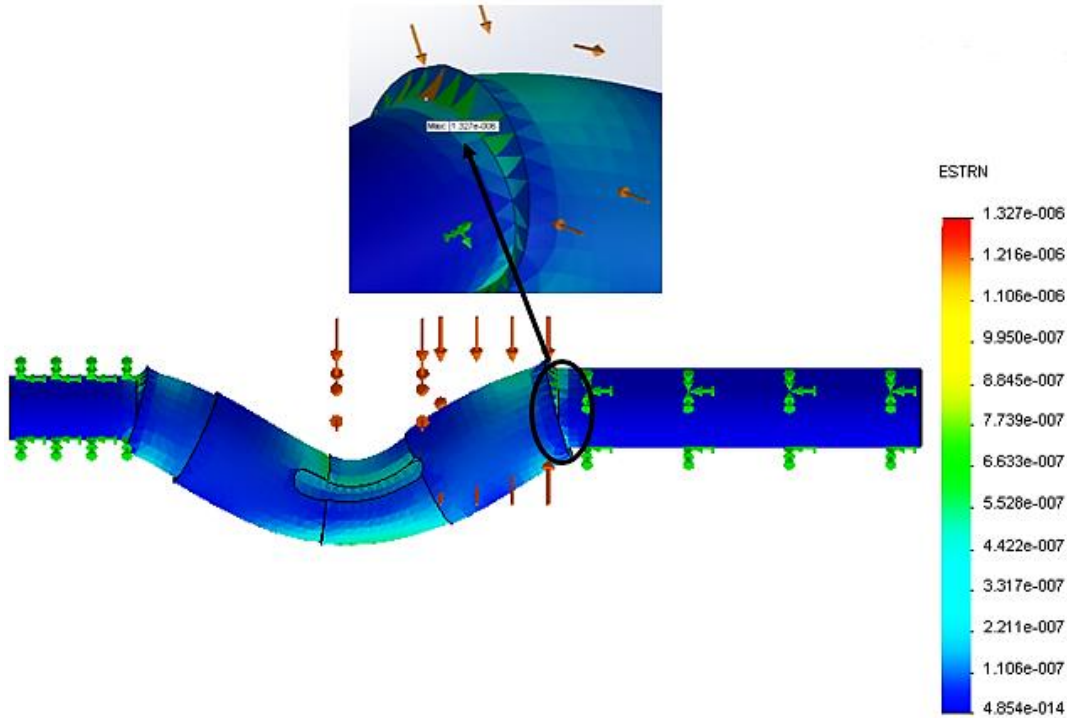
يبين الشكل 18.IV نتائج الازاحة الناتجة عن تطبيق الاحمال على العمود. نلاحظ ان شكل العمود قد تغير نتيجة تمدد كبير تحت تاثير الاجهادات المطبقة عليه. حيث ان المنطقة الممثلة باللون الاحمر معرضة لأقصى إزاحة بقيمة $2.93 \times 10^{-4} \text{mm}$ وهي متواجدة على مستوى مجاري الخوابير اي مكان تركيب العجلة المسننة، مما يدل على انها المنطقة الحرجة في العمود. بعد ذلك تبدأ قيمة هذه الازاحة في التناقص تدريجيا اقصى يمين ويسار العمود الى ان تصل الى $1 \times 10^{-30} \text{mm}$ (قيمة صغيرة جدا) والممثلة باللون الأزرق (موقع تركيب المحامل). اما المناطق الممثلة بالاخضر تكون فيها قيم الازاحة فيها متوسطة. لكنها تبقى دائما في منطقة التشوه المرن.



شكل IV.18: نتائج الازاحة للعمود.

- نتائج الانفعال (التشوه):

يبين الشكل IV.20 نتائج الانفعال للعمود، حيث نلاحظ ان منطقة الانفعال الأقصى (المنطقة الحرجة) مركزة بشكل رئيسي عند مجاري خوابير العجلة المسننة، تبلغ قيمة هذا التشوه 1.11×10^{-6} ، ثم تبدأ هذه القيمة بالتناقص تدريجيا الى ان تصل الى أدنى قيمة 4.82×10^{-14} (شبه معدومة)، وهي ممثلة باللون الازرق (منطقة الأمان).



شكل IV.19: نتائج التشوه.

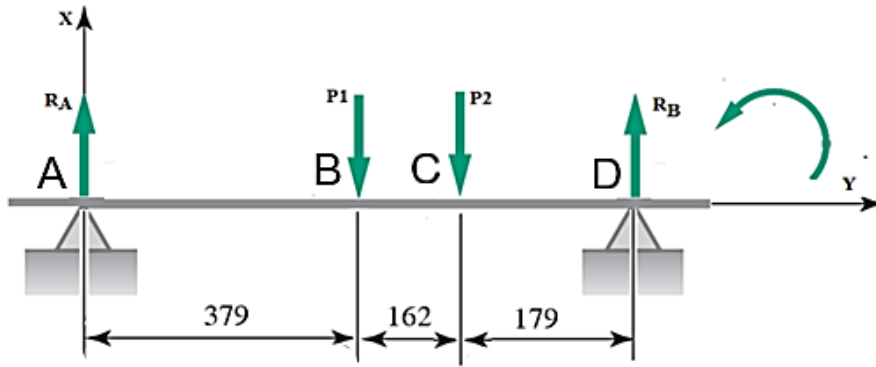
4.1.8.IV الاستنتاج :

أظهرت نتائج تحليل المحاكاة باستخدام العناصر المتناهية (FEA) من خلال المخططات الثلاثة السابقة أن قيم الإجهادات الناتجة لـ Von Mises، مكنت من معرفة ما إذا كان العمود سيتعرض للتشوه الذي يمنعه من أداء وظيفته المطلوبة، حيث خلصنا إلى أن العمود قادر على تحمل الأحمال المطبقة عليه وأداء وظيفته بأمان مع ذلك، هناك منطقة تركيز الإجهادات، يجب مراعاتها عند تصميمه للتقليل من احتمالية كلاله وتعرضه للإنهيار.

2.8.IV حساب القطر بتطبيق معايير المقاومة :

1.2.8.IV نمذجة القوى وحساب ردود الأفعال على العمود :

يمكن نمذجة القوى والاحمال المطبقة على العمود محل الدراسة على شكل عارضة وفق الرسم التخطيطي الموالي:



شكل 20.IV: رسم تخطيطي للقوى المؤثرة على العمود.

حيث:

R_A, R_B : ردود الأفعال (الاحمال المطبقة على محامل المدحرجات).

P_1, P_2 : ثقل العمود، ثقل العجلة المسننة، على التوالي.

• حساب ردود الأفعال:

بتطبيق المبدأ الأول للسكون:

✓ مجموع القوى الخارجية المؤثرة على العمود معدومة:

$$\sum F_{ext} = \vec{0}$$

$$\vec{R}_A + \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{R}_B = \vec{0}$$

بإسقاط القوى على المحور OX نجد:

$$0 + 0 + 0 + 0 = 0$$

بإسقاط القوى على المحور OY نجد:

$$R_A - P_1 - P_2 + R_B = 0$$

$$R_A + R_B = 3000(N) \dots\dots\dots (1)$$

✓ مجموع العزوم الخارجية في النقطة A معدوم:

$$\sum \vec{M}_{\vec{F}(A)} = \vec{0}$$

$$\vec{M}_{\vec{P}_1(A)} + \vec{M}_{\vec{P}_2(A)} + \vec{M}_{\vec{R}_B(A)} = \vec{0}$$

بالإسقاط على اتجاه الدوران نجد:

$$-M_{P_1(A)} - M_{P_2(A)} + M_{R_B(A)} = 0$$

$$-379 \cdot P_1 - 541 \cdot P_2 + 720 \cdot R_B = 0$$

$$R_B = \frac{379 \cdot P_1 + 541 \cdot P_2}{720}$$

$$R_B \approx 1917 (N)$$

$$R_A \approx 1083 (N)$$

من (1) نجد :

2.2.8.IV حساب وتمثيل الجهود القاطعة وعزوم الانحناء :

• حساب الجهود القاطعة:

المنطقة الاولى:

$$0 \leq x \leq 379$$

$$R_A - T = 0$$

$$T = 1083(N)$$

المنطقة الثانية:

$$379 \leq x \leq 541$$

$$R_A - P_1 - T = 0$$

$$T = R_A - P_1$$

$$T = -417(N)$$

المنطقة الثالثة:

$$541 \leq x \leq 720$$

$$R_A - P_1 - P_2 - T = 0$$

$$T = R_A - P_1 - P_2$$

$$T = -1917(N)$$

• حساب عزوم الانحناء:

المنطقة الأولى:

$$0 \leq x \leq 379$$

$$-M_f - R_A \cdot x = 0$$

$$M_f = -R_A \cdot x$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = 0 \\ x = 379 \end{array} \right.$$

$$M_f = 0 \quad (N.mm)$$

$$M_f = -410457(N.mm)$$

المنطقة الثانية:

$$379 \leq x \leq 541$$

$$-M_f - R_A \cdot x + P_1(x - 379) = 0$$

$$M_f = -R_A \cdot x + P_1(x - 379)$$

$$x = 379$$

$$M_f = -410457 (N.mm)$$

$$x = 541$$

$$M_f = -342903 (N.mm)$$

المنطقة الثالثة:

$$541 \leq x \leq 720$$

$$-M_f - R_A \cdot x + P_1(x - 379) + P_2(x - 541) = 0$$

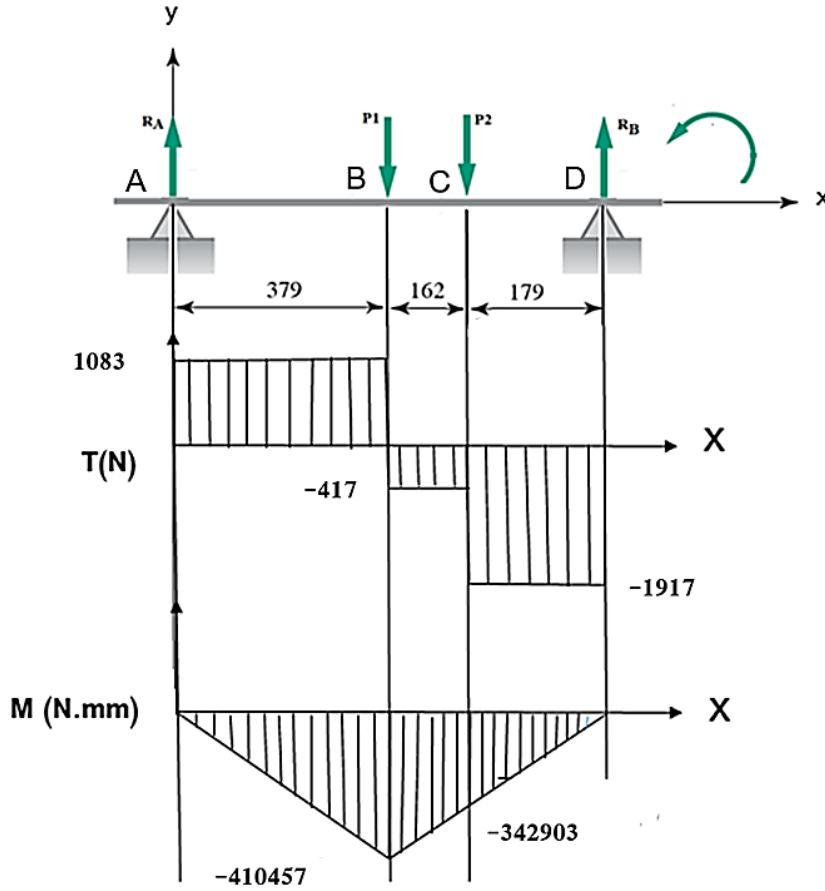
$$M_f = -R_A \cdot x + P_1(x - 379) + P_2(x - 541)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x = 541 \\ x = 720 \end{array} \right.$$

$$M_f = -342903 (N.mm)$$

$$M_f = 0,24 (N.m)$$

• تمثيل الجهود القاطعة وعزوم الانحناء:



شكل 21.IV: تمثيل الجهود القاطعة وعزوم الانحناء على العمود.

- بعد حساب ردود الأفعال المؤثرة على العمود ومن خلال تمثيل وحساب الجهود القاطعة وعزوم الانحناء نلاحظ ان العزم الاعظمي 410457 N.mm يكون على مستوى القطر 150 mm ، مكان تركيب العجلة المسننة ومنه القطر المراد التحقق منه هو: 150 mm.

3.2.8.IV حساب عزم الالتواء :

حسب [39]:

سرعة دوران العمود: $N_s = 24.6 \text{ tr/min}$ ، استطاعة عمود الدوران: $P_s = 22 \text{ KW}$

يحسب عزم الالتواء بالعلاقة التالية:

$$P = T \cdot \omega$$

وبالتعويض في علاقة عزم الالتواء نجد:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{30 \cdot P}{\pi \cdot N} = \frac{30 \cdot 22 \cdot 1000}{\pi \cdot 24.6} = 8540.021 \text{ N.m} \approx 8540021 \text{ N.mm}$$

4.2.8.IV حساب قطر العمود :

خلال دراستنا هذه اعتمدنا في حساب قطر العمود على الطرق التالية:

• حسب طريقة ASME:

بما أن العمود مصمت والاجهادات المحورية مهمة مقارنة بإجهاد الانحناء والالتواء، يتم حساب القطر وفق معيار ASME انطلاقاً من العلاقة التالية:

$$d \geq \frac{16}{\pi \sigma_{maxi adm}} \sqrt{(K_f \cdot M_f)^2 + (K_t \cdot M_t)^2} \quad (28. II)$$

يتم تحديد معاملات التحميل حسب الجدول 3.II ، وبما أن العمود دوار والاحمال مطبقة تدريجياً فان :

$$K_t = 1 \quad , K_f = 1.5$$

- حساب الاجهاد الأقصى المسموح به $\sigma_{maxi adm}$:

تعطى علاقة الاجهاد الأقصى المسموح به بالعلاقين التاليتين:

$$\begin{cases} \sigma_b = 0.18 \cdot S_{ut} \\ \sigma_b = 0.30 \cdot S_y \end{cases}$$

- تحديد قيم الاجهادات S_y, S_{ut} :

من خلال الجدول الموالي والذي يوضح قيم بعض الاجهادات حسب نوع المعدن.

جدول 4.IV: حد المرونة والاجهاد الأقصى للفولاذ الكربوني [40].

أنواع الفولاذ الكربوني			
الاستخدامات	Re min. *	R min. *	الخليطة
الإنشاءات الميكانيكية تناسب هذه الخلائط المعالجات	255	410	C 22
	285	460	C 25
	315	510	C 30
الحرارية والتطريق	335	570	C 35
	355	620	C 40
ملاحظة: لا يطبق هذا الترميز على أنواع فولاذ حر القطع.	375	660	C 45
	395	700	C 50
	420	730	C 55
	HRC ≥ 57		C 60

وحسب مادة صنع العمود C45 نجد:

$$S_{ut} = 660 (N/mm^2) \quad \text{حد الخضوع:}$$

$$S_y = 375 (N/mm^2) \quad \text{حد المرونة:}$$

بتعويض قيمة S_{ut} و S_y نجد:

$$\begin{cases} \sigma_b = 0.18 \cdot S_{ut} = 118.8 (N/mm^2) \\ \sigma_b = 0.30 \cdot S_y = 112.5 (N/mm^2) \end{cases}$$

وبأخذ أدنى قيمة للإجهاد الأقصى المسموح به، وبما ان العمود به تركيز للإجهادات ($b = 0.75$) فإنه:

$$\sigma_{maxi adm} = 0.75 \times \sigma_b = 0.75 \times 112.5 = 84.375 (N.mm^2)$$

بالتعويض في عبارة القطر نجد:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16}{3.14 \times 84.375} \sqrt{(1.5 \times 410457)^2 + (1 \times 8540021)^2}}$$

$$d \geq 80.26 \text{ mm}$$

ومنه:

• حسب معياري DE-Soderberg و Gerber:

- حساب حد التحمل S_e :

يحسب حد التحمل بالعلاقة التالية:

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S_e$$

✓ تحديد المعاملات $K_a, K_b, K_c, K_d, K_e, K_f$:

- معامل حالة السطح K_a :

بما ان طريقة الحصول على العمود بالحدادة ومن خلال الجدول 1.II فإن:

$$K_a = a S_{ut}^b = 272 \times 660^{-0.995} = 0.43$$

- معامل الحجم K_b :

$$K_b = 0.75$$

بما ان $8 \leq d \leq 250$ فإن:

- معامل تأثير الاحمال K_C :

$$K_C = 0.59$$

بما ان العمود يتعرض للالتواء اذن:

- معامل درجة الحرارة K_d :

بما ان العمود يشتغل عادة في درجة حرارة عادية أي:

$$K_d = 1$$

$$t \leq 450 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{فإن:}$$

- معامل الموثوقية K_e :

$$K_e = 0.897$$

بما ان موثوقية العمود 90% ومن الجدول II.2 فإن:

- معامل التأثيرات المختلفة K_f :

$$K_f = 1 \quad (\text{لا توجد عوامل أخرى مؤثرة})$$

✓ حساب حد التحمل لعينة تجربة مور ϵ_s :

$$S_{\epsilon} = 0.55 \cdot S_{ut} = 330 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

بالتعويض في علاقة حد التحمل نجد:

$$S_e = 55.27$$

✓ تحديد قيم العزوم T_m, M_m, M_a, T_a :

بما ان عزم الانحناء يتغير بين القيمة القصوى والدنيا فان اجهاد الانحناء المتوسط M_m يكون معدوم، كذلك الاجهاد الالتواء المتناوب T_a يكون معدوم لان عزم الالتواء قيمته ثابتة أي [19]:

$$M_a = 410457 \text{ N.mm}$$

$$T_a = 0 \text{ N.mm}$$

و

$$M_m = 0 \text{ N.mm}$$

$$T_m = 8540021 \text{ N.mm}$$

✓ حساب المعاملين K_{fs}, K_f :

يتم حساب المعاملين K_{fs} و K_f من خلال المعادلتين التاليتين:

$$k_f = 1 + q(k_t - 1)$$

$$k_{fs} = 1 + q(k_{ts} - 1)$$

قبل حساب قيم المعاملات نقوم بتحديد مايلي:

$$\frac{D}{d} = \frac{150}{140} = 1.07$$

$$\frac{d}{D} = \frac{140}{150} = 0.93$$

$$\frac{r}{d} = \frac{0.4}{140} = 0.002$$

حيث:

r: نصف قطر أداة القطع في عملية الخراطة (مستعملة في مصنع الاسمنت حجار السود)

ومن خلال المنحنيات الشكل 7.II و 8.II نجد:

$$q = 0.65 \text{ حالة اجهاد الانحاء}$$

$$q = 0.85 \text{ حالة اجهاد الالتواء}$$

و انطلاقا من الشكل 10.II يمكن تحديد :

$$k_{ts} = 1.5 , k_t = 3.7$$

ومنه:

$$K_{fs} = 1.42 , K_f = 2.75$$

• حسب معيار DE-Soderberg:

علاقة معامل الامن تعطى بالمعادلة (II . 22):

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \frac{n\sigma_m}{S_y} = 1$$

ومنه يحسب القطر وفق معيار DE-Soderberg بالعلاقة التالية:

$$d = \left\{ \frac{16n}{\pi} \left[\frac{1}{S_e} \sqrt{4(k_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2} + \frac{1}{S_y} \sqrt{4(k_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2} \right] \right\}^{1/3}$$

لدينا : n = 4 [41]

$$d = 126.4 \text{ mm}$$

ومنه:

• حسب معيار Gerber :

تعطى عبارة معيار Gerber وفق المعادلة (II. 24) :

$$\left(\frac{n\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1$$

يتم حساب قطر العمود من خلال العبارة التالية:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8nA}{\pi S_e} \times \left\{ 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2BS_e}{AS_{ut}}\right)^2} \right\}}$$

حيث:

$$A = \sqrt{4(K_f M_a)^2 + 3(K_{fs} T_a)^2}$$

$$B = \sqrt{[4(k_f M_m)^2 + 3(K_{fs} T_m)^2]}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{8n\sqrt{4(K_f M_a)^2}}{\pi S_e} \times \left\{ 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2S_e\sqrt{3(K_{fs} T_m)^2}}{S_{ut}\sqrt{4(K_f M_a)^2}}\right)^2} \right\}}$$

بأخذ $n = 4$ [41] نجد:

$$d = 106.35\text{mm}$$

IV. 5.2.8 تحليل النتائج :

النتائج المحصل عليها تختلف باختلاف الطريقة المستخدمة في الحساب، حيث ان طريقة ASME تعطي قطرًا بعيدًا نسبيًا عن قيمة قطر العمود المحدد من قبل المصنع، وذلك لان هذه الطريقة لا تأخذ بعين الاعتبار و بصفة دقيقة معاملات تمركز الاجهادات k_f و k_{fs} ، ولا تتضمن في معادلتها اجهاد حد التحمل S_e والمعاملات المؤثرة عليه، لذلك تستعمل هذه الطريقة لتقديم تقديرات سريعة وتقريبية فقط. في حين ان النتائج المحصل عليها بطريقتي Gerber و DE-Soderberg تعطي قطرًا قريبًا من قيمة القطر المحدد من قبل المصمم ، فهما يأخذان بالحسبان معاملات تمركز الإجهادات وإجهاد حد التحمل عند حساب قطر العمود، لكن طريقة DE-Soderberg هي الأكثر دقة في الحساب. لان نتيجتها كانت أقرب جدا الى قطر العمود قيد الدراسة.

9.IV خاتمة :

أتاح لنا الجزء التطبيقي تجسيد المفاهيم المحصل عليها في الجزء النظري، فكانت البداية بإجراء المحاكاة باستعمال برمجية SolidWorks، حيث تمكنا من خلالها تحديد أقصى اجهاد يتعرض له العمود واقصى تشوه وتحديد المنطقة الحرجة في العمود والتي كانت مكان تركيب العجلة المسننة. من اجل التحقق من ابعاد العمود و خاصة في المنطقة الحرجة التي اظهرتها المحاكاة تم تطبيق ثلاث معايير مختلفة لحساب قطر العمود. فمن خلال تطبيق معيار ASME توصلنا الى ان قيمة القطر بعيدة نسبيا عن القطر المحدد من طرف المصنع، في حين أن النتائج المحصل عليها من خلال تطبيق معياري DE-Soderberg و Gerber كانت قريبة من القطر الفعلي للعمود، لكن تبقى طريقة DE- Soderberg هي الأقرب الى الواقع للتحقق من قطر العمود من اجل مقاومته للكلل.

الخاتمة العامة

تلعب عملية تصميم العناصر الميكانيكية دورًا هامًا في مختلف الصناعات والتطبيقات الميكانيكية، حيث تساهم في تحقيق الوظائف المطلوبة، تحسين الأداء والكفاءة، خفض التكاليف، وضمان السلامة والموثوقية، تتواجد أعمدة الدوران بشكل واسع ضمن هذه المجموعة من العناصر، ويعد تصميمها مشكلة كلاسيكية في الهندسة الميكانيكية، نظرًا لتأثير الإجهادات المتكررة على متانتها وقدرتها على التحمل. وفي ضوء هذا تم طرح العديد من المعايير المختلفة لتصميمها بهدف تحديد أقطارها بشكل دقيق والتي تعتمد أساسًا على حساب كل من عزوم الانحناء والالتواء.

في دراستنا هذه قمنا أولاً بحساب عزوم الانحناء والالتواء، كونها من بين العناصر المهمة لحساب الأقطار، حيث حددنا عزم الانحناء الأقصى الذي يسمح لنا بتحديد المنطقة الحرجة الأكثر عرضة للانهايار في العمود، ثم انتقلنا إلى الجزء الأهم وهو حساب قطر العمود باستخدام ثلاث طرق: ASME، Gerber، Soderberg، توصلنا من خلالها إلى أن قيم الأقطار المتحصل عليها أقل من قيمة القطر الفعلي (150 mm)، وهي قيم منطقية وهذا إن دل على شيء فإنما يدل على أن العمود يتحمل الاجهاد المطبقة عليه، ويمكنه العمل دون التعرض إلى أي خلل.

أتاحت لنا كذلك برمجية Solidworks بعد تصميم العمود Redler إجراء عملية المحاكاة، بهدف تحديد المنطقة الحرجة في العمود والتي قد تجعله أكثر عرضة للانهايار مع تحديد قيم الإجهاد الأقصى لـ Von Mises، الإزاحة، والتشوه. وهذا يبقى مجرد تحليل تقريبي وقد تختلف النتائج الفعلية اعتمادًا على العوامل المختلفة وظروف اشتغال العمود.

توصلنا من خلال دراستنا إلى أن قطر العمود المعطى من طرف المصمم يمكنه من العمل بأمان و بإمكانه أن يقاوم مختلف التأثيرات المطبقة عليه، وبالتالي لن تكون إبعاده سببًا في انهياره وعدم بلوغه مدة الحياة اللازمة، وهذا ما دفعنا بالاعتقاد إلى حد كبير بأن السبب قد يعود إلى عوامل أخرى، مثل: مادة صنعه، ظروف اشتغال غير طبيعية، أو أنه لم يخضع إلى أي معالجات سطحية قد تزيد في مقاومته... الخ.

وبالتالي يمكن القول أنه عند تصميم عمود الدوران فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار و مراعاة مختلف هذه العوامل أو أي عوامل أخرى، قد تساهم بشكل فعال في تحقيق الأداء الأمثل للآلات وضمان عمر أطول للعمود في ظروف التشغيل المختلفة.

المراجع

المراجع الاجنبية:

- [1]. José Eduardo Salgueiro Lima, Determination of safety coefficients by the S-N method using Goodman, Soderberg and Gerber curves, 1, p56-62, 2020.
- [2]. Tavares, S. M. O., P. M. S. T. De Castro, "A comparison of methodologies for fatigue analysis of shafts: DIN 743 vs. approaches based on Soderberg criterion", *Ciência & Tecnologia dos Materiais*, (29), p76-81, 2017.
- [3]. Gilbert D, Michel G, Pierre TH, Robert V, *Eléments de machines*, Deuxième édition revue et augmenté, presses internationales polytechnique, 1986.
- [4]. Jack A. Collins, Henry R. Busby & George H. Staab, *Mechanical Design of Machine Elements and machines*, second Edition, by R.R. Donnelly, willard, 2010.
- [8]. Peter R.N Childs, *Mechanical Design*, Second Edition, 2004.
- [7]. <https://harmonicdrive.de/en/glossary/hollow-shaft> 10/11/ 2023: لوحظ يوم
- [9]. Khurmi, R. S and J. K. Gupta, *A textbook of machine design*, S. Chand publishing, 2005.
- [10]. Peter R.N Childs, *Mechanical Design Engineering Handbook*, Second Edition, 2019.
- [11]. SJBIT, Bengaluru, cour DESIGN OF MACHINES ELEMENTS, Department of Mechanical Engineering.
- [12]. Eric Béchet, cour Dimensionnement des arbres, Conception mécanique, Université Liège.
- [14]. Ž Domazet, F Lukša, M Bugarin, Failure of two overhead crane shafts, *Engineering Failure Analysis*, 2014.
- [15]. A Göksenli, I B Eryürek, Failure analysis of an elevator drive shaft, *Engineering Failure Analysis*, 2009.
- [16]. Collins J.A, *Failure of Materials in Mechanical Design, Analysis, Prediction, Prevention*-Wiley, 2nd Edition, New York, 1993.
- [18]. RC Rice, B N Leis, D Nelson, *Fatigue design handbook* SAE- Society of Automotive Engineers, SAE International, Warrendale PA. 3rd Edition, USA, 1988.
- [19]. Richard G. Budynas and J. Keith Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, Ninth Edition, Ed Mc Grand Hill, New York, 2011.
- [20]. RE Peterson, *Design factors for stress concentration* -Machine Design, 1951.
- [21]. Ameni Eltaief, *Modèle de réconciliation des associations et propagation des modifications au sein d'une maquette numérique*, thèse de doctorat, Université de Technologie de Sousse (Tunisie), 2020.
- [22]. BTS AMCR, *Présentation du logiciel SOLIDWORKS*, Lycée Bel Air, 2019.

- [23]. David C. Planchard, Marie P. Planchard, SolidWorks 2013 Tutorial, États-Unis, SDC Publications, 2013.
- [24]. BENDAOU DI Seifeddine, Cour Conception Assistée par Ordinateur, Centre Universitaire Ahmed ZABANA de RELIZANE, 2017.
- [25]. CHEKHAB, Bilal, Etude de conception d'un convertisseur de mouvement pneumatique, Université Mohamed Khider de Biskra.
- [30]. Solid solutions Ireland, solidworks teacher training Manuel, Arena House, Arena Road, Sandford, Dublin 2006.
- [31]. Planchard, David. SOLIDWORKS 2017 reference guide. Sdc Publications, 2017.
- [32]. Paul M. Kurowski, Engineering Analysis with solidworks simulation 2013, SDC publications 2013.
- [33]. Nudehi, Shahin, and John Steffen, Analysis of machine elements using SolidWorks simulation 2018, SDC Publications, 2018.
- [34]. Introduction aux applications d'analyse des contraintes avec SolidWorks Simulation, Guide de l'étudiant.
https://www.solidworks.com/sw/docs/simulation_student_wb_2011_fra.pdf
 لوحظ يوم: 24/02/2024
- [35]. Weber Matt, SolidWorks Simulation 2014 Black Book, États-Unis, CreateSpace Independent Publishing Platform, 2014.
- [36]. Paul M. Kurowski, Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2020, États-Unis, SDC Publications, 2020.
- [37]. Shahin S nudehi, John R. Steffen, Analysis of machine elements using solidworks simulation 2017, États-Unis, SDC Publications, 2017.
- [41]. <http://tonepi.com/resistance-des-materiaux-rdm/coefficients-de-securite-en-mecanique-tableau.html>. لوحظ يوم: 05/05/2024

المراجع العربية:

- [5]. عماد توما بني كراش، أجهزة نقل الحركة، الجامعة التقنية الشمالية العراق، 2015.
- [6]. انظمة نقل الحركة بالمعدات و المجنزرات، القارنات و الاعمدة المفصلية، الادارة العامة لتصميم و تطوير المناهج ، المملكة العربية السعودية .
- [13]. اياد محمود الداھوك ، شادي محمود ابو سريس، مقاومة المواد، الطبعة الاولى ، 2012 .
- [17]. السيد منصور، ضبط استقامة الاعمدة الدوارة ، هيئة الطاقة الجديدة و المتجددة، 2018 .

- [26]. نبيل نور سوادي البختري، المدخل المفصل الى تعلم مفاهيم solidworks، الجامعة التكنولوجية قسم الهندسة الميكانيكية، العراق، 2018.
- [27]. كامل محمد، ملحق مادة الرسم الفني للصف الثاني ونماذج استرشادية تطبيقية يتطلب تنفيذها باستخدام معام الحاسب الآلي (CAD)، 2016.
- [28]. الرسم الصناعي والسوليدوركس، مصلحة الكفاية الإنتاجية والتدريب المهني.
- [29]. محمد البكار، مرجع وكتاب علمي SolidWorks 2009، دار البراق للنشر والتوزيع، 2009.
- [38]. مصلحة التكوين و التربصات ، مديرية التكوين، الإدارة العامة لمصنع الاسمنت ،حجار السود.
- [39]. مكتب الطرق لمصنع الإسمنت، حجر السود.
- [40]. مصطفى الجرف، دليل الرسام الصناعي، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجية، 2017.