

تأثير درجة الحرارة ونوع العامل المحفز القاعدي والنسبة المولية للكحول الى الزيت على

كفاءة انتاج وقود الديزل الحيوي من زيت الخروع

يوسف حسن نجم¹ ، وليد محمد شيت العبدريه² ، احمد حسن احمد³

¹طالب ماجستير / قسم الهندسة المدنية / جامعة تكريت

yhn_y88@hotmail.com

²استاذ مساعد دكتور / قسم هندسة البيئة / جامعة تكريت

walabdraba@hotmail.com

³استاذ مساعد / المعاون الاداري لعميد معهد الحويجة / المعهد التقني - الحويجة

ahmadhassan992000@hotmail.com

تاريخ قبول البحث: 2016/3/23

تاريخ استلام البحث: 2015/6/16

الملخص

تم في هذا البحث دراسة انتاج وقود الديزل الحيوي من زيت الخروع ودراسة تأثير درجة الحرارة والنسبة المولية للكحول الى الزيت ونوع المحفز على كفاءة انتاج وقود الديزل الحيوي.

تم استخدام تفاعلات الاسترة في تحويل زيت الخروع الى وقود ديزل حيوي ، تم تغيير النسبة المولية لكحول الميثانول الى الزيت بنسب تتراوح من 1:6 ، و1:6.5 ، و1:7 ، و1:9 ، و1:12 الى 1:15 ، بدرجة حرارة 65 م° ، وزمن تفاعل قدره 120 دقيقة ، وتركيز العامل المحفز 1% من وزن الزيت. فكانت كفاءة التحويل 97% عند استخدام نسبة كحول الى زيت 1:7 نسبة مولية. ان هيدروكسيد البوتاسيوم افضل من هيدروكسيد الصوديوم في تفاعلات الاسترة التي يتم فيها استخدام كحول الميثانول حيث يواجه هيدروكسيد الصوديوم صعوبة في الذوبان في

كحول الميثانول. اما درجة حرارة التفاعل فان افضل درجة حرارة هي 65 م° بكفاءة تحويل تصل الى 97% اما بالنسبة لـ 60 م° و 70 م° فقد كانت كفاءة التحويل 89.5% و 91.4% على التوالي.

كلمات دالة: وقود الديزل الحيوي ، زيت الخروع ، درجة الحرارة ، النسبة المولية للكحول الى الزيت ، نوع العامل المحفز .

Effects of temperature, alkaline catalysts and molar ratio of alcohol to oil on the efficiency of production biodiesel from castor oil

YOUSIF HASSAN NAJIM¹, WALEED M.SH. AL-ABDRABA², AHMAD HASSAN AHMAD³

¹Master student / Civil Engineering / Tikrit University

yhn_y88@hotmail.com

²Asst. Prof. Dr. / Environmental Engineering / Tikrit University

walabdraba@hotmail.com

³Asst. Prof. / Technical Institute, Hawija

ahmadhassan992000@hotmail.com

Received date:16/6/2015

Accepted date:23/3/2016

Abstract

In this research we studied the production of biodiesel from castor oil and the effect of temperature, molar ratio and catalyst type on biodiesel production efficiency. Transesterification of castor oil was used to production biodiesel. Transesterification reaction was studied at different molar ratio of methanol: oil from 6:1, 1:6.5, 1:7, 1:9, 1:12 to 15:1, at 65 °C, reaction time up to 120 minutes and fixed amount of catalyst (1 wt.% KOH). The Conversion efficiency was 97% when using the ratio of alcohol to oil 1: 7 ratio Molar. The potassium hydroxide better than sodium hydroxide in the esterification

reactions with using methanol. Because sodium hydroxide having difficulty soluble in methanol alcohol. As for the reaction temperature, the best temperature is $65^{\circ}C$, efficiently convert up to 97%. As for $60^{\circ}C$ and $70^{\circ}C$ conversion efficiency was 89.5% and 91.4%, respectively.

Key words: biodiesel, castor oil, temp., molar ratio and catalyst.

1. المقدمة (Introduction)

ان الزيوت النباتية كانت بديلا منافسا لوقود الديزل منذ عام 1900م حيث لاقته اهتماما كبيرا خلال فترة الحرب العالمية الثانية نظرا لعدم كفاية الوقود اذذاك ولصعوبة الحصول عليه .بعد الحرب العالمية اتجه العالم حول انتاج الوقود الاحفوري حيث تواجد بأسعار مناسبة نظرا لانخفاض كلفة انتاجه، ولكن بعد ان تمت السيطرة على انتاج النفط من قبل منظمة اوبك وتفاقم مشكلة التلوث البيئي بشكل كبير واصبحت تهدد حياة الانسان بمخاطر كبيرة اصبح من الضروري البحث عن وقود بديل.

رغم المشاكل الموجودة في الزيوت النباتية من لزوجة عالية ومشاكل حقنها في المحركات الا ان هذه الزيوت يمكن ان تصبح افضل استخداما عند تحويل الزيت الى استرات والذي اصبح يطلق عليه الوقود الحيوي، ان الاهتمام بوقود الديزل الحيوي ذاع صيته في العشر سنوات الاخيرة بسبب ارتفاع اسعار الوقود البترولي [1] , [2].

فبعد ان تنامي انتاج الوقود الحيوي بشكل واسع في العالم كان لابد من وضع بعض المعايير لضمان جودة الانتاج ومنها مواصفات المعهد الامريكي لفحوصات المواد ASTM والمواصفات الاوربية EU ومن هنا بدأ الباحثون بأجراء البحوث حول امكانية استخدام وقود الديزل الحيوي في محركات الديزل [3].

فالوقود الحيوي هو وقود بديل نظيف الحرق، ينتج من الموارد المتجددة القابلة للتحلل، وهو وقود غير سام وخالي من الكبريت والمركبات العطرية. يمكن انتاج الوقود الحيوي من مجموعة متنوعة من المصادر بما في ذلك الشحوم الحيوانية والزيوت النباتية [4]. فالجمعية الأمريكية لأختبارات المواد تعرف الوقود الحيوي على انه استر احادي الالكيل ذو سلاسل

طويلة ينتج من احماض دهنية يتم اخذها من مصادر متجددة ليتم استخدامها في محركات الديزل. النسبة الممزوجة من الوقود الحيوي يدل عليها ب (BX) حيث (X) هي النسبة الممزوجة من الوقود الحيوي [5].

حيث استخدم الباحثين انواعاً مختلفة من الزيوت في انتاج الوقود الحيوي حيث قام الباحثين في الدراسة [6] بانتاج وقود الديزل الحيوي من انواع مختلفة من الزيوت. استخدم الباحثان زيت زهرة الشمس وزيت الذرة وزيت فول الصويا وزيت اللف وزيت القطن وزيت بذور البنديق باستخدام تفاعلات الاسترة حيث استنتج الباحث ان زيت زهرة الشمس اعطى اعلى نسبة تحويل وزيت بذور القطن كان الأقل إنتاجاً من بين الزيوت الأخرى. اما الباحثين في الدراسة [7] فقد قاموا بإنتاج وقود الديزل الحيوي من زيت الفول السوداني ، تم الحصول على أعلى نسبة تحويل 88% باستخدام 1:6 (كحول : زيت) كنسبة مولية ، درجة حرارة التفاعل 60 درجة مئوية ، تمت مقارنة خصائص الوقود المنتج من الفول السوداني بمواصفات الديزل الإحفوري بموجب ASTM ، حيث كانت اللزوجة الكينماتيكية عند 40 درجة مئوية كانت 5.908 ملم²ا و نقطة الوميض 192 درجة مئوية ونقطة الانجماد 6 درجة مئوية ونقطة الإنسكاب 3 درجة مئوية ومحتوى الكبريت 0.0087 .

وفي الدراسة [8] تم دراسة الحالة المثالية لإنتاج الوقود الحيوي باستخدام تفاعل الأسترة على مرحلتين لأربعة انواع مختلفة من الزيوت النباتية (زيت زهرة الشمس ، زيت اللفت ، زيت الزيتون ، زيت القلايات) مع كحول الايثانول باستخدام هيدروكسيد الصوديوم كمحفز. ان الحالة المثالية لعملية الأسترة في المرحلة الأولى من التفاعل أعطت أعلى معدل تحويل (81.4% وزناً) عندما كانت النسبة المولية (1:12 ، كحول : زيت) ، وهيدروكسيد الصوديوم 1% وزناً ، وحرارة التفاعل 80 درجة مئوية. فبعد انتهاء المرحلة الأولى يشير الباحث الى ان هناك زيت لم يتفاعل لذلك اجري المرحلة الثانية من التفاعل على الزيت الذي لم يتفاعل حيث اعاد نفس خطوات المرحلة الأولى في التفاعل ، فكان الأنتاج في هذه المرحلة (16% وزناً) اي تم تحسين الأنتاج الى (95.5% وزناً) .

اما الدراسة [9] فقد قام الباحثين بتحويل الشحوم البقرية ، وشحم الخنزير ، ودهون الدواجن ، الى إستر الكيل (Biodiesel) باستخدام تفاعلات الأسترة. فقد استخدم الباحثون 150 مل من الميثانول ، و 4 غم من هيدروكسيد البوتاسيوم ، و 500 غم من الشحوم الحيوانية ، بزمن تفاعل 2 ساعة ، ودرجة حرارة التفاعل 60 درجة مئوية. ثم قيمت

النتائج مع المعايير الأوروبية (EN 14214 (2003). وأظهرت النتائج ان نسبة التحويل تغيرت بين (76.8% - 91.4%).

يتم في هذا البحث دراسة انتاج وقود الديزل الحيوي من زيت الخروع باستخدام كحول الميثانول كمذيب وهيدوكسيد الصوديوم والبوتاسيوم كمحفزات للتفاعلات ودراسة تأثير درجة الحرارة والنسبة المولية للكحول الى الزيت ونوع المحفز على كفاءة انتاج وقود الديزل الحيوي.

2. الجزء العملي (Experimental work)

1.2 المواد المستخدمة في الانتاج (Materials)

تم استخدام زيت الخروع (Castor Oil) الذي تم الحصول عليه من السوق المحلية حيث إنه متوافر في عبوات بسعة 1000 مل ذو كثافة مساوية لـ 967.3 كغم/م³ ووزنه الجزيئي 857 غم/مول. مع كحول الميثانول (Methanol) المختبري الذي يتواجد في الاسواق المحلية بنقاوة تصل الى 99.9% ووزن جزيئي مساوي لـ 32.04 غم/مول وذو كثافة مقدارها 972 كغم/م³. بالإضافة الى هيدروكسيد الصوديوم NaOH وهيدروكسيد البوتاسيوم KOH كعوامل محفزة قاعدية للتفاعل. كما مبين في الجدول (1)، يبين الشكل رقم (1) المواد المستخدمة في الانتاج

جدول (1) المواد المستخدمة في البحث وبلد المنشأ

المنتج	المنشأ
زيت خروع بنقاوة 99%	انتاج INDIA
كحول ميثانول بنقاوة 99.9%	انتاج SCHARLAU, SPAIN
هيدروكسيد الصوديوم وهيدروكسيد البوتاسيوم	انتاج RIEDEL-DE HAEN A.-G., GERMANY

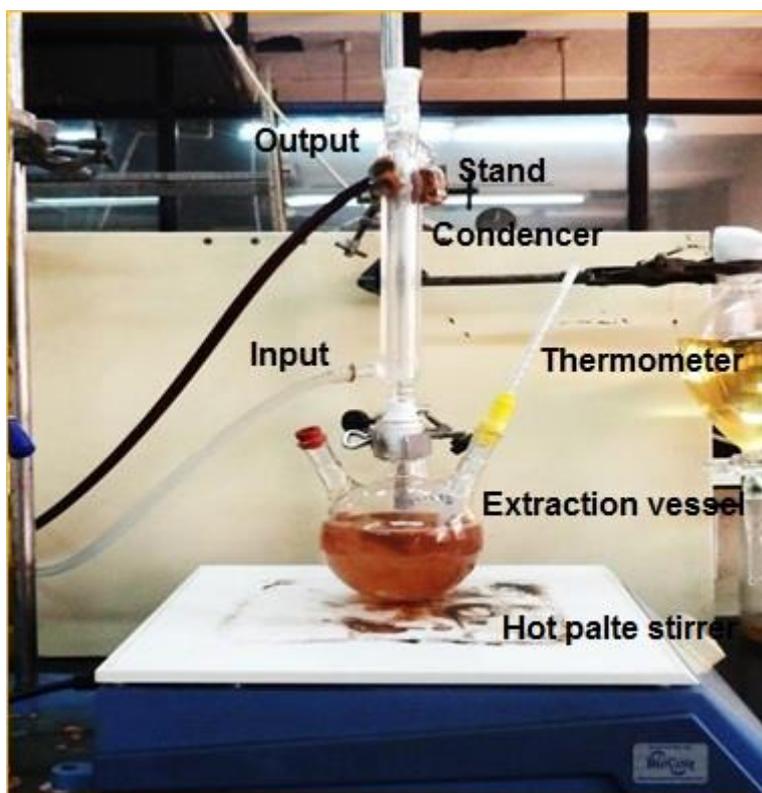
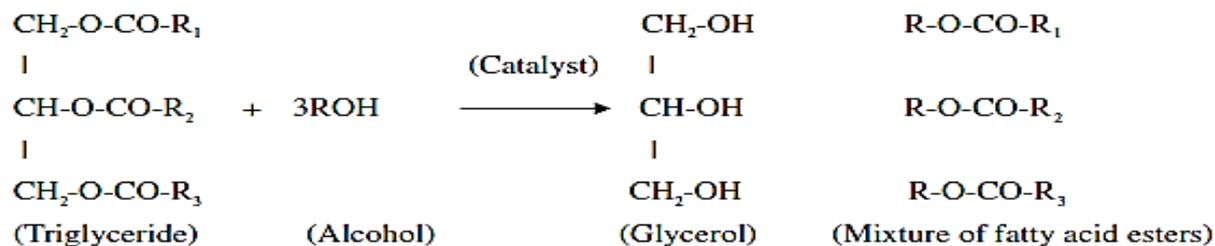


الشكل (1) المواد الاولية المستخدمة في التجارب

2.2 طريقة انتاج وقود الديزل الحيوي بالأسطرة (Method of Production of Biodiesel by Esterification)

يتم إبتداءً تسخين زيت الخروع الى درجة حرارة تصل الى 80 م° للتخلص من الماء الزائد الذي قد يكون موجوداً في الزيت ، وبعدها يتم أخذ عينة من الزيت وتضاف الى الدورق ذو الاعناق بحيث يتم الوصول بالزيت الى درجة حرارة التفاعل والتي تكون 60 م° و 65 م° و 70 م° مع التحريك المستمر بواسطة اقطاب ممغنطة توضع في دورق التفاعل تدور هذه الاقطاب بسرعة ثابتة تصل الى 700 دورةادقيقة وبعدها تأخذ عينة من كحول الميثيل وهذه العينة هي نسبة محسوبة ، ان نسب الكحول الى الزيت التي تم اخذها هي (1:6, 1:6.5, 1:7, 1:9, 1:12, 1:15) كنسب مولية (كحول : زيت) وهي النسب المثالية للكحول الى الزيت لانتاج مختلف من الزيوت تم اخذها من عدة بحوث [6],[7],[8] [9]. بالاضافة الى كمية من العامل المحفز وهي مايعادل 1% من زيت الخروع نقوم بخلط كحول الميثيل مع هيدروكسيد الصوديوم NaOH أو هيدروكسيد البوتاسيوم KOH لحين ذوبان المحفز بشكل تام وتكون الميثوكسيد، ومن ثم نقوم بأضافة الميثوكسيد الى خليط التفاعل مع التحريك المستمر للمزيج ، بضمن تفاعل مدته ساعتين لجميع التجارب، تم تغيير النسب المولية للكحول : الزيت مع تغيير درجة الحرارة من (60-70) م° ، مع تثبيت تركيز العامل المحفز بنسبة 1% من وزن زيت الخروع المستخدم اثناء التفاعل وتبين المعادلة رقم (1) تفاعل الاسترات مع الكحولات وتكون الوقود الحيوي. يبين الشكل رقم (2) منظومة الانتاج المختبرية.

....(1)



الشكل (2) اجزاء منظومة الانتاج المختبرية

3. النتائج والمناقشة (Results and Discussion)

تم انتاج استرات الالكيل المتمثلة بوقود الديزل الحيوي من زيت الخروع خلال عمليات الأسترة بأستخدام كحول الميثانول حيث ان المحفزات القاعدية تواجه صعوبة في تشكيل استرات الأيثيل مقارنة باسترات المثيل. حيث ان المحفزات القاعدية تواجه مشاكل في تكوين مستحلب مستقر مع كحول الأيثانول ، فالمستحلبات تكون اكثر استقراراً عند استخدام كحول

الميثانول , وذلك لانه تسهل عملية كسر الأواصر وتكوين طبقتين من خليط التفاعل طبقة عليا وهي استرات الألكيل والطبقة السفلى التي هي الغليسرين [10].

1.3 خصائص وقود الديزل الحيوي المنتج (Biodiesel properties)

يبين الجدول رقم (2) الخواص الفيزيائية للوقود الحيوي المنتج من زيت الخروع تم اجراء الفحوصات في مختبرات النفط

التابعة الى مصافي الشمال - بيجي.

جدول (2) الخواص الفيزيائية لوقود الديزل الحيوي المنتج

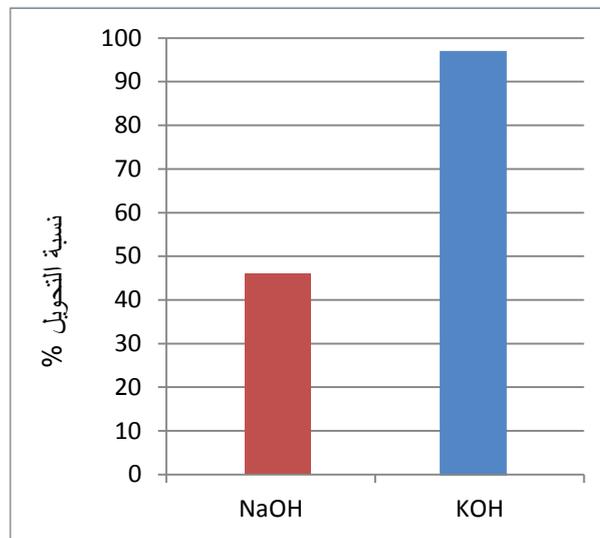
نتيجة الفحص	الخواص
0.87	الوزن النوعي غم/سم ³ عند درجة حرارة 15.6 م°
31.14	قيمة API
11.8	اللزوجة الكينماتيكية ملم ² /ثا عند درجة حرارة 40 م°
194	نقطة الوميض م°
50.19	الرقم السيتاني
-24	نقطة الانسكاب
0.5	محتوى الماء%
0.0008	الكاربون المتبقي
0.02	محتوى الرماد ملغم/كغم
334	التقطير 90% م°

2.3 تأثير نوع المحفز على كفاءة تحويل زيت الخروع (Effect of Catalyst Type on Conversion)

(Efficiency of Castor Oil)

تم استخدام نوعين من المحفزات هيدروكسيد الصوديوم NaOH وهيدروكسيد البوتاسيوم KOH ، حيث تم استخدام الميثوكسايد لكلا المحفزين بمفاعلة كحول الميثانول مع العوامل المحفزة . تم انتاج وقود الديزل الحيوي بأستخدام زيت الخروع بتثبيت النسبة المولية للكحول الى الزيت وهي 1:7 بزمان تفاعل قدره 2 ساعة وتركيز العامل المحفز 1% ودرجة

حرارة التفاعل 65 م°. مع تغيير نوع العامل المحفز القاعدي من ميثوكسيد الصوديوم الى ميثوكسيد البوتاسيوم فكانت اعلى نسبة تحويل بأستخدام NaOH هي 46% واعلى نسبة تحويل لـ KOH هي 97% بتثبيت بقية المتغيرات. ان النتائج تشير الى ان استخدام ميثوكسيد البوتاسيوم افضل بكثير من استخدام ميثوكسيد الصوديوم والسبب في ذلك هو صعوبة ذوبان هيدروكسيد الصوديوم في الكحول الميثانول وذلك يؤثر سلباً على عملية التحويل وذلك لان جزءاً كبيراً من العامل المحفز لايتفاعل وهو السبب الرئيسي لهذا التفاوت. ولذلك هيدروكسيد البوتاسيوم افضل من هيدروكسيد الصوديوم في انتاج الوقود الحيوي وهذا يتوافق مع الباحثين [6] , [11].



الشكل (3) تأثير نوع العامل المحفز على نسب تحويل زيت الخروع بتثبيت النسبة المولية 1:7 وزمن التفاعل 2 ساعة ، ودرجة الحرارة 65 م° ، وتركيز العامل المحفز 1%

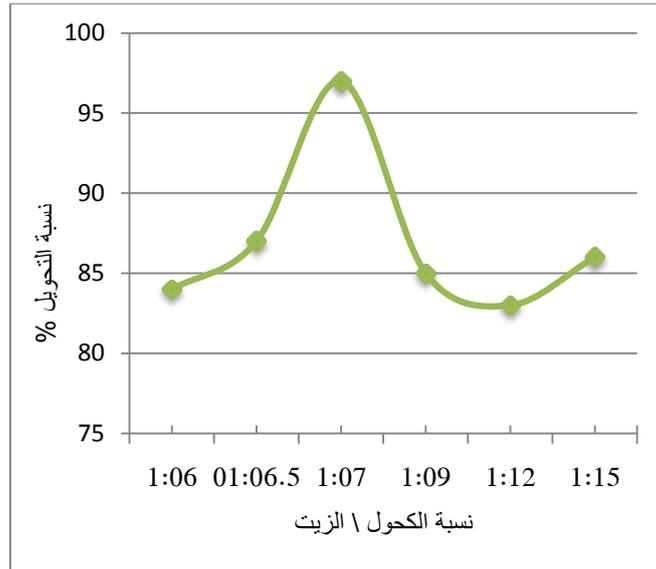
3.3 تأثير النسبة المولية (كحول : زيت) على كفاءة التحويل (Effect of Molar Ratio on Conversion) (Efficiency)

ان كمية الكحول المضافة الى الزيت النباتي هي واحدة من اهم العوامل التي تؤثر على كفاءة التحويل ككلفة لأنتاج الوقود الحيوي. ويمكن تعريف كفاءة التحويل بانها اقصى معالجة ويمكن تمثيلها بنسبة مئوية ، وبصورة عامة كمية الكحول المطلوبة لتفاعل الاسترة يمكن تمثيله بالنسبة الحجمية (Volumetric ratio).

تم استخدام النسب المولية التالية (1:6 ، 1:6.5 ، 1:7 ، 1:9 ، 1:12 ، 1:15) على ان يكون زمن التفاعل 2

ساعة ودرجة حرارة التفاعل 65 م° وكمية العامل المحفز 1% من وزن الزيت المستخدم في كل تجربة.

ان النسبة المولية المطلوبة لاتمام التفاعل هي (1:3) كحول الى زيت ولكن هذه النسبة لاتعطي افضل كفاءة تحويل للزيت الى استرات والسبب في ذلك تشكل الصابون الذي يعيق التفاعلات اي ان هذه الكمية من الكحول ليس بإمكانها اتمام عملية التحويل لذلك النسبة المثالية للكحول الى الزيت تبدأ من (1:6) وفضل نسبة هي (1:7) وهي كما تم الحصول عليها في هذا البحث فنسبة تحويل 1:6 كانت 84% وعند 1:6.5 ازدادت نسبة التحويل الى 87% وهذا يدل على قلة تكون الصابون وسهولة فصل الغليسرين الى ان نصل الى النسبة المثالية وهي 97% عند استخدام 1:7 نسبة مولية وهي مرحلة التفاعل التام لان كمية الكحول المضافة لهذه النسبة كانت كافية لتحويل الزيت ولم تكن زائدة لتتعدى الى اذابة لغليسرين الناتج من عمليات استرة الزيوت وهي المشكلة التي واجهت النسب التالية من الكحول الى الزيت فبعد زيادة نسبة الكحول عن النسبة المثالية واستخدام 1:9 و 1:15 انخفضت كفاءة التحويل وهذا دليل حدوث اعاقا للتفاعل من خلال زيادة ذوبان الغليسرين في محلول التفاعل بسبب زيادة نسبة الكحول الى الزيت وهذه الزيادة تجعل المحلول اكثر تعقيداً وهو مايجعل فصل الغليسرين عن محلول التفاعل صعباً حيث ان الجزء الذائب من الغليسرين في محلول التفاعل تكون كثافته اعلى من كثافة الاسترات فبعد وضع الوقود الناتج في اقماع الفصل ينزل هذا الجزء مع الغليسرين الذي يتم فصله عن استرات المثل المتمثلة بوقود الديزل الحيوي. كما مبين في الشكل (4) اعلى نسبة تحويل تم التوصل اليها والتي كانت حوالي 97%.

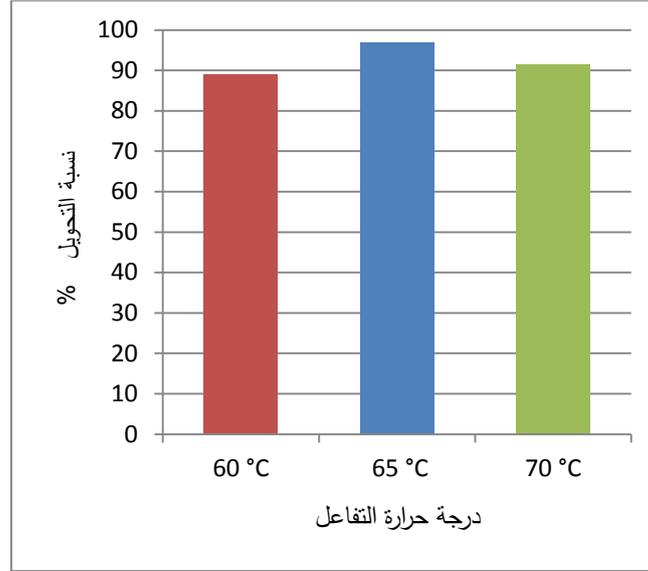


الشكل (4) تأثير نسبة الكحول الى الزيت على كفاءة تحويل زيت الخروع بتثبيت تركيز العامل المحفز 1% ، ودرجة الحرارة 65 ° ، وزمن التفاعل 2 ساعة

4.3 تأثير درجة الحرارة على كفاءة التحويل (Effect of Temperature on Conversion Efficiency)

تم استخدام ثلاث درجات حرارية وهي 60 م° و 65 م° و 70 م° ، حيث ان نقطة غليان الميثانول تقترب من (60 - 70) م° تحت الضغط الجوي كما تشير الدراسة [12]. تم اجراء التجارب بتثبيت النسبة المولية للكحول الى الزيت 1:7 ، وزمن التفاعل 2 ساعة ، وتركيز العامل المحفز 1% ، مع تغيير درجات الحرارة ما بين الـ 60 - 70 م° فكانت نتائج التحويل 89.5% مع درجة الحرارة 60 م° ، و 97% مع درجة الحرارة 65 م° ، و 91.4% مع درجة الحرارة 70 م° . ان هذه النتائج تاثرت تأثيراً مباشراً باقتراب حرارة التفاعل من نقطة الغليان الخاصة بكحول الميثانول. ان هذه النتائج تفسر على ان التفاعل لم يكتمل عند 60 م° لان كفاءة المذيب المتمثل بكحول الميثانول لم تكن اقصى مايمكن لانه لم يصل الى نقطة الغليان وعند 65 م° كانت نسبة تحويل زيت الخروع هي المثالية لانها تساوي نقطة غليان كحول الميثانول، وعند زيادة درجة الحرارة على نقطة غليان كحول الميثانول تبين ان كفاءة التحويل قد انخفضت وهذا ان دل فأنما يدل على تبخر جزء من كحول الميثانول الذي بدوره ادى الى انخفاض كفاءة تحويل زيت الخروع وهذا يتوافق مع الدراسة [13] . **الشكل**

(5) يبين تأثير درجة الحرارة على كفاءة التحويل



الشكل (5) تأثير درجة الحرارة على كفاءة تحويل زيت الخروع بثبث تركيز العامل المحفز 1% ، والنسبة المولية 1:7 ، وزمن التفاعل 2 ساعة

4. الاستنتاجات (Conclusions)

- ان النسبة المولية 1:7 هي افضل نسبة في انتاج وقود الديزل الحيوي باستخدام زيت الخروع.
- ان هيدروكسيد البوتاسيوم افضل من هيدروكسيد الصوديوم في تفاعلات الاسترة.
- ان نقطة غليان كحول الميثانول هي افضل درجة حرارة تستخدم في تفاعلات الاسترة التي يستخدم فيها كحول الميثانول.
- ان استخدام النسب العالية من الكحول الى الزيت لايزيد من كفاءة التحويل بل يجعل التفاعل اكثر تعقيداً ويزيد كلفة الانتاج.

5. المصادر (References)

[1] A.K. Agarwal, " Biofuels (Alcohols and Biodiesel) Applications as Fuels for Internal Combustion Engines", Progress in Energy Combust Science, Vol. 33, PP. 233-271, 2007.

- [2] M. N. Nabi, M.M. Rahman, and M. S. Akhter, "Biodiesel from Cotton Seed Oil and its Effect on Engine Performance and Exhaust Emissions", Applied Thermal Engineering, Vol. 29, PP. 2265-2270, 2009.
- [3] G. Knothe, J. Gerpen, and J. Krahl. "The biodiesel Handbook" , Published by AOCS Press, 2005.
- [4] Sumit Tayal, " Detection of Cold Flow Properties of Diesel and Biodiesel Fuel Using Optical Sensor", M.Sc. Thesis, University of Missouri-Columbia, 2006.
- [5] S.D. Pomano and P.A. Sorichetti, A book of "Dielectric Spectroscopy in Biodiesel Production and Characterization", Green Energy and Technology, 2011.
- [6] H. Slani, and M. Canakci. " Effects of Different Alcohol and Catalyst Usage on Biodiesel Production from Different Vegetable Oils", Energy and fuels , Vol. 22, No. 4, PP. 2712-2719, 2008.
- [7] M. Ahmad, S. Rashid, M.A. Khan , M. Zafar, Sultana S. , S. Gulzar, " Optimization of base catalyzed transesterification of peanut oil biodiesel" , African Journal of Biotechnology, Vol. 8 , No. 3, PP. 441-446, 2009.
- [8] G. Anastopoulou., Y. Zannikou, S. Stournas, S. Kalligeros, " Transesterification of Vegetable Oils with Ethanol and Characterization of the Key Fuel Properties of Ethyl Esters", journal of Energies, Vol.2, PP.362-376, 2009.
- [9] M. Mata, N. Cardoso, M. Ornelas, S. Neves and N. S. Caetano, "Sustainable Production of Biodiesel from Tallow, Lard and Poultry Fat and its Quality Evaluation", Environment and Energy Engineering, University of Porto, Portugal , Vol. 19, PP. 13-18, 2010.
- [10] Zhou, S.K. Konar, D.G.V. Boocock, " Ethyl Esters from the Single-Phase Base-Catalyzed Ethanolysis of Vegetable Oils", J. Am. Oil Chem. Soc., Vol. 80, PP. 367-371, 2003.
- [11] M. Encinar, J.F. González, A. Rodríguez-Reinares, "Ethanolysis of used frying oil. Biodiesel preparation and characterization", journal of Fuel Processing Technology, Vol. 88, PP. 513–522, 2007.
- [12] G. Durga Devi and C. MAHESH, "Performance Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Methyl Ester of Castor Seed Oil", Engineering Science and Technology Journal, Vol.4, No.07, PP. 3601-3610, 2012.



[13] Amita Nakarmi and Susan Joshi, "A Study on Castor Oil and Its Conversion into Biodiesel by Transesterification Method", Nepal Journal of Science and Technology, Vol. 15, No.1, PP. 45-52, 2014.