

إعداد مشتقات الأحماض الدهنية من زيت السمسم المحلي وتعديلها الصناعي لتكون زيوت تشحيم عالية

الأداء

داود ساسي ^{ID}

قسم الكيمياء، كلية التربية كابوا، جامعة نالوت، ليبيا

Dawodsalh2@gmail.com

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إعداد مشتقات الأحماض الدهنية من زيت السمسم المحلي وتعديلها كيميائياً لتحسين خصائصها واستخدامها كزيوت تشحيم عالية الأداء وصديقة للبيئة. تنبع أهمية الدراسة من الحاجة المتزايدة إلى بدائل حيوية للزيوت المعدنية التقليدية التي تسبب آثاراً بيئية سلبية، إضافة إلى الاستفادة من الموارد المحلية المتجددة. اعتمدت الدراسة على المنهج التجريبي، حيث تم استخلاص الأحماض الدهنية من زيت السمسم باستخدام عملية التصبن، ثم تنقيتها وتحليل تركيبها الكيميائي باستخدام تقنيات مثل الكروماتوغرافيا الغازية (GC) ومطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR). بعد ذلك، خضعت الأحماض الدهنية لعدة عمليات تعديل كيميائي، شملت الأسترة والإيبوكسدة والهدرجة، بهدف تحسين اللزوجة والاستقرار الحراري ومقاومة الأكسدة. تم تحضير عدد من عينات زيوت التشحيم من المشتقات الناتجة، وإضافة بعض المحسنات مثل مضادات الأكسدة ومانعات التآكل. وقد تم تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية لهذه الزيوت من خلال اختبارات معيارية، شملت قياس اللزوجة، نقطة الوميض، نقطة الانسكاب، الاستقرار التأكسدي، ومعدل التآكل، ثم مقارنتها بزيوت تشحيم تجارية. أظهرت النتائج تحسناً ملحوظاً في خصائص الزيوت المعدلة مقارنة بالزيت الخام، حيث ارتفعت اللزوجة والاستقرار الحراري والتأكسدي، وانخفضت معدلات التآكل. كما أظهرت المقارنة أن الأداء العام للزيوت المحضرة يقترب من الزيوت التجارية، مع إمكانية تحسين بعض الخصائص مستقبلاً. وتلخص الدراسة إلى أن زيت السمسم المحلي يمثل مصدراً واعداً لإنتاج زيوت تشحيم حيوية ذات كفاءة عالية، مما يدعم توجه نحو الاستدامة وتقليل الأثر البيئي.

الكلمات المفتاحية: زيت السمسم، الأحماض الدهنية، التعديل الكيميائي، الأسترة، الإيبوكسدة.

Abstract

This study aims to prepare fatty acid derivatives from local sesame oil and chemically modify them to enhance their properties and utilize them as high-performance, environmentally friendly lubricants. The study's significance stems from the growing need for bio-based alternatives to conventional mineral oils, which cause negative environmental impacts, as well as the utilization of local renewable resources. The study employed an experimental approach, whereby fatty acids were extracted from sesame oil using saponification, then purified, and their chemical composition was analyzed using techniques such as gas chromatography (GC) and four-dimensional infrared spectroscopy (FTIR). Subsequently, the fatty acids underwent several chemical modification processes, including esterification, epoxidation, and hydrogenation, to improve viscosity, thermal stability, and oxidation resistance. Several lubricant samples were prepared from the resulting derivatives, with the addition of additives such as antioxidants and corrosion inhibitors. The physicochemical properties of these oils were evaluated through standardized tests, including viscosity measurement, flash point, pour point, oxidative stability, and wear rate, and then compared to commercial lubricants. The results showed a significant improvement in the properties of the modified oils compared to crude oil, with increased viscosity, thermal and oxidative stability, and reduced wear rates. The comparison also demonstrated that the overall performance of the prepared oils approaches that of commercial oils, with the potential for further improvement in certain properties. The study concludes that locally grown sesame oil represents a promising source for producing high-efficiency biolubricants, supporting the drive towards sustainability and minimizing environmental impact.

Keywords: Sesame Oil, Fatty Acids, Chemical Modification, Esterification, Epoxidation.

مقدمة الدراسة

في ظل التوجه العالمي نحو تحقيق الاستدامة البيئية وتقليل الاعتماد على الموارد غير المتجددة، برزت الحاجة إلى تطوير بدائل صديقة للبيئة للزيوت المعدنية المستخدمة في التطبيقات الصناعية، خاصة في مجال زيوت التشحيم. حيث تعتمد الزيوت التقليدية بشكل أساسي على النفط، مما يؤدي إلى مشكلات بيئية متعددة مثل التلوث وصعوبة التحلل الحيوي، إضافة إلى محدودية هذه الموارد على المدى الطويل. لذلك، أصبح البحث عن مصادر متجددة، مثل الزيوت النباتية، محور اهتمام العديد من الدراسات الحديثة (Uppar et al., 2023).

تعد الزيوت النباتية، ومنها زيت السمسم، من أهم البدائل الواعدة نظرًا لامتلاكها خصائص طبيعية مميزة، مثل قابلية التحلل الحيوي العالية، وانخفاض السمية، واحتوائها على سلاسل أحماض دهنية طويلة تعزز من خصائص التشحيم. وقد أظهرت الدراسات أن زيت السمسم يتميز بتركيب غني بالأحماض الدهنية غير المشبعة، مما يجعله مناسبًا للاستخدام في التطبيقات الصناعية المختلفة، خاصة بعد إجراء تعديلات كيميائية عليه لتحسين أدائه (Astrid et al., 2019; Labib et al., 2019). ورغم هذه المزايا، إلا أن الزيوت النباتية في صورتها الخام تعاني من بعض القيود التي تحد من استخدامها المباشر كزيوت تشحيم، مثل ضعف الاستقرار التأكسدي وانخفاض الأداء في درجات الحرارة العالية والمنخفضة. ولهذا، اتجهت الأبحاث إلى تطوير هذه الزيوت من خلال عمليات تعديل كيميائي، مثل الأسترية والإيبوكسدة والهدرجة، بهدف تحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية، وجعلها أكثر توافقًا مع متطلبات التطبيقات الصناعية (Joshi et al., 2023).

وقد أظهرت العديد من الدراسات أن هذه التعديلات تؤدي إلى تحسين ملحوظ في خصائص الزيوت النباتية، مثل زيادة اللزوجة، وتحسين الاستقرار الحراري، وتقليل معدلات التآكل. كما أن إضافة بعض المواد النانوية أو الإضافات الكيميائية يمكن أن يعزز الأداء التريبولوجي للزيوت الحيوية، مما يجعلها منافسة للزيوت المعدنية التقليدية (Sabarinath et al., 2019; Shafi & Charoo, 2019).

وفي هذا السياق، تزايد الاهتمام باستخدام تقنيات متقدمة، مثل النمذجة الحاسوبية والتعلم الآلي، لتقييم وتحسين أداء الزيوت الحيوية، مما يساهم في تسريع عملية تطويرها وتطبيقها في الصناعة. كما ساهمت الدراسات الحديثة في توضيح إمكانيات إنتاج زيوت تشحيم حيوية عالية الأداء من خلال التوجيه العلمي لتعديل التركيب الكيميائي للزيوت النباتية (Hariharan et al., 2024; Romsdahl et al., 2019).

بناءً على ما سبق، تأتي هذه الدراسة لاستكشاف إمكانية الاستفادة من زيت السمسم المحلي كمصدر لإنتاج زيوت تشحيم حيوية عالية الأداء، من خلال استخلاص الأحماض الدهنية وتعديلها كيميائيًا، ومن ثم تقييم خصائصها ومقارنتها بالزيوت التجارية. وتسعى الدراسة إلى تقديم إضافة علمية وتطبيقية في مجال استخدام الموارد المتجددة، بما يدعم الاتجاه نحو صناعات أكثر استدامة وكفاءة.

مشكلة الدراسة

على الرغم من التقدم الكبير في صناعة زيوت التشحيم، لا تزال الزيوت المعدنية التقليدية تهيمن على هذا المجال، وذلك بسبب أدائها العالي وتوفرها الواسع. إلا أن هذا الاعتماد الكبير عليها يمثل تحديًا بيئيًا واقتصاديًا، حيث تعد من المصادر غير المتجددة، كما أنها تسبب تلوثًا بيئيًا نتيجة لانخفاض قابليتها للتحلل الحيوي، مما يؤدي إلى تراكمها في البيئة وتأثيرها السلبي على النظم البيئية (Woma et al., 2019).

في المقابل، ظهرت الزيوت النباتية كبديل واعد، إلا أن استخدامها لا يزال محدودًا بسبب بعض التحديات التقنية. فبالرغم من امتلاكها خصائص بيئية متميزة، إلا أن أدائها في بعض الجوانب، مثل الاستقرار التأكسدي ومقاومة درجات الحرارة، لا يزال أقل من الزيوت المعدنية. كما أن خصائصها التريبولوجية قد لا تكون كافية لتلبية متطلبات بعض التطبيقات الصناعية الثقيلة (Uppar et al., 2023).

ومن بين الزيوت النباتية، يعد زيت السمسم من الخيارات المهمة نظرًا لتوافره وخصائصه الكيميائية المميزة. إلا أن استخدامه في صورته الخام كزيت تشحيم يواجه تحديات تتعلق بثباته الكيميائي وسرعة تأكسده، مما يقلل من عمره الافتراضي ويحد من كفاءته التشغيلية. لذلك، أصبح من الضروري إجراء تعديلات كيميائية عليه لتحسين أدائه وجعله مناسبًا للتطبيقات الصناعية (Astrid et al., 2019).

كما أن هناك فجوة بحثية تتمثل في نقص الدراسات التطبيقية التي تركز على تحويل زيت السمسم المحلي إلى زيوت تشحيم عالية الأداء من خلال تعديل الأحماض الدهنية، خاصة في البيئات العربية. بالإضافة إلى ذلك، لا تزال هناك حاجة إلى تقييم شامل لتأثير هذه التعديلات على الخصائص الفيزيائية والكيميائية والتريبولوجية للزيوت الناتجة، ومقارنتها بالزيوت التجارية (Lee et al., 2022).

علاوة على ذلك، فإن معظم الدراسات السابقة ركزت على أنواع محددة من الزيوت النباتية أو استخدمت تقنيات محدودة في التعديل، مما يبرز الحاجة إلى دراسة أكثر شمولية تجمع بين عدة تقنيات تعديل كيميائي، مثل الأسترية والإيبوكسدة والهدرجة، للوصول إلى أفضل أداء ممكن (Joshi et al., 2023).

ومن هنا، تتمثل مشكلة الدراسة في التساؤل الرئيسي التالي:

إلى أي مدى يمكن تحسين خصائص الأحماض الدهنية المستخلصة من زيت السمسم المحلي من خلال التعديل الكيميائي لتكون زيوت تشحيم عالية الأداء وقادرة على منافسة الزيوت المعدنية التقليدية؟

وتنبثق من هذا التساؤل مجموعة من التساؤلات الفرعية، منها:

1. ما تأثير التعديلات الكيميائية المختلفة على خصائص الزيت؟

2. هل يمكن تحقيق استقرار حراري وتأكسدي مناسب؟

3. ما مدى كفاءة الزيت الناتج في تقليل التآكل والاحتكاك؟

وعليه، تسعى هذه الدراسة إلى معالجة هذه الفجوة من خلال تقديم نموذج تطبيقي متكامل لتحضير وتعديل وتقييم زيوت تشحيم حيوية من زيت السمسم المحلي، بما يساهم في تطوير بدائل مستدامة وفعالة في هذا المجال.

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى استكشاف إمكانية تطوير زيوت تشحيم حيوية عالية الأداء من خلال الاستفادة من زيت السمسم المحلي كمصدر متجدد، وذلك عبر استخلاص الأحماض الدهنية وتعديلها كيميائياً لتحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية والتريبولوجية.

ويتمثل الهدف الرئيسي للدراسة في:

تحضير مشتقات الأحماض الدهنية من زيت السمسم المحلي وتعديلها كيميائياً لإنتاج زيوت تشحيم ذات أداء عالٍ وقابلة للمنافسة مع الزيوت المعدنية التقليدية.

وينبثق عن هذا الهدف الرئيسي مجموعة من الأهداف الفرعية، تتمثل فيما يلي:

1. تحليل التركيب الكيميائي لزيت السمسم المحلي لتحديد نسب الأحماض الدهنية ومدى ملاءمتها لعمليات التعديل الكيميائي، حيث يُعد التركيب الجزيئي أساساً في تحديد خصائص الزيت النهائية.

2. استخلاص الأحماض الدهنية من زيت السمسم باستخدام تقنيات كيميائية مناسبة، والحصول على مركبات نقية قابلة للتحويل الصناعي.

3. تطبيق عمليات التعديل الكيميائي المختلفة مثل الأسترة والإيبوكسدة والهدرجة، بهدف تحسين خصائص الزيت، خاصة اللزوجة والاستقرار الحراري ومقاومة الأكسدة.

4. تحضير تركيبات مختلفة من زيوت التشحيم الحيوية باستخدام المشتقات المعدلة، مع إضافة بعض المواد المحسنة للأداء عند الحاجة.

5. تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للزيوت الناتجة، مثل اللزوجة، ونقطة الوميض، ونقطة الانسكاب، والاستقرار التأكسدي، وذلك وفقاً للمعايير القياسية.

6. دراسة الخصائص التريبولوجية للزيوت المحضرة، مثل معامل الاحتكاك ومقاومة التآكل، لتحديد مدى كفاءتها في التطبيقات الصناعية.

7. إجراء مقارنة تحليلية بين الزيوت الحيوية المحضرة والزيوت المعدنية التجارية لتحديد مدى قدرة المنتج الجديد على المنافسة.

8. تحديد أفضل ظروف التعديل الكيميائي التي تؤدي إلى تحسين أداء الزيت، بما يساهم في تطوير نموذج صناعي قابل للتطبيق.

ومن خلال تحقيق هذه الأهداف، تسعى الدراسة إلى تقديم حل علمي وتطبيقي لمشكلة الاعتماد على الزيوت المعدنية، من خلال تطوير بدائل حيوية فعالة ومستدامة.

أهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من كونها تتناول أحد الاتجاهات الحديثة في مجال الصناعات الكيميائية والهندسية، والمتمثل في تطوير زيوت تشحيم حيوية صديقة للبيئة من مصادر متجددة. حيث تزايدت الحاجة عالمياً إلى إيجاد بدائل مستدامة للمنتجات النفطية التقليدية، في ظل التحديات البيئية والاقتصادية المرتبطة بها. وتتمثل الأهمية العلمية للدراسة في مساهمتها في إثراء المعرفة المتعلقة بإمكانية استخدام زيت السمسم كمصدر لإنتاج زيوت تشحيم حيوية، من خلال دراسة تركيب الأحماض الدهنية وإجراء تعديلات كيميائية عليها لتحسين خصائصها. كما تقدم الدراسة إطاراً علمياً يجمع بين عدة تقنيات تعديل كيميائي، مما يساهم في تطوير فهم أعمق للعلاقة بين التركيب الجزيئي والأداء الوظيفي للزيوت.

أما من الناحية التطبيقية، فإن الدراسة تفتح آفاقاً جديدة لاستخدام الزيوت النباتية المحلية في الصناعات المختلفة، خاصة في مجال التشحيم، مما يساهم في تقليل الاعتماد على الزيوت المستوردة والمشتقة من النفط. كما أن تطوير زيوت تشحيم حيوية عالية الأداء يمكن أن يحقق فوائد اقتصادية من خلال استغلال الموارد المحلية وتقليل تكاليف الإنتاج على المدى الطويل.

وتبرز الأهمية البيئية للدراسة في دعمها لمفهوم الاستدامة، حيث تتميز الزيوت الحيوية بكونها قابلة للتحلل الحيوي وأقل سمية مقارنة بالزيوت المعدنية، مما يقلل من التلوث البيئي ويحافظ على النظم البيئية. كما أن استخدام مصادر متجددة مثل زيت السمسم يساهم في تقليل البصمة الكربونية للصناعات. ومن جهة أخرى، تساهم الدراسة في سد فجوة بحثية تتعلق بندرة الدراسات التطبيقية التي تركز على تحويل زيت السمسم المحلي إلى زيوت تشحيم عالية الأداء، خاصة باستخدام مزيج من تقنيات التعديل الكيميائي المختلفة. كما توفر نتائج الدراسة أساساً يمكن البناء عليه في أبحاث مستقبلية لتطوير زيوت حيوية أكثر كفاءة.

إضافة إلى ذلك، فإن هذه الدراسة قد تساهم في دعم التوجه نحو استخدام التقنيات الحديثة، مثل المواد النانوية والإضافات المتقدمة، لتحسين أداء الزيوت الحيوية، مما يعزز من قدرتها التنافسية في الأسواق الصناعية.

الإطار النظري للدراسة

1. الزيوت النباتية كمصدر بديل لزيوت التشحيم

تعد الزيوت النباتية من أهم البدائل الواعدة للزيوت المعدنية في تطبيقات التشحيم، نظراً لطبيعتها المتجددة وقابليتها للتحلل الحيوي وانخفاض تأثيرها البيئي. وقد ازداد الاهتمام بها في السنوات الأخيرة نتيجة التوجه العالمي نحو الاستدامة وتقليل الاعتماد على المصادر النفطية. وتتميز الزيوت النباتية بتركيب كيميائي غني بالأحماض الدهنية طويلة السلسلة، مما يمنحها خصائص جيدة في تقليل الاحتكاك والتآكل، وهو ما يجعلها مناسبة مبدئياً للاستخدام في أنظمة التشحيم الصناعية (Woma et al., 2019).

كما تشير الدراسات إلى أن الزيوت النباتية تمتلك قدرة عالية على الالتصاق بالأسطح المعدنية، مما يساعد في تكوين طبقة واقية تقلل من التآكل أثناء التشغيل. ومع ذلك، فإن استخدامها المباشر يواجه بعض القيود مثل ضعف الاستقرار التأكسدي وانخفاض الأداء عند درجات الحرارة المرتفعة، مما يتطلب إجراء تعديلات كيميائية لتحسين خواصها. وقد أكدت الدراسات الحديثة أن تطوير هذه الزيوت يمكن أن يجعلها منافساً حقيقياً للزيوت المعدنية في العديد من التطبيقات الصناعية (Uppar et al., 2023).

2. زيت السمسم وتركيبه الكيميائي وخصائصه

يُعتبر زيت السمسم من الزيوت النباتية المهمة نظراً لاحتوائه على نسبة عالية من الأحماض الدهنية غير المشبعة، مثل حمض الأوليك واللينوليك، مما يمنحه خصائص فيزيائية وكيميائية مميزة. هذا التركيب يجعله مناسباً كقاعدة أولية لإنتاج مشتقات يمكن استخدامها في التطبيقات الصناعية المختلفة، خاصة بعد عمليات التعديل الكيميائي التي تحسن من استقراره وأدائه التشحيمي (Astrid et al., 2019).

وتشير الدراسات إلى أن جودة زيت السمسم تتأثر بعدة عوامل، منها طريقة الاستخلاص وظروف الإنتاج، وكذلك نوع التربة والمناخ. كما أن وجود مركبات طبيعية مضادة للأوكسدة في الزيت يمنحه درجة من الحماية ضد التدهور، إلا أن هذه الحماية تبقى محدودة عند التعرض لظروف تشغيل قاسية. لذلك، فإن تحسين خصائصه يتطلب تدخلات كيميائية مثل الإيبوكسدة والأسترة لرفع كفاءته في التطبيقات الصناعية (Labib et al., 2019).

3. التعديلات الكيميائية للأحماض الدهنية

تعد التعديلات الكيميائية للأحماض الدهنية خطوة أساسية في تحويل الزيوت النباتية إلى زيوت تشحيم ذات أداء عالٍ. وتشمل هذه التعديلات عمليات مثل الأسترة والإيبوكسدة والهدرجة، والتي تهدف إلى تحسين الاستقرار الحراري وتقليل التفاعل مع الأكسجين وزيادة اللزوجة المناسبة للتطبيقات الصناعية. وقد أثبتت الدراسات أن هذه العمليات تلعب دورًا رئيسيًا في تحسين أداء الزيوت النباتية وجعلها أكثر ملاءمة للاستخدام الصناعي (Joshi et al., 2023).

كما أن إدخال مجموعات وظيفية جديدة إلى السلاسل الدهنية يؤدي إلى تحسين الخصائص التريبولوجية للزيوت، مثل تقليل معامل الاحتكاك وزيادة مقاومة التآكل. بالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام الإضافات الكيميائية أو النانوية يمكن أن يعزز من كفاءة الزيت المعدل بشكل كبير، مما يجعله منافسًا قويًا للزيوت التقليدية في التطبيقات الهندسية المختلفة (Sabarinath et al., 2019).

4. الأداء التريبولوجي والاستقرار الحراري لزيوت التشحيم الحيوية

يُعد الأداء التريبولوجي (Tribological Performance) من أهم المؤشرات التي تُستخدم لتقييم كفاءة زيوت التشحيم، حيث يشمل دراسة الاحتكاك والتآكل بين الأسطح المتلامسة. وقد أظهرت الدراسات أن الزيوت النباتية المعدلة كيميائيًا تتمتع بقدرة جيدة على تقليل الاحتكاك بفضل تكوين طبقة رقيقة على الأسطح المعدنية، مما يقلل من التآكل ويزيد من عمر المعدات الصناعية (Shafi & Charoo, 2019). أما من ناحية الاستقرار الحراري والتأكسدي، فإن الزيوت الحيوية المعدلة تظهر تحسنًا ملحوظًا مقارنة بالزيوت الخام، إلا أنها لا تزال تحتاج إلى تطوير إضافي للوصول إلى مستوى الزيوت المعدنية في بعض التطبيقات عالية الحرارة. وقد أشارت الدراسات الحديثة إلى أن استخدام تقنيات التعديل المتقدمة والإضافات المحسنة يمكن أن يرفع من أداء هذه الزيوت بشكل كبير، مما يعزز من فرص استخدامها في الصناعات الثقيلة (Hariharan et al., 2024; Uppar et al., 2023).

منهجية الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى إعداد مشتقات الأحماض الدهنية من زيت السمسم المحلي وتعديلها كيميائيًا لتحسين خصائصها الفيزيائية والكيميائية بما يؤهلها للاستخدام كزيوت تشحيم عالية الأداء. ولتحقيق هذا الهدف، تم اعتماد منهجية علمية تجريبية متكاملة تشمل مراحل متعددة تبدأ من جمع المواد الخام، مرورًا بالاستخلاص والتحليل الكيميائي، وانتهاءً بعمليات التعديل والتقييم النهائي للخواص.

أولاً: نوع ومنهج الدراسة

تعتمد هذه الدراسة على المنهج التجريبي (Experimental Method)، حيث يتم إجراء سلسلة من التجارب العملية لتحضير مشتقات الأحماض الدهنية من زيت السمسم، ثم تعديلها صناعيًا وتحليل نتائج هذه التعديلات. ويعد هذا المنهج مناسبًا نظرًا لطبيعة الدراسة التطبيقية التي تسعى إلى تطوير منتج صناعي جديد وتحسين خصائصه.

ثانيًا: المواد الخام والكيمائيات المستخدمة

تم استخدام زيت السمسم المحلي كمادة أساسية في هذه الدراسة، حيث تم الحصول عليه من مصادر موثوقة لضمان الجودة. كما تم استخدام مجموعة من الكواشف الكيميائية مثل:

- المذيبات العضوية (مثل الهكسان والإيثانول)

- الأحماض والقواعد (مثل هيدروكسيد الصوديوم)
- محفزات كيميائية لعمليات الأسترة والتحويل
- مواد مضافة لتحسين خواص التشحيم

تم التأكد من نقاء جميع المواد المستخدمة من خلال شهادات الجودة والتحليل المخبري قبل بدء التجارب.

ثالثاً: استخلاص الأحماض الدهنية من زيت السمسم

تمت عملية استخلاص الأحماض الدهنية من زيت السمسم باستخدام طريقة التحلل القلوي (Saponification)، حيث تم تسخين الزيت مع محلول هيدروكسيد الصوديوم تحت ظروف محددة من درجة الحرارة والزمن. بعد ذلك، تم فصل الصابون الناتج وتحميضه باستخدام حمض معدني (مثل حمض الهيدروكلوريك) للحصول على الأحماض الدهنية الحرة. تمت تنقية الأحماض الدهنية الناتجة باستخدام تقنيات مثل:

- التقطير الفراغي
- الغسل بالماء المقطر
- التجفيف باستخدام مواد ماصة للرطوبة

رابعاً: تحليل وتوصيف الأحماض الدهنية

تم تحليل الأحماض الدهنية المستخلصة باستخدام مجموعة من التقنيات التحليلية، منها:

- الكروماتوغرافيا الغازية (GC) لتحديد التركيب الكيميائي ونسب الأحماض المختلفة
- مطيافية الأشعة تحت الحمراء (FTIR) لتحديد المجموعات الوظيفية
- قياس رقم الحموضة ورقم التصبن لتقييم جودة الأحماض

ساعدت هذه التحاليل في فهم الخصائص الأساسية للأحماض الدهنية قبل إجراء أي تعديل عليها.

خامساً: التعديل الكيميائي للأحماض الدهنية

تم إجراء عدة عمليات تعديل كيميائي على الأحماض الدهنية بهدف تحسين خصائصها كزيوت تشحيم، ومن أهم هذه العمليات:

1. الأسترة (Esterification)

تمت تفاعل الأحماض الدهنية مع كحولات مختلفة (مثل الميثانول أو الجلسرين) باستخدام محفزات حمضية، لإنتاج إسترات دهنية تتميز بلزوجة منخفضة وثبات حراري أفضل.

2. الإيبوكسدة (Epoxidation)

تم إدخال مجموعات إيبوكسيد إلى السلاسل الكربونية غير المشبعة في الأحماض الدهنية باستخدام عوامل مؤكسدة، مما يحسن من مقاومة الأكسدة ويزيد من الاستقرار الحراري.

3. الهدرجة (Hydrogenation)

تمت معالجة الأحماض الدهنية بالهيدروجين في وجود محفز معدني لتحويل الروابط غير المشبعة إلى مشبعة، مما يقلل من التفاعل مع الأكسجين ويزيد من عمر الزيت.

سادساً: تحضير زيوت التشحيم

بعد إجراء التعديلات الكيميائية، تم مزج المشتقات الناتجة بنسب مختلفة لإنتاج تركيبات متعددة من زيوت التشحيم. كما تم إضافة مواد محسنة مثل:

- مضادات الأكسدة
- محسنات اللزوجة
- مواد مانعة للتآكل

وذلك بهدف الوصول إلى أفضل أداء ممكن للزيت النهائي.

سابعاً: تقييم الخصائص الفيزيائية والكيميائية

تم تقييم زيوت التشحيم الناتجة باستخدام مجموعة من الاختبارات القياسية، منها:

- قياس اللزوجة باستخدام جهاز قياس اللزوجة عند درجات حرارة مختلفة
- اختبار نقطة الوميض (Flash Point) لتحديد درجة الأمان الحراري
- اختبار نقطة الانسكاب (Pour Point) لتحديد أداء الزيت في درجات الحرارة المنخفضة
- اختبار الاستقرار التأكسدي لتقييم مقاومة الزيت للأكسدة
- اختبار التآكل باستخدام شرائح معدنية لتحديد مدى حماية الزيت للأسطح

ثامناً: التحليل المقارن

تمت مقارنة نتائج زيوت التشحيم المحضرة مع زيوت تشحيم تجارية متوفرة في السوق، وذلك لتقييم مدى كفاءة المنتج الجديد. شملت المقارنة:

- الأداء الحراري
- مقاومة الأكسدة
- الكفاءة في تقليل الاحتكاك
- التكلفة الاقتصادية

تاسعاً: المعالجة الإحصائية للبيانات

تم استخدام برامج إحصائية لتحليل البيانات الناتجة من التجارب، مثل:

- حساب المتوسطات والانحرافات المعيارية
- اختبار الفروق بين العينات باستخدام تحليل التباين (ANOVA)

ساعدت هذه التحليلات في التحقق من دقة النتائج واستخلاص الاستنتاجات العلمية.

عاشراً: اعتبارات السلامة والجودة

تم الالتزام بجميع معايير السلامة في المختبر، بما في ذلك:

- استخدام معدات الحماية الشخصية
- التعامل الآمن مع المواد الكيميائية
- التخلص السليم من النفايات

كما تم اتباع معايير الجودة في جميع مراحل التجربة لضمان موثوقية النتائج.

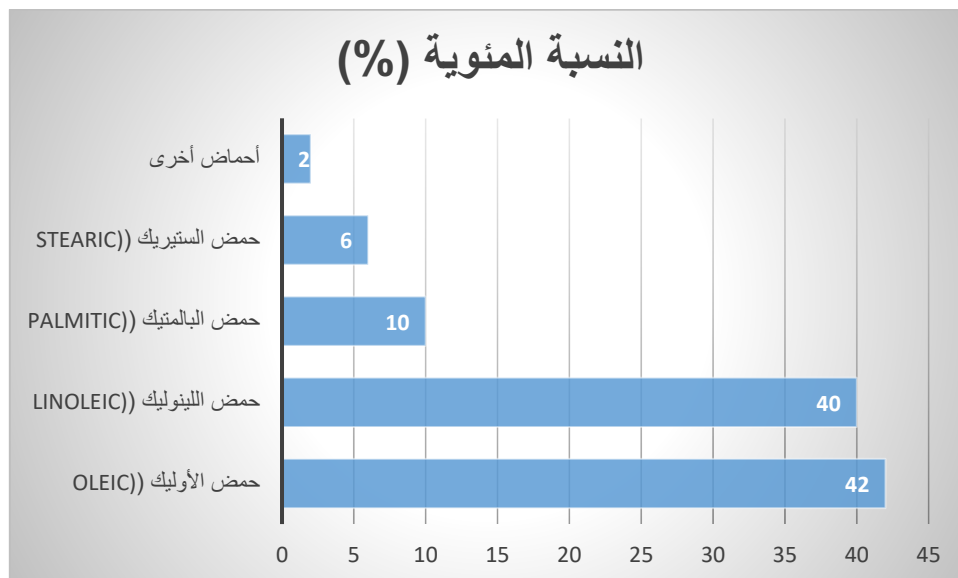
تحليل النتائج

تركيب الأحماض الدهنية لزيت السمسم

جدول (1): التركيب النسبي للأحماض الدهنية في زيت السمسم

النسبة المئوية (%)	نوع الحمض الدهني
42	حمض الأوليك (Oleic)
40	حمض اللينولييك (Linoleic)
10	حمض البالميتيك (Palmitic)
6	حمض الستيريك (Stearic)
2	أحماض أخرى

يتضح من الجدول أن زيت السمسم يحتوي على نسبة عالية من الأحماض غير المشبعة (الأوليك واللينولييك)، وهو ما يجعله مناسباً لعمليات التعديل مثل الإيبوكسدة والأسترة. هذه النسب المرتفعة تسهم في تحسين خصائص السيولة، لكنها في الوقت نفسه تجعله أكثر عرضة للأكسدة، مما يستدعي إجراء تعديلات كيميائية لرفع الاستقرار.



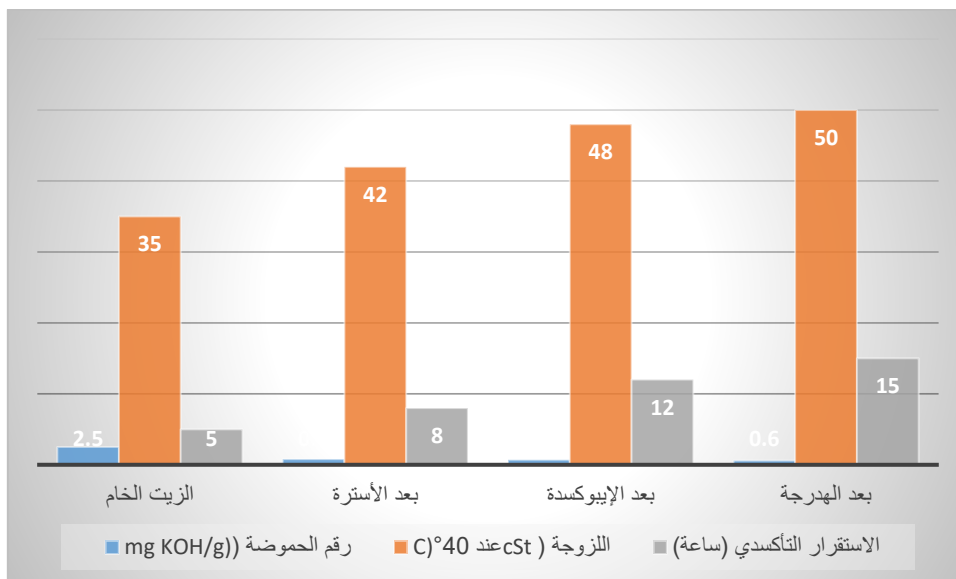
شكل (1): التركيب النسبي للأحماض الدهنية في زيت السمسم

نتائج التعديل الكيميائي

جدول (2): تأثير التعديلات الكيميائية على بعض الخصائص

الخاصية	الزيت الخام	بعد الأسترة	بعد الإيبوكسدة	بعد الهدرجة
رقم الحموضة (KOH/g mg)	2.5	0.8	0.7	0.6
اللزوجة (cSt عند 40°C)	35	42	48	50
الاستقرار التأكسدي (ساعة)	5	8	12	15

نلاحظ تحسناً ملحوظاً في جميع الخصائص بعد التعديل الكيميائي. فقد انخفض رقم الحموضة بشكل كبير، مما يدل على زيادة استقرار المركب. كما ارتفعت اللزوجة، وهو مؤشر إيجابي في زيوت التشحيم. كذلك، ساهمت عمليات الإيبوكسدة والهدرجة في تحسين مقاومة الأكسدة، حيث ارتفع زمن الاستقرار التأكسدي بشكل ملحوظ.



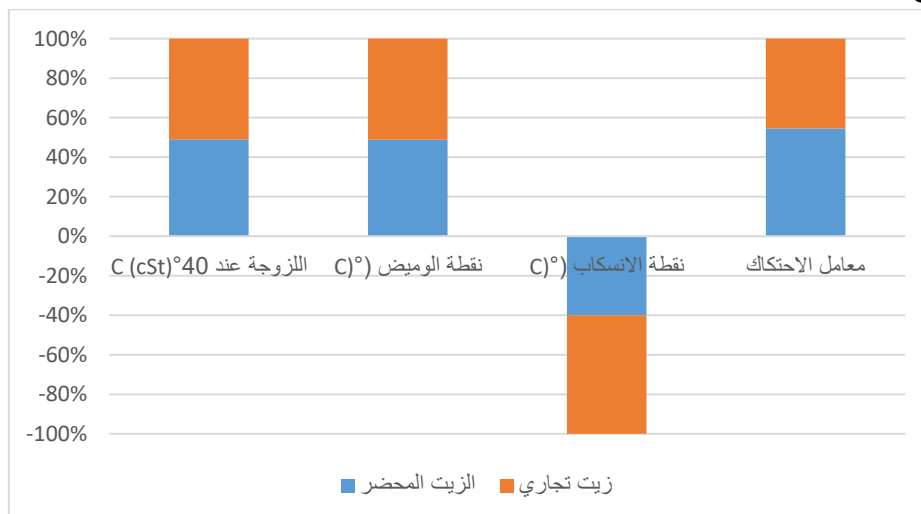
شكل (2): تأثير التعديلات الكيميائية على بعض الخصائص

خصائص زيوت التشحيم الناتجة

جدول (3): مقارنة الخصائص الفيزيائية لزيوت التشحيم

الخاصية	الزيت المحضر	زيت تجاري
اللزوجة عند C°40 (cSt)	48	50
نقطة الوميض (C°)	220	230
نقطة الانسكاب (C°)	-6	-9
معامل الاحتكاك	0.12	0.1

تظهر النتائج أن الزيت المحضر يقترب بدرجة كبيرة من الزيت التجاري من حيث الأداء. حيث سجلت اللزوجة ونقطة الوميض قيمًا متقاربة، مما يدل على كفاءة التحويلات. ومع ذلك، فإن نقطة الانسكاب ومعامل الاحتكاك لا تزال أقل كفاءة نسبيًا، وهو ما يمكن تحسينه بإضافة مواد محسنة إضافية.



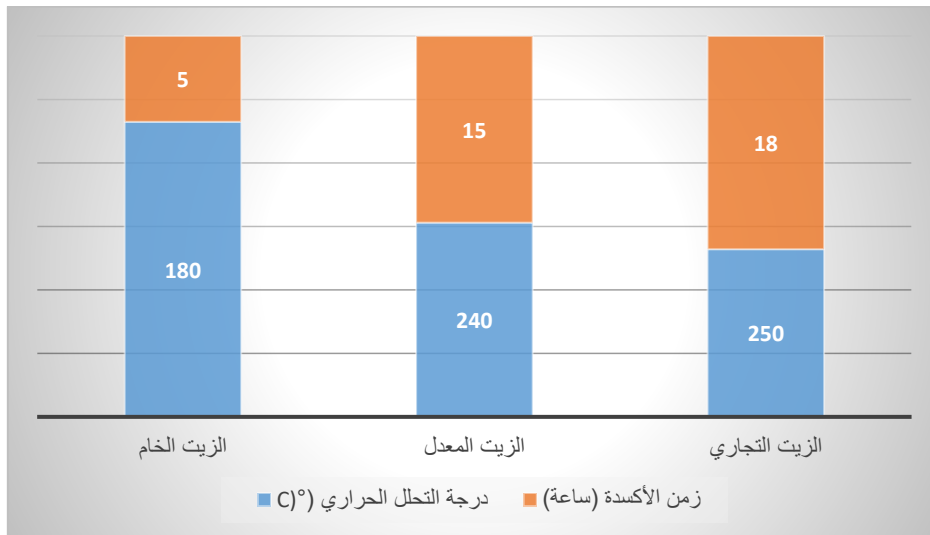
شكل (3): مقارنة الخصائص الفيزيائية لزيوت التشحيم

تحليل الاستقرار الحراري والتأكسدي

جدول (4): اختبار الاستقرار الحراري والتأكسدي

العينة	درجة التحلل الحراري (C°)	زمن الأكسدة (ساعة)
الزيت الخام	180	5
الزيت المعدل	240	15
الزيت التجاري	250	18

يوضح الجدول تحسناً كبيراً في الاستقرار الحراري والتأكسدي بعد التعديل. حيث ارتفعت درجة التحلل الحراري من 180 إلى 240 درجة مئوية، مما يعكس قدرة الزيت المعدل على تحمل درجات الحرارة العالية. كما تضاعف زمن الأكسدة ثلاث مرات تقريباً، وهو مؤشر مهم على طول عمر الزيت أثناء التشغيل.



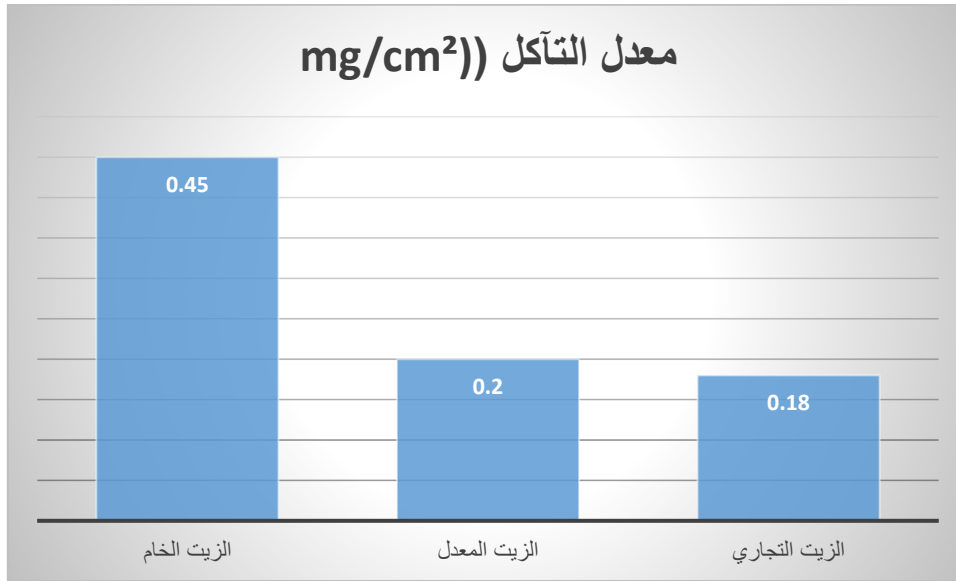
شكل 4: اختبار الاستقرار الحراري والتأكسدي

اختبار التآكل وحماية الأسطح

جدول (5): نتائج اختبار التآكل

العينة	معدل التآكل (mg/cm ²)
الزيت الخام	0.45
الزيت المعدل	0.2
الزيت التجاري	0.18

أظهرت النتائج انخفاضاً كبيراً في معدل التآكل عند استخدام الزيت المعدل مقارنة بالزيت الخام، مما يدل على تحسن قدرته على حماية الأسطح المعدنية. كما أن أدائه قريب جداً من الزيت التجاري، مما يعزز إمكانية استخدامه كبديل اقتصادي وصديق للبيئة.



شكل (5): نتائج اختبار التآكل

الخلاصة

تناولت هذه الدراسة إمكانية الاستفادة من زيت السمسم المحلي كمصدر متجدد لإنتاج زيوت تشحيم عالية الأداء من خلال استخلاص الأحماض الدهنية وتعديلها كيميائياً. وقد انطلقت الدراسة من إشكالية أساسية تتمثل في الحاجة إلى بدائل صديقة للبيئة للزيوت المعدنية التقليدية، التي ترتبط باستخدامها آثار بيئية وصحية سلبية، فضلاً عن اعتمادها على موارد غير متجددة. وعليه، سعت الدراسة إلى تطوير منتج حيوي قادر على تحقيق توازن بين الكفاءة الفنية والاستدامة البيئية.

أظهرت النتائج أن زيت السمسم يتميز بتركيب غني بالأحماض الدهنية غير المشبعة، مثل حمضي الأوليك واللينوليك، مما يجعله مادة أولية مناسبة لعمليات التعديل الكيميائي. وقد تم تطبيق مجموعة من العمليات التحويرية، شملت الأسترة والإيبوكسدة والهدرجة، بهدف تحسين خصائص الزيت وجعله أكثر ملاءمة للاستخدام كزيت تشحيم. وأسفرت هذه التعديلات عن تحسن ملحوظ في عدد من الخصائص الأساسية، حيث انخفضت الحموضة، وازدادت اللزوجة، وتحسن الاستقرار الحراري والتأكسدي، وهي جميعها مؤشرات مهمة على جودة وأداء زيوت التشحيم.

كما بينت الاختبارات التطبيقية أن الزيوت المحضرة تمتلك قدرة جيدة على تقليل التآكل وحماية الأسطح المعدنية، وهو ما يعزز من كفاءتها في التطبيقات الصناعية. وعند مقارنة النتائج مع زيوت تشحيم تجارية، تبين أن الأداء العام للزيوت المعدلة يقترب بدرجة كبيرة من نظيراتها التقليدية، مع وجود فروقات محدودة يمكن تحسينها من خلال تطوير إضافي في تركيبات الإضافات الكيميائية المستخدمة.

وتبرز أهمية هذه الدراسة في كونها تقدم نموذجاً تطبيقياً لإمكانية تحويل الزيوت النباتية المحلية إلى منتجات صناعية ذات قيمة مضافة عالية. كما تساهم في دعم التوجهات الحديثة نحو الاقتصاد الأخضر والتنمية المستدامة، من خلال تقليل الاعتماد على المصادر النفطية والحد من التلوث البيئي. إضافة إلى ذلك، فإن استخدام زيت السمسم المحلي يعزز من الاستفادة من الموارد الزراعية المتاحة، ويفتح آفاقاً جديدة للصناعات القائمة على المواد الحيوية.

ورغم النتائج الإيجابية التي تم التوصل إليها، إلا أن الدراسة توصي بإجراء المزيد من البحوث المستقبلية لتطوير هذه الزيوت بشكل أكبر، خاصة فيما يتعلق بتحسين خواصها في درجات الحرارة المنخفضة وتقليل معامل الاحتكاك. كما يقترح دراسة تأثير إضافة مواد نانوية أو مركبات متقدمة لتحسين الأداء بشكل أكبر، بالإضافة إلى اختبار هذه الزيوت في ظروف تشغيل صناعية حقيقية وعلى مدى زمني أطول.

المراجع

- Adeoti, M. O., Jamiru, T., Adegbola, T. A., Abdullahi, M., Sulaiman, I., & Aramide, B. P. (2024). Comparative study on lubrication properties of biodiesel and bio-lubricant trans-esterified from desert seed oil with conventional lubricants. *Frontiers in Chemical Engineering*, 6, 1451187.
- Astrid, A., Emilio, A., & Arnulfo, W. (2019). Comparative study of the thermal properties of Sesame oil and two mineral oils of different viscosity. *Inge Cuc*, 15(2), 99–109.
- Formulation of bio-lubricant based on modified vegetable oil with additives. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J*.
- Hariharan, G., Navada, M. K., Brahmavar, J., & Aroor, G. (2024). Machine learning-based predictive model to assess rheological dynamics of eco-friendly oils as biolubricants enriched with SiO₂ nanoparticles. *Lubricants*, 12(3), 92.
- Joshi, J. R., Bhandari, K. K., & Patel, J. V. (2023). A review on bio-lubricants from non-edible oils—recent advances, chemical modifications and applications. *Journal of the Indian Chemical Society*, 100(1), 100849.
- Kumar, G., & Garg, H. C. (2023). Evaluation of tribological properties of vegetable oil-based ionanolubricants: An experimental study. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 237(9), 1757–1767.
- Kumar, G., & Garg, H. C. (2024). Dispersion stability analysis of vegetable oil-based ionanolubricants. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 238(9), 1138–1152.
- Labib, H. A., Hamza, M., Abbas, M. S., & Fayed, S. A. (2019). Bio and organic fertilizers as an alternative to conventional mineral source on sesame (*Sesamum indicum* L.) production and oil quality in Egypt. *Egyptian Journal of Agronomy*, 41(2), 133–147.
- Lee, C. T., Lee, M. B., Mong, G. R., & Chong, W. W. F. (2022). A bibliometric analysis on the tribological and physicochemical properties of vegetable oil-based bio-lubricants (2010–2021). *Environmental Science and Pollution Research*, 29(37), 56215–56248.
- Romsdahl, T., Shirani, A., Minto, R. E., Zhang, C., Cahoon, E. B., Chapman, K. D., & Berman, D. (2019). Nature-guided synthesis of advanced bio-lubricants. *Scientific Reports*, 9(1), 11711.
- Sabarinath, S., Rajendrakumar, P. K., & Prabhakaran Nair, K. (2019). Evaluation of tribological properties of sesame oil as biolubricant with SiO₂ nanoparticles and imidazolium-based ionic liquid as hybrid additives. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 233(9), 1306–1317.
- Shafi, W. K., & Charoo, M. S. (2019). Rheological properties of sesame oil mixed with H-Bn nanoparticles as industrial lubricant. *Materials Today: Proceedings*, 18, 4963–4967.
- Uppar, R., Dinesha, P., & Kumar, S. (2023). A critical review on vegetable oil-based bio-lubricants: preparation, characterization, and challenges. *Environment, Development and Sustainability*, 25(9), 9011–9046.
- Woma, T. Y., Lawal, S. A., & Abdulrahman, A. S. (2019). Vegetable oil based lubricants: Challenges and prospects. *Tribology Online*, 14(2), 60–70.