

تاريخ الإستلام: 2026-04-29 | تاريخ القبول: 2026-05-27 | تاريخ النشر: 2026-06-30م

التصميم والتحليل الإنشائي لقاعدة خلط صناعي لتحسين كفاءة

خط المواد المضافة في تكرير الزيوت النباتية

أحمد العجيلي علي، عبد المنعم شعبان، علاء الدين علي الفرد

كلية التقنية الهندسية جنزور

Responding: meeginfo@gmail.com

المخلص

تحتل الزيوت النباتية موقعا أساسيا في الصناعات الغذائية، وتخضع لسلسلة من عمليات التكرير التي تهدف إلى تحسين خصائصها وإزالة المكونات غير المرغوبة. وتبرز مرحلة إضافة المواد المحسنة، مثل البيتا كاروتين وبعض الفيتامينات، باعتبارها خطوة حساسة تتوقف جودتها على كفاءة الخلط داخل الخزانات الصناعية. تستعرض هذه الدراسة تصميم قاعدة خلط صناعي مصممة خصيصا لهذه المرحلة، مع الاعتماد على منهجية تجمع بين النمذجة ثلاثية الأبعاد والتحليل الإنشائي بطريقة العناصر المحدودة إضافة إلى تنفيذ عملي باستخدام تقنيات تصنيع حديثة. أظهرت نتائج التحليل أن التصميم المقترح يوفر درجة عالية من الاتزان الميكانيكي، وأن الإجهادات تبقى ضمن الحدود الآمنة لمادة التصنيع، بينما جاءت التشوهات متناهية الصغر بما يضمن ثبات عمود الدوران أثناء التشغيل. يُظهر هذا التكامل بين التصميم الرقمي والتطبيق الصناعي أن تحسين قاعدة الخلط قد يسهم بصورة واضحة في رفع كفاءة الخلط وتعزيز جودة المنتج النهائي في مصانع تكرير الزيوت.

الكلمات المفتاحية: تصميم ميكانيكي، خلطات صناعية، العناصر المحدودة، تكرير الزيوت النباتية، الإجهادات، التحليل الإنشائي.

Abstract:

Vegetable oils play a central role in the food industry and undergo several refining stages designed to remove impurities and improve their physicochemical properties. Among these stages, the addition of color-adjusting or nutrient-enhancing materials—such as beta-carotene or specific vitamins—requires a high degree of mixing uniformity to ensure consistent product quality. This study examines the design and structural analysis of an industrial mixer base developed specifically for this stage of processing. The work combines three components: three-dimensional modeling, finite element analysis, and practical fabrication using modern industrial manufacturing techniques.

The simulation results indicate that the proposed design provides strong mechanical stability, with stress levels remaining well below the material's yield limit. Only minimal deformation was observed, suggesting that the mixer shaft maintains its alignment under operating conditions. Taken together, these findings show that refining the mechanical design of the mixer base can meaningfully enhance mixing performance and support more reliable addition of functional materials in vegetable oil refining plants.

Keywords: mechanical design, industrial mixer base, finite element analysis, vegetable oil refining, mixing efficiency, structural stability.

1. المقدمة

يُعد التصميم الميكانيكي الدقيق أحد العوامل الأساسية في تطوير أنظمة الإنتاج داخل الصناعات الغذائية الحديثة، لما له من تأثير مباشر على كفاءة العمليات وجودة المنتج النهائي. وتُشكل الزيوت النباتية مكوناً رئيسياً في هذا القطاع، نظراً لدورها الغذائي ومكانتها

الاقتصادية، حيث تُستخلص من البذور والثمار الزيتية مثل فول الصويا ودوار الشمس والزيتون. إلا أن الزيت الخام لا يكون صالحًا للاستهلاك المباشر، مما يستلزم إخضاعه لسلسلة من العمليات التقنية المعروفة بعمليات التكرير (Refining)، والتي تهدف إلى إزالة الشوائب وتحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيت. [1]

تشمل عمليات تكرير الزيوت النباتية عدة مراحل، من أبرزها إزالة الصمغ، والتعادل، التبييض، وإزالة الروائح. وتُعد مرحلة التبييض (Bleaching) من أكثر المراحل حساسية، إذ تعتمد بشكل كبير على كفاءة التلامس بين الزيت والمواد الماصة المستخدمة لإزالة الصبغات غير المرغوبة، مثل الكلوروفيل والكاروتينات. وقد أظهرت دراسات سابقة أن فعالية هذه المرحلة تتأثر مباشرة بكفاءة الخلط والتوزيع المتجانس داخل الخزان، الأمر الذي يجعل التصميم الميكانيكي للخلط وطريقة تركيبه عنصرين حاسمين في نجاح العملية. [2]، [3].

تلعب الخلطات الصناعية دورًا محوريًا في تحقيق هذا التجانس، غير أن تركيز معظم التطبيقات الصناعية ينصب غالبًا على اختيار نوع الخلط وسرعة الدوران، مع إغفال كافٍ لدراسة القاعدة الداعمة للخلط واستقرارها الميكانيكي. ويؤدي التصميم غير الملائم لقاعدة الخلط إلى اهتزازات غير مرغوبة، وتمركز للإجهادات، وانخفاض في كفاءة الخلط، مما ينعكس سلبيًا على جودة الزيت وعمر المعدات التشغيلية [4].

هذا البحث إلى تقديم دراسة هندسية متكاملة لتصميم وتصنيع قاعدة خلط صناعي مخصصة لمرحلة إضافة مواد مثل مادة بيتا كاروتين للزيوت النباتية، مع التركيز على تحقيق الاستقرار الميكانيكي، وتحسين كفاءة الخلط، والامتثال للمتطلبات الصحية للصناعات الغذائية. تعتمد الدراسة على الدمج بين التصميم باستخدام النمذجة ثلاثية الأبعاد، والتحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة، إلى جانب تطبيق تقنيات تصنيع صناعية مناسبة، بما يساهم في تطوير حل هندسي عملي قابل للتطبيق في مصانع تكرير الزيوت النباتية.

2. المراجعة الأدبية والدراسات السابقة

تشير الأدبيات العلمية إلى أن عمليات تكرير الزيوت النباتية تمر بعدة مراحل متتابعة، لكل منها تأثير مباشر على الخصائص النهائية للزيت. وقد بين Xu وآخرون أن هذه العمليات، على الرغم من أهميتها في تحسين السلامة والجودة، قد تؤدي إلى فقدان بعض المركبات الغذائية الحساسة إذا لم تُنقذ ضمن ظروف تشغيلية مضبوطة [1]. كما أوضح Gharby أن كفاءة التكرير ترتبط ارتباطًا وثيقًا بفعالية إزالة الشوائب وتقليل المحتوى الحمضي، وهو ما يتطلب تحكمًا دقيقًا في ظروف الخلط والامتزاج. [2]

أما فيما يتعلق بمرحلة التبييض، فقد أظهرت دراسات متعددة، مثل دراسة Karimi وزملائه، أن تفاعل الزيت مع المواد الماصة يعتمد على تحقيق توزيع متجانس لهذه المواد داخل الخزان، وأن أي قصور في حركة المزيج يؤدي إلى تراجع كبير في كفاءة إزالة الصبغات [3]. إضافة إلى ذلك، أظهرت النماذج العددية القائمة على محاكاة الـ CFD، كما عرضها Zhang وآخرون، أن شكل الخلط وزاوية تركيبه يؤثران بشكل مباشر على مناطق الركود (Dead Zones) داخل الخزان، إلا أن هذه الدراسات أغفلت في معظمها دور القاعدة الداعمة في استقرار الخلط. [4]

وفي الجانب الميكانيكي، ركزت أعمال Hsu وآخرين على تحليل الاهتزازات في أعمدة الخلط وتأثير صلابة القاعدة الداعمة على الإجهادات المتولدة، مشيرين إلى أن التصميم غير المحكم قد يؤدي إلى زيادة الإجهادات التعبية وضعف عمر الخدمة [6]. ومع ذلك، تركز هذه الأعمال غالبًا على أعمدة الخلط نفسها، دون التطرق بتفصيل كافٍ إلى الخصائص الهندسية لقاعدة الخلاط أو أثر تقنيات التصنيع على أدائها.

في دراسة قام بها العجيلي وآخرون (2019) تحت عنوان "التحليلات الهندسية لمحور العجلة باستخدام النمذجة (الهندسة العكسية)"، تناول الباحثون تطبيق التحليل الهندسية لتحديد توزيع الإجهادات والتشوهات على جزء ميكانيكي (محور العجلة Wheel Hub) لضمان تحقيق الموثوقية والأمان تحت ظروف التشغيل المختلفة، وتبرز أهمية هذه الدراسة في توظيفها الفعال لبرامج التصميم بمساعدة الحاسوب (CAD) وتحليل العناصر المحدودة (FEM) لتقييم المتانة الإنشائية وتوزيع الأحمال. حيث يستند البحث الحالي (بحتك) على هذه المنهجية العلمية كمرجعية في تصميم ونمذجة قاعدة الخلاط الصناعي الخاص بتكرير الزيوت النباتية، من خلال دراسة محاكاة الإجهادات الساكنة أو الديناميكية التي يولدها محرك الخلاط وظروف التشغيل، لضمان استقرار القاعدة ميكانيكياً واختيار المعدن المناسب الذي يوفر معامل أمان كافٍ يمنع الفشل الإنشائي. [5]

تُظهر هذه الدراسات مجتمعة أن كفاءة الخلط في مرحلة إضافة المواد ليست مرتبطة فقط بخصائص الخلاط أو نوع المادة الماصة، بل تعتمد أيضًا على تصميم البنية الداعمة وتوزيع الإجهادات على القاعدة. ورغم توفر أعمال تناقش ديناميكية الخلط، إلا أن هناك نقصًا واضحًا في الدراسات التي تربط بين تصميم قاعدة الخلاط وفعالية عمليات التبييض أو إضافة مواد في البيئات الصناعية. ومن هنا تظهر الحاجة إلى بحث يدمج بين التحليل الهندسي والتطبيق الصناعي، ويعالج هذه الفجوة بدراسة تفصيلية لقاعدة الخلاط باعتبارها عنصرًا مؤثرًا في جودة عملية التكرير.

3. مساهمة الدراسة

تقدم الدراسة مساهمة ثلاثية الأبعاد:

- تطوير نموذج تصميمي لقاعدة خلاط مخصصة لعمليات إضافة المواد المحسنة في الزيوت النباتية.
- دمج النمذجة ثلاثية الأبعاد مع تحليل العناصر المحدودة لتفسير سلوك الهيكل تحت الأحمال التشغيلية.
- ربط نتائج التحليل بواقع التصنيع الصناعي، بما يجعل النموذج قابلاً للتطبيق المباشر.

4. المنهجية والعمليات التصنيعية (Methodology)

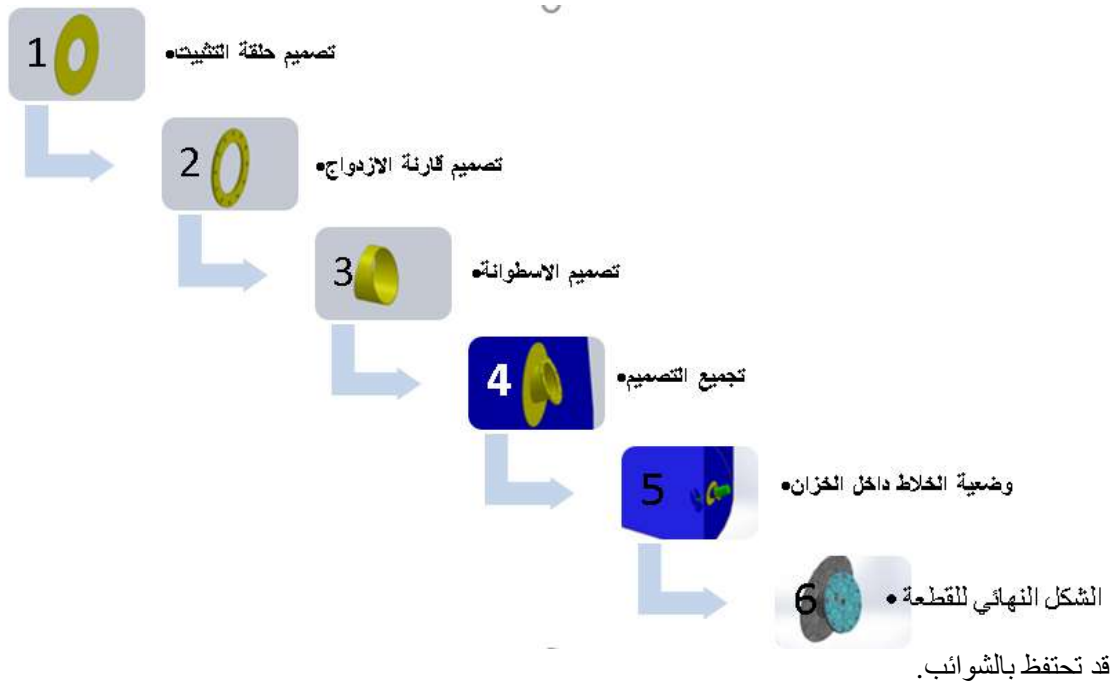
تعتمد هذه الدراسة على منهجية هندسية تجمع بين التصميم الرقمي، والتحليل الإنشائي، ثم تنفيذ النموذج باستخدام تقنيات تصنيع صناعية. ويهدف هذا النهج المتكامل إلى تطوير قاعدة خلاط صناعي تتمتع بالثبات الميكانيكي وتحقق توزيعًا متجانسًا للمواد داخل خزان عند إضافة مواد لتحسين من جودة الزيت مثل مادة بيتا كاروتين التي تضيف إليه فيتامين D و E.

- تصميم النموذج باستخدام CAD

بدأ العمل بجمع المواصفات الهندسية للخزان الذي سيُرَكَّب عليه الخلاط، بما في ذلك أبعاده، وقطر فتحة التثبيت، وارتفاع السائل أثناء التشغيل. بناءً على هذه البيانات، تم تطوير نموذج ثلاثي الأبعاد لقاعدة الخلاط باستخدام برنامج **SolidWorks**. كما هو موضح بالشكل رقم (1) وقد ركَّز التصميم على ثلاثة عناصر رئيسية:

- ✓ الصفيحة العلوية المخصَّصة لحمل المحرك ووحدة التروس، مع مراعاة مواضع البراغي وفتحة عمود الدوران.
- ✓ الهيكل الداعم، المصمَّم لتوزيع الأحمال وتقليل الاهتزازات أثناء التشغيل.
- ✓ حلقة التثبيت التي تضمن الإغلاق المحكم بين القاعدة والخزان.

تمت مراجعة النموذج هندسيًا للتأكد من ملاءمته لمتطلبات التشغيل في بيئة تصنيع الغذاء، بما في ذلك سهولة التنظيف وعدم وجود



شكل (1) يوضح تسلسل التصميم باستخدام CAD للتصميم

• التحليل الإنشائي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (FEA)

بعد إتمام التصميم، أُجري تحليل إنشائي للتحقق من قدرة القاعدة على تحمل الأحمال الميكانيكية المتوقعة. تم استخدام المحاكاة الاستاتيكية في **SolidWorks Simulation** لتقييم:

- ✓ إجهادات التشغيل الناتجة عن وزن المحرك وعزم الدوران.
- ✓ التشوهات المحتملة عند نقاط الاتصال.

✓ توزيع القوى التفاعلية على السطح الحامل.

استُخدمت شبكة صلبة (Solid Mesh) ذات عناصر صغيرة لضمان دقة النتائج، مع تفعيل التأثيرات الحرارية لمحاكاة ظروف التشغيل الواقعية. وجرى تحليل الإجهادات القصوى ومقارنتها بحد الخضوع للمادة لاختبار الأمان التشغيلي. الهدف من هذه الخطوة كان التحقق من:

1. تحمل الإجهاد (Stress Analysis): تطبيق الأحمال الثابتة (وزن المحرك) والمتغيرة (عزم الدوران والاهتزازات) للتأكد من أن القاعدة ستتحمل الضغط دون حدوث تشوهات دائمة.

2. التأكد من استقرار التصميم: تحديد النقاط التي قد تعاني من تمركز للإجهادات (Stress Concentration) وتعزيزها بزيادة سمك المعدن أو إضافة دعائم.

من خلال الجدول رقم (1) الذي يوضح الخصائص الأساسية للدراسة، والتي تشمل نوع التحليل وطريقة الحل المستخدمة، بالإضافة إلى إعدادات الشبكة المصممة لتحقيق أقصى دقة في النتائج. على الرغم من أن التحليل استاتيكي إلا أن تفعيل تأثيرات حرارية يمكن أن يقدم نتائج أكثر دقة لأن تفعيل التأثيرات الحرارية يضيف بعداً جديداً للتحليل، مما يتيح محاكاة التغيرات المحتملة في الأداء بسبب اختلاف درجات الحرارة. هذا الأمر يعزز من شمولية الدراسة ويجعلها قادرة على التنبؤ بسلوك الهيكل في ظروف بيئية متنوعة، مما يضمن أن التصميم سيظل آمناً ومستقرًا حتى في الحالات التشغيلية غير المثالية.

جدول (1) خصائص الدراسة

الخاصية	القيمة
اسم الدراسة	Static 1
نوع التحليل	Static Analysis
نوع الشبكة	Solid Mesh
التأثيرات الحرارية	مفصلة
درجة الحرارة	298 K
ضغط السائل	غير مفعل
طريقة الحل	FFEPlus

في هذه الدراسة، تم استخدام شبكة صلبة (Solid Mesh) ذات إعدادات خاصة لضمان دقة النتائج. تتميز الشبكة بأنها توفر توزيعاً دقيقاً للقوى على القاعدة وتحليل الإجهادات بشكل متساوٍ عبر الهيكل.

إعدادات الشبكة في الدراسة

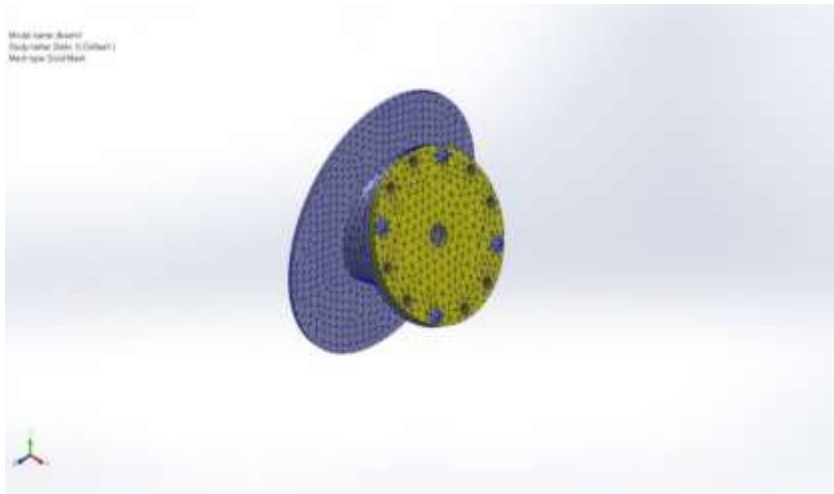
تم ضبط الشبكة بحيث تحقق توازناً بين جودة الشبكة و وقت الحساب. الإعدادات الرئيسية تشمل:-

- **حجم العنصر:** تم تحديد حجم العنصر عند 0.0224 م لضمان دقة كافية مع تقليل الوقت المطلوب لإجراء الحسابات.

- عدد العقد: بلغ عدد العقد 20378 عقدة، وهي النقاط التي تتلاقى فيها عناصر الشبكة، مما يعزز دقة الحسابات.
 - جودة الشبكة: تم تصنيف الشبكة بأنها ذات جودة عالية مع نسبة عالية من العناصر المستقرة.
- النسبة القصوى للعناصر: بلغت 13.41، وهو مؤشر يدل على توازن توزيع العناصر

جدول (2): يوضح معلومات الشبكة

الخاصية	القيمة
جودة الشبكة	Solid Mesh
حجم العنصر	0.0224 م
عدد العناصر	10072



جودة الشبكة	عالية
النسبة القصوى للعناصر	13.41

يتضح من الجدول السابق ان التوزيع المنتظم للقوى ساعد الشبكة في تحديد النقاط التي تتعرض لإجهادات أعلى تم تمثيل التشوهات في القاعدة بدقة، خاصة في المناطق التي تتعرض للحمل المباشر تم تمثيل خصائص المادة الميكانيكية بشكل دقيق عبر العناصر الصغيرة التي بلغ عددها 10072 عنصر مما يضمن تقسيم الهيكل بشكل كافٍ لدراسة كل منطقة في النموذج بالتفصيل.

ومن النتائج تبين ان استخدام شبكة صلبة عالية الجودة كان الخيار الأمثل لتحليل الإجهادات والتشوهات ، حيث تم تحقيق توازن جيد بين دقة النتائج والوقت الحسابي حيث أثبتت كفاءتها في توضيح توزيع دقيق للقوى والإجهادات على القاعدة ، فكلما كانت الشبكة أدق وأكثر كثافة، كلما زادت دقة النتائج المحصلة من التحليل. ومع ذلك، فإن زيادة كثافة الشبكة تؤدي إلى زيادة في الوقت الحسابي المطلوب. ففي الشكل (2) يعرض الشبكة المستخدمة في التحليل، مع توضيح كيفية توزيع العناصر على الهيكل الهندسي للقاعدة. يُظهر التمثيل ثلاثي الأبعاد كيف تم تغطية الهيكل بالكامل باستخدام العناصر لتوفير تحليل دقيق.

شكل (2) يوضح توزيع العناصر على الهيكل الهندسي للقاعدة

وكانت نتائج القوى في هذه الدراسة هي القوى الناتجة عن الأحمال المطبقة على الهيكل وتأثيراتها التفاعلية. بحيث تم قياس القوى عند نقاط مختلفة على الهيكل باستخدام المعادلات التي توفرها طريقة العناصر المحدودة.

الجدول 3: قوى التفاعل (Reaction Forces)

الخاصية	المحور X	لمحور Y	المحور Z	النتيجة (N)
قوة التفاعل	0.00974274-	1,011.03	0.0578355	1,011.03

يوضح الجدول (3) ان قوة التفاعل في المحور X و Z ان القيم صغيرة للغاية، مما يشير إلى استقرار الهيكل في هذه المحاور دون تأثير ملحوظ قوة التفاعل اما في المحور Y تتحمل القاعدة القوة الناتجة عن وزن 50 كغم المطبق بسبب الجاذبية، ويظهر الرقم 1,011.03 نيوتن توافقاً مع الحمل الموزع.

الجدول 4: العزوم التفاعلية (Reaction Moments)

الخاصية	المحور X	المحور Y	المحور Z	النتيجة N.m
العزم	0	0	0	0

يوضح الجدول (5) غياب أي عزوم تفاعلية، مما يشير إلى أن الحمل المطبق كان موزعاً بشكل منتظم وأن القاعدة مصممة لتحمل الأحمال الرأسية دون تأثيرات التواء أو عدم استقرار. يعكس هذا التصميم كفاءة عالية في توزيع القوى بشكل متساوٍ عبر الهيكل، مما يقلل من احتمالية ظهور إجهادات غير مرغوب فيها أو تشوهات ناتجة عن العزوم كما أن غياب العزوم التفاعلية يدل على أن القاعدة مستقرة تماماً في ظل الظروف التشغيلية المحددة، مما يعزز من متانتها وقدرتها على الاستمرار في العمل دون تأثير سلبي على أدائها. هذا النوع من التحليل يؤكد على جودة التصميم وفعاليتها في التعامل مع الأحمال المختلفة، وهو ما يضمن أمان وسلامة النظام.

الجدول 6: القوى الحرة (Free Body Forces)

الخاصية	المحور X	المحور Y	المحور Z	النتيجة N
العزوم	0.64610	351.559	0.409855	351.56

يوضح الجدول (6) ان القوى الحرة تمثل المجموع الإجمالي للقوى المؤثرة على الهيكل ككل، حيث أن القوى في المحور Y تعكس تأثير الجاذبية الرئيسي، بينما تشير القوى الصغيرة في المحورين X و Z إلى أن التصميم مستقر تماماً تحت الظروف المحاكاة. هذا التوزيع للقوى يعكس كفاءة التصميم في مقاومة أي انحرافات جانبية أو التواءات غير مرغوب فيها، مما يضمن بقاء الهيكل في حالة توازن واستقرار تام إن هذه النتائج تؤكد أن الهيكل قد تم تصميمه لتحمل الأحمال الرأسية الناتجة عن الجاذبية مع تقليل التأثيرات العرضية، مما يعزز من سلامة الأداء وفعاليتها. كما أن صغر القيم في المحورين X و Z يشير إلى أن القوى الناتجة عن أي عوامل جانبية أو اهتزازات عرضية لا تسبب أي تأثير سلبي على استقرار الهيكل.

الجدول 7: العزوم الحرة (Free Body Moments)

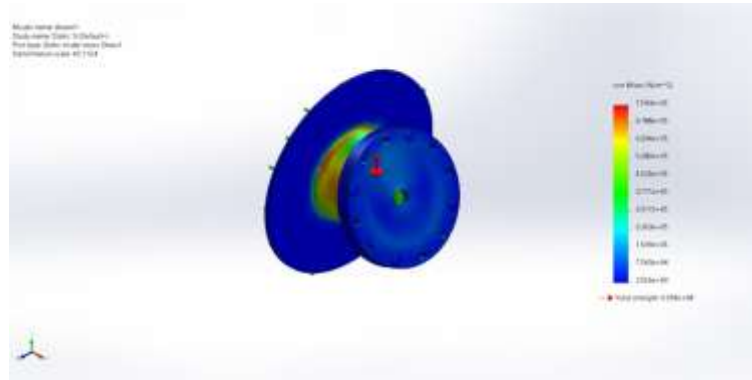
الخاصية	المحور X	المحور Y	المحور Z	النتيجة N.m
العزوم الحرة	0	0	0	0

يوضح الجدول (7) عدم وجود أي عزوم يشير إلى أن الأحمال المطبقة موزعة بشكل متناظر وأن الهيكل مستقر تمامًا دون أي التواء.

الجدول 8: نتائج تحليل الإجهادات (Stress Analysis)

الموقع	القيمة القصوى	القيمة الدنيا (N/m ²)	الخاصية
العقدة 6258	5 [^] 10×7.543	2.556	الإجهادات

أظهرت المحاكاة أن الإجهادات الدنيا تظهر في المناطق التي لا تتعرض لتحميل مباشر، أما الإجهادات القصوى فكانت عند العقدة 6258، ولكن القيمة القصوى لا تتجاوز حدود الفشل، أي أنها تقع ضمن حدود الخضوع للمادة وهي $10^8 \times 2.039$ N/m²، مما يعني أن القاعدة تتحمل الحمل بأمان. هذا يشير إلى أن التصميم المطبق يوزع الأحمال بشكل جيد ويقلل من مخاطر التركيز العالي للإجهادات في أي منطقة معينة. الشكل رقم (3) يوضح خريطة توزيع الإجهادات التي تُظهر بوضوح المناطق الأكثر عرضة للإجهاد والمناطق الأقل تأثراً

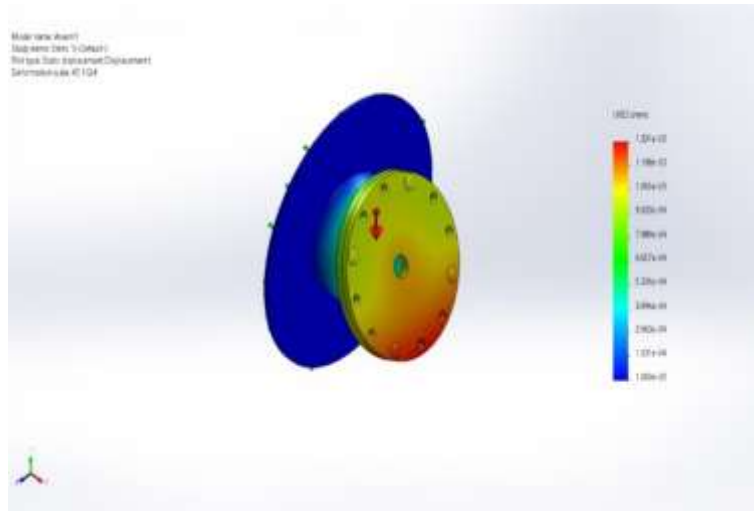


شكل (3): يوضح توزيع الإجهادات عبر الهيكل مع إبراز المناطق الأكثر تعرضاً للأحمال

الجدول 9: نتائج تحليل التشوهات

الموقع	القيمة القصوى (mm)	القيمة الدنيا (mm)	الخاصية
العقدة 3903	0.00133	0.0	التشوهات

يوضح الجدول (9) نتائج التحليل حيث إن التشوهات تمثل مقدار الإزاحة الناتجة عن الحمل المطبق على القاعدة. التشوهات القصوى صغيرة للغاية وبحجم 0.00133 mm ، مما يدل على أن التصميم مستقر وأن التشوه الحاصل غير ملحوظ. يشير ذلك إلى أن القاعدة قادرة على تحمل الحمل بثبات دون تأثير يذكر على أبعادها أو خصائصها التشغيلية. كما أن صغر حجم التشوهات يعكس كفاءة التصميم في توزيع الأحمال وتقليل التأثيرات الناتجة عنها، مما يضمن سلامة واستدامة الأداء على المدى الطويل. يُظهر هذا التحليل أهمية استخدام المواد المناسبة والاختيارات التصميمية التي تساهم في تحقيق الاستقرار والحد من التشوهات حتى في الظروف التشغيلية القاسية. الشكل التالي يوضح خريطة التشوهات التي تعطي تصوراً دقيقاً حول توزيع الإزاحات عبر القاعدة، مما يساعد في تحديد نقاط القوة والضعف في التصميم. هذه المعلومات تلعب دوراً حيوياً في تحسين التصميم المستقبلي وضمان أن القاعدة ستبقى في حالة مستقرة وآمنة تحت الأحمال المتوقعة كما هو الموضح بالشكل (4).

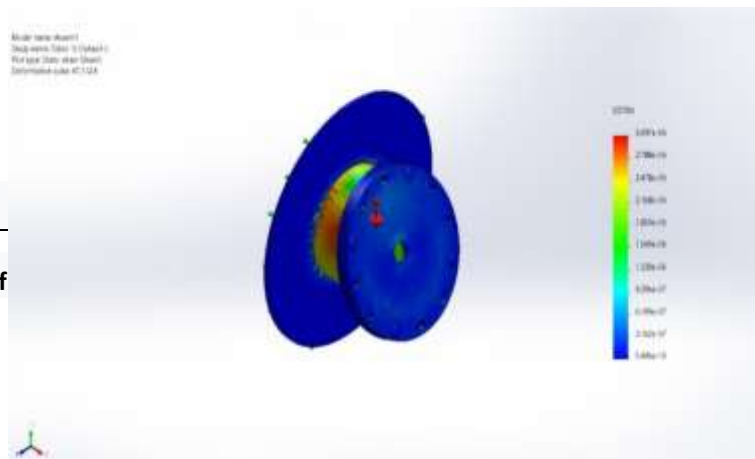


شكل (4): يوضح المناطق التي شهدت إزاحات طفيفة بسبب الحمل

الجدول 10: نتائج تحليل الانفعال

الموقع	القيمة القصوى	القيمة الدنيا	الخاصية
العنصر 5595	3.097×10^{-6}	5.406×10^{-10}	التشوهات

يتضح من الجدول (10) أن الانفعالات القصوى تقع في المناطق التي تواجه أعلى إجهاد بسبب التركيز الكبير للقوى، أما الانفعالات الدنيا فتتواجد في المناطق البعيدة عن الأحمال أو المدعومة بشكل كبير. مما يعني أن المادة تتحمل الانفعالات دون أن تتجاوز الحدود الآمنة، مما يضمن سلامة وأمان التصميم تحت تأثير الأحمال المختلفة هذا التوزيع يعكس كفاءة التصميم في إدارة الإجهادات



والانفعالات بشكل متوازن، حيث تظل المادة ضمن حدود الخضوع دون أن تظهر أي علامات على الفشل أو التشوه غير المقبول. كما أن خريطة توزيع الانفعال تساعد في تحديد المناطق الحرجة التي قد تحتاج إلى تعزيز إضافي أو تحسين في التصميم، مما يسهم في رفع كفاءة الأداء وتقليل احتمالية حدوث أعطال مستقبلية الشكل رقم (5) يوضح خريطة توزيع الانفعال في التصميم، مُظهرًا بوضوح أماكن التركيزات العليا للانفعال مقارنة بالمناطق ذات الانفعالات الدنيا، وهو ما يتيح للمصممين رؤية شاملة عن أداء المادة تحت الظروف التشغيلية وتقديم تحسينات إذا لزم الأمر لضمان مزيد من الثبات والمتانة في المستقبل.

شكل (5): يوضح المناطق التي شهدت أكبر انفعالات نتيجة الأحمال.

• إعداد النموذج للتصنيع

استُخدمت تقنيتان للقطع حسب متطلبات الدقة لكل جزء:

➤ **القطع بالبلازما** للأجزاء العامة ذات السماكات الأكبر، لما توفره من سرعة وجودة مقبولة.

➤ **القطع بالماء (Water Jet)** للطبقة العلوية التي تتطلب دقة عالية لضمان محاذاة صحيحة لعمود الدوران.

كما استخدمت عملية الدرفلة لتشكيل الأجزاء الأسطوانية عند الحاجة، بينما نُفذت عمليات اللحام باستخدام لحام القوس الكهربائي لضمان وصلات متينة قادرة على تحمل الاهتزازات. خضعت مناطق اللحام لعمليات إنهاء لتقليل الشقوق والأسطح الخشنة بما يتوافق مع معايير الصناعات الغذائية.

• التجميع والتركيب الصناعي

بعد إتمام تصنيع الأجزاء، جرى تجميعها وفحصها للتأكد من انطباق الأبعاد وتوافقها مع التصميم. تم استخدام مانع تسرب غذائي Gasket بين القاعدة والخزان لضمان الإغلاق، وتمت معايرة محاذاة عمود الخلط باستخدام أدوات قياس دقيقة لتفادي الانحرافات التي قد تسبب الاهتزاز. أُجري تشغيل تجريبي للتحقق من عدم وجود احتكاك أو انحرافات غير مرغوبة قبل اعتماد القاعدة للاستخدام الصناعي.

5. النتائج والمناقشة

أظهرت المحاكاة الإنشائية التي أُجريت على نموذج قاعدة الخلاط أن الهيكل المصمم يحقق استقرارًا ميكانيكيًا جيدًا تحت الأحمال المتوقعة أثناء التشغيل. فقد بين تحليل القوى التفاعلية تمركز الأحمال بشكل رئيسي على المحور Y، وهو ما يتوافق مع وزن المحرك وعزم الدوران المطبق. وجاءت قيم القوى على المحورين X و Z منخفضة للغاية، ما يشير إلى غياب انحرافات جانبية قد تؤثر على الاتزان العام للهيكل. هذه النتيجة تعكس فاعلية التصميم في توزيع الأحمال الرأسية وتثبيت مركز الدوران داخل الخزان.

كما أظهرت نتائج الإجهادات أن القيمة القصوى المسجلة ($7.543 \times 10^5 \text{ N/m}^2$) تقع ضمن حدود الأمان بالنسبة للمادة المستخدمة، وبفارق كبير عن حد الخضوع المحدد ($2.039 \times 10^8 \text{ N/m}^2$). هذا الفارق الواسع يشير إلى قدرة الهيكل على تحمل ظروف التشغيل

دون حدوث أي تشوهات دائمة أو مخاطر فشل إنشائي. ولوحظ تركز الإجهادات في مناطق محدودة بالقرب من نقاط التثبيت، وهو سلوك طبيعي في الهياكل المثبتة بنظام البراغي، ولا يؤثر على الأداء الكلي طالما بقي ضمن الحدود التصميمية الآمنة.

من ناحية التشوهات، أظهرت المحاكاة أن أقصى قيمة مسجلة بلغت 0.00133 مم، وهي قيمة صغيرة للغاية وغير مؤثرة على المحاذاة بين المحرك وعمود الدوران. ويُعد هذا مؤشرًا إيجابيًا يعكس صلابة الطبقة الحاملة وقدرتها على الحفاظ على موقع التشغيل بدقة، حتى في حال تعرض النظام لأحمال متغيرة أو اهتزازات ناتجة عن تغير سرعة الدوران.

أما تحليل الانفعالات فقد أظهر أن القيم القصوى المسجلة بقيت ضمن المستويات المقبولة للمادة، مع تركزها في المناطق ذات الإجهادات الأعلى. ويتوافق هذا السلوك مع نتائج الإجهادات والتشوهات، ويُظهر انسجامًا عامًا في أداء النموذج تحت الحمل.

تتميز هذه النتائج بتوافقها مع ما ورد في الأدبيات، خصوصًا الدراسات التي تشير إلى دور صلابة القاعدة في الحد من الاهتزازات وتحسين كفاءة الخلط. إلا أن النموذج الحالي يضيف بُعدًا تطبيقيًا مهمًا، يتمثل في دمج التصميم والتحليل مع ظروف تصنيع فعلية، مما يجعل النتائج أكثر قربًا من الاستخدام الصناعي مقارنة بالدراسات التي تعتمد على التحليل النظري فقط. كما أن التوازن بين الوزن، الصلابة، وطريقة التثبيت يجعل هذا النموذج مناسبًا لعمليات تكرير الزيوت التي تتطلب استقرارًا عاليًا لتجنب تشتت المادة الماصة أو ظهور مناطق ركود داخل الخزان.

وتشير هذه النتائج مجتمعة إلى أن القاعدة المصممة قادرة على توفير بيئة خلط مستقرة أثناء مرحلة إضافة بعض المواد للزيوت النباتية، بما يسهم في تحسين توزيع المادة الماصة ورفع فعالية إزالة الصبغات، وهو ما ينعكس مباشرة على جودة الزيت النهائي.

6. الخاتمة

تقدم هذه الدراسة نموذجًا هندسيًا متكاملًا لتصميم قاعدة خلط صناعي مخصصة لمرحلة إضافة بعض المواد للزيوت النباتية قبل تعبئتها في المنتج النهائي، اعتمادًا على منهجية تجمع بين التصميم الرقمي والتحليل الإنشائي وتقنيات التصنيع الحديثة. وقد أظهرت نتائج المحاكاة أن القاعدة توفر استقرارًا ميكانيكيًا عاليًا، مع مستويات منخفضة من التشوه والإجهاد، مما يجعلها مناسبة للعمل في بيئات تتطلب دقة في الخلط وتجانسًا في توزيع المواد المضافة.

كما أثبتت الدراسة أن تحسين أداء قاعدة الخلط لا يعتمد فقط على خصائص الخلط نفسه، بل يركز أيضًا على تصميم الهيكل الداعم وطريقة تثبيته. ويسهم هذا الربط بين الجوانب الميكانيكية وعمليات التكرير في سد فجوة واضحة في الأدبيات، خصوصًا في التطبيقات الصناعية التي تتطلب حلولًا عملية قابلة للتنفيذ.

وتشير النتائج إلى أن اعتماد هذا التصميم في خطوط إنتاج وتعبئة الزيوت النباتية يمكن أن يسهم في تحسين كفاءة التبييض وأيضًا في إضافة بعض المواد التي قد تساهم في تحسين جودة الزيوت النباتية. ويوصى بإجراء دراسات مستقبلية تشمل نماذج CFD لتحليل

حركة المائع داخل الخزان، إضافة إلى تقييم الأداء تحت سرعات تشغيل مختلفة لتحسين التصميم بشكل أكبر، وربطه بتحسينات إضافية في استهلاك الطاقة واستقرار النظام.

لهذا يعد تصميم وتصنيع قاعدة الخلاط عنصراً أساسياً في نجاح عمليات تكرير الزيوت النباتية. أظهرت هذه الدراسة أن دمج التصميم الهندسي الدقيق (باستخدام برامج المحاكاة) مع تقنيات تصنيع حديثة (مثل القطع بالماء والبلازما) يؤدي إلى تحسين كفاءة الخلط وتقليل الشوائب، مما ينعكس إيجاباً على جودة الزيت النهائي. يوصي البحث بإجراء دراسات مستقبلية تركز على تأثير الديناميكا الهوائية للخلاط على استهلاك الطاقة في المصانع الكبيرة.

المراجع (References)

- [1] Xu, X., Yang, Z., Chen, G., & Gao, H. (2017). Effect of refining on the nutritional quality of vegetable oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(32), 6866–6874.
- [2] Gharby, S. (2021). Impact of refining processes on the quality of vegetable oils. *International Journal of Food Science*, 2021, 1–8.
- [3] Karimi, S. M., & Vaziri, M. (2018). Modified activated clay for oil bleaching. *Food Chemistry*, 245, 123–129.
- [4] Zhang, Y., Wang, L., & Zhang, J. (2018). CFD modeling of mixing processes in edible oil bleaching tanks. *Chemical Engineering Research and Design*, 130, 45–56.
- [5] أ. أحمد العجيلي علي، أحمد. الجدال، م. أبوقية، أ. عبدالمنعم. العجيلي، و حسين. اوحيدة، "التحاليات الهندسية لمحور العجلة باستخدام النمذجة (الهندسة العكسية)،" *مجلة ليبيا للعلوم التطبيقية والتقنية*، المجلد 6، العدد 1، يونيو 2019.
- [6] Rossi, A., Silva, M. P., & Grosso, C. R. F. (2017). Optimization of agitation parameters in oil bleaching: Kinetic studies. *Journal of Food Engineering*, 200, 12–20.
- [7] Hsu, M., Chen, K., & Tsai, L. (2020). Vibration analysis of agitator shafts and mounting structures in industrial tanks. *Journal of Mechanical Design*, 142(3), 034501.
- [8] Singh, R., & Lee, S. (2019). Durability of nano-enhanced epoxy coatings in oil refining environments. *Corrosion Science*, 160, 108169.



- [9] Gunstone, F. D. (2011). *Vegetable Oils in Food Technology: Composition, Properties and Uses* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.
- [10] Choe, E., & Min, D. B. (2006). Mechanisms and factors for edible oil oxidation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(4), 169–186.
- [11] Dixit, A. (2015). *Plasma Cutting Technology Fundamentals*. Industrial Press.
- [12] Alade, M. A., Adekunle, K., & Benson, O. (2020). Efficiency of water jet cutting in food processing equipment manufacturing. *Journal of Manufacturing Processes*, 56, 1023–1031.
- [13] Ahmed, M., & Salih, S. (2019). Arc welding applications in stainless steel tank fabrication. *Welding Journal*, 98(5), 45–52.
- [14] Hammouda, A., Farag, R., & Mansour, R. (2021). Consumer acceptance of refined vegetable oils: Color and quality parameters. *Food Quality and Preference*, 87, 104032.
- [15] Kumar, P., Singh, D., & Shukla, R. (2019). Advancements in oil deodorization techniques. *Trends in Food Science & Technology*, 93, 102–114.