



جامعة الموصل
كلية التربية للعلوم الصرفة

تحويل الكتلة الحيوية (سيقان القطن) الى بوليمر قابل للتحلل
الحيوي وايثانول حيوي كمادة مضافة للكازولين ضمن مفهوم
الاستدامة المتكاملة.

محمد أحمد أسمر إبراهيم

رسالة ماجستير
الكيمياء

بإشراف
الأستاذ المساعد
الدكتور أحمد غالب شيخو العزاوي

الخلاصة

تمثل المخلفات الزراعية الليكوسليلوزية أحد أهم الموارد المتجددة التي حظيت باهتمام متزايد خلال العقود الأخيرة نتيجة لتوافرها بكميات كبيرة وانخفاض تكلفتها وإمكانية تحويلها إلى منتجات ذات قيمة مضافة عالية. ومن بين هذه المخلفات تبرز سيقان القطن بوصفها ناتجاً ثانوياً للعمليات الزراعية يتم التخلص منه غالباً بوسائل غير مستدامة، الأمر الذي يؤدي إلى خسارة مورد غني بالسليولوز وإلى مشكلات بيئية متعددة. وانطلاقاً من ذلك، هدفت هذه الدراسة إلى تطوير منهجية متكاملة للاستفادة من مخلفات سيقان القطن من خلال تحويلها إلى منتجات استراتيجية هما بوليمر خلات السليولوز والإيثانول الحيوي، فضلاً عن توظيف الإيثانول المنتج في تحسين جودة وقود الكازولين عبر تحضير مزائج كازولين كحولي ودراسة خصائصها الوقودية. اشتمل الجزء الأول من الدراسة على استخلاص السليولوز من سيقان القطن وإزالة المكونات غير السليولوزية المتمثلة باللكنين والهيميسليولوز والشوائب الأخرى من خلال سلسلة من المعالجات الكيميائية المناسبة. وقد أسهمت هذه المعالجات في الحصول على سليولوز عالي النقاوة يمكن استخدامه كمادة أولية لتحضير المشتقات السليولوزية ذات القيمة الاقتصادية العالية. وبعد مرحلة الغزل والتنقية أُجريت عملية القصر بهدف التحكم في الخصائص التركيبية للسليولوز وتحسين قابليته للتفاعل، ثم أعقبتها عملية الاستلة (Acetylation) لتحويل السليولوز إلى بوليمر خلات السليولوز. وقد تم الحصول على بوليمر حيوي يتمتع بدرجة نقاوة عالية ومواصفات تركيبية مناسبة للاستخدامات الصناعية المختلفة. ولغرض التأكد من نجاح عملية التحضير وتشخيص البنية الكيميائية للبوليمر الناتج، تم توظيف مجموعة متكاملة من التقنيات التحليلية المتقدمة. فقد استُخدمت تقنية الرنين النووي المغناطيسي البروتوني ($^1\text{H-NMR}$) والرنين النووي المغناطيسي الكربوني ($^{13}\text{C-NMR}$) لتأكيد حدوث عملية الاستلة وتحديد طبيعة المجموعات الوظيفية الموجودة في البنية الجزيئية للبوليمر. كما أُجري التحليل العنصري (CHNS) لتحديد نسب العناصر المكونة للبوليمر ومقارنتها بالقيم النظرية المتوقعة. فضلاً عن ذلك، تم تحديد الوزن الجزيئي وتوزيع الأوزان الجزيئية باستخدام تقنية كروماتوغرافيا الهلام النفاذية (Gel Permeation Chromatography, GPC)، والتي أظهرت نجاح عملية التحويل مع الحفاظ على الخصائص الجزيئية المطلوبة. كما تم تقييم الاستقرار الحراري للبوليمر المحضر باستخدام تقنية التحليل الحراري الوزني (Thermogravimetric Analysis, TGA)، حيث أظهرت النتائج امتلاك خلات السليولوز المحضرة استقراراً حرارياً جيداً ضمن مدى درجات الحرارة التشغيلية. ومن أجل دراسة البنية السطحية والخصائص المورفولوجية للمادة المحضرة، استُخدم المجهر الإلكتروني الماسح (Scanning Electron Microscopy, SEM)، والذي أظهر

تغيرات واضحة في طبيعة السطح نتيجة عمليات المعالجة والاستلة. كذلك استخدمت تقنية حيود الأشعة السينية (X-Ray Diffraction, XRD) لدراسة الخواص البلورية والتغيرات البنيوية الناتجة عن التحويل الكيميائي من السليلوز إلى خلات السليلوز، حيث بينت النتائج حدوث تغيرات ملحوظة في درجة التبلور والترتيب البنيوي للمادة.

أما الجزء الثاني من الدراسة فقد خُصص لإنتاج الإيثانول الحيوي من مخلفات سيقان القطن عبر مسار التحويل الحيوي. وقد شمل هذا المسار إجراء معالجة حامضية مسبقة باستخدام كل من حامض الفسفوريك وحامض الكبريتيك بهدف تفكيك البنية الليكوسليلوزية للكتلة الحيوية وزيادة إتاحة السليلوز والهيميسليلوز للتحلل إلى سكريات قابلة للتخمير. وقد تمت دراسة تأثير نوع الحامض المستخدم في كفاءة عملية التحويل اللاحقة. وبعد المعالجة المسبقة أُجريت عمليات التحلل والتخمير الحيوي باستخدام الخميرة الجافة (*Saccharomyces cerevisiae* strain UCDFST:11-194) ضمن ظروف تشغيلية ثابتة عند درجة حرارة (32) °م ومدى حامضي تراوح بين (4-5) ولمدة ثلاث أيام كفترة تخمير قياسية، وهي ظروف مثالية لنمو الخميرة وإنتاج الإيثانول. أظهرت النتائج أن المعالجة المسبقة باستخدام حامض الفسفوريك كانت أكثر كفاءة في تعزيز إنتاج الإيثانول الحيوي مقارنة بالمعالجة باستخدام حامض الكبريتيك، حيث حققت مردوداً أعلى للإيثانول نتيجة زيادة كفاءة تحرير السكريات القابلة للتخمير وتقليل تكوين المركبات المثبطة لعملية التخمير. إذ خضعت المادة الأولية من الكتلة الحيوية إلى معالجات ميكانيكية وكيميائية مسبقة باستخدام حامض الفسفوريك (H_3PO_4) بتركيز (0.5, 1.0, 1.5)% بهدف تسهيل عملية التحلل المائي للكتلة الحيوية وزيادة تركيز السكريات القابلة للتخمير في الوسط التخمري. بعد ذلك، جرى تخمير الكتلة الحيوية المعالجة باستخدام الخميرة تحت الظروف التشغيلية القياسية، حيث بلغت مردودات الإيثانول الحيوي الناتجة (20.1)% (Sample 1) و(37.5)% (Sample 2) و(34.5)% (Sample 3)، على التوالي. وتبين أن أعلى مردود للإيثانول الحيوي قد تحقق عند استخدام تركيز (1)% من حامض الفسفوريك، ويُعزى ذلك إلى كفاءة هذا التركيز في إحداث تفكك مناسب للبنية الليكوسليلوزية، مما أدى إلى زيادة إتاحة السليلوز للتحلل المائي ورفع مستويات السكريات القابلة للتخمير. في المقابل، قد تؤدي التركيزات الأعلى من الحامض إلى تحلل جزئي للسكريات المتكونة وتكوين مركبات مثبطة لعملية التخمير، الأمر الذي ينعكس سلباً على نشاط الأحياء المجهرية ويحد من كفاءة إنتاج الإيثانول الحيوي وقد تم بعد ذلك تنقية الإيثانول الناتج باستخدام عمليات التقطير المتعاقبة والعوامل المجففة المناسبة للوصول إلى إيثانول عالي النقاوة بلغت نسبته نحو (99)%. وللتأكد من نقاوة وتركيب الإيثانول الحيوي المنتج، استخدمت تقنيات الرنين النووي المغناطيسي والأشعة تحت الحمراء (FTIR)، والتي أكدت نجاح عملية الإنتاج والحصول على إيثانول ذي مواصفات عالية الجودة.

وفي الجزء الثالث من الدراسة تم استثمار الإيثانول الحيوي المنتج في تحضير مزائج كازولين كحولي بهدف تحسين جودة الوقود وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري التقليدي. وقد تم تحضير مزائج وقودية بنسب حجمية مختلفة من الإيثانول بلغت (0, 5, 7, 10) % ، ثم أُجريت مجموعة من الفحوصات القياسية لتقييم تأثير إضافة الإيثانول في الخواص الفيزيائية والكيميائية للكازولين. وأظهرت النتائج أن إضافة الإيثانول أدت إلى تحسين عدد من الخصائص المهمة للوقود، وفي مقدمتها العدد الأوكتاني الذي يُعد من أهم المؤشرات الدالة على مقاومة الوقود لظاهرة الفرقعة (Knocking). كما أسهمت الإضافة في تحسين بعض الخصائص التشغيلية الأخرى المرتبطة بكفاءة الاحتراق. وقد تبين أن المزيج المحتوي على (10) % إيثانول (E10) حقق أفضل أداء مقارنة بالكازولين التقليدي والمزائج الأخرى المدروسة، إذ أظهر أعلى تحسن في الخصائص الوقودية والتي وصلت إلى عدد اوكتاني (89) مقارنة بالعدد الأوكتاني للكازولين التقليدي عند (82)، مع المحافظة على توافقه مع متطلبات الاستخدام في محركات الاحتراق الداخلي. وتشير هذه النتائج إلى إمكانية استخدام الإيثانول الحيوي المنتج من سيقان القطن كمضاف أوكسجيني فعال للكازولين، بما يسهم في رفع جودة الوقود وتحسين كفاءة الاحتراق وتقليل التأثيرات البيئية الناتجة عن استخدام الوقود التقليدي. تُبرز نتائج هذه الدراسة أهمية تبني مفهوم الاستغلال المتكامل للكتلة الحيوية الزراعية من خلال إنتاج مواد بوليمرية متقدمة ووقود حيوي متجدد من مصدر أولي واحد، الأمر الذي يعزز الجدوى الاقتصادية والبيئية لمخلفات سيقان القطن. كما تؤكد الدراسة إمكانية تحويل هذه المخلفات من عبء بيئي إلى مصدر مستدام للمواد الكيميائية والطاقة، بما ينسجم مع مبادئ الاقتصاد الدائري والتنمية المستدامة ويسهم في دعم التوجهات العالمية نحو الاستفادة المثلى من الموارد المتجددة وتقليل الانبعاثات الكربونية.

Abstract:

Lignocellulosic agricultural residues have emerged as one of the most important renewable resources that have attracted increasing attention over recent decades due to their abundance, low cost, and potential for conversion into high-value products. Among these residues, cotton stalks represent a significant agricultural by-product that is often disposed of through unsustainable practices, resulting in the loss of a valuable cellulose-rich resource and causing various environmental concerns. Accordingly, the present study aimed to develop an integrated approach for the evaluation of cotton stalk waste through its conversion into two strategic products, namely cellulose acetate and bioethanol. Furthermore, the produced bioethanol was utilized to improve gasoline quality through the preparation of ethanol–gasoline blends and the evaluation of their fuel properties.

The first part of the study focused on the extraction of cellulose from cotton stalks and the removal of non-cellulosic components, including lignin, hemicellulose, and other impurities, through a series of appropriate chemical treatments. These treatments enabled the production of highly purified cellulose suitable as a precursor for the synthesis of value-added cellulose derivatives. Following isolation and purification, a bleaching step was carried out to control the structural characteristics of cellulose and enhance its reactivity. Subsequently, an acetylation process was performed to convert cellulose into cellulose acetate. The resulting biopolymer exhibited high purity and structural characteristics suitable for various industrial applications. To confirm the success of the synthesis process and characterize the chemical structure of the obtained polymer, a comprehensive set of advanced analytical techniques was employed. Nuclear magnetic resonance (^1H and ^{13}C NMR) spectroscopy were used to verify the occurrence of acetylation and identify the functional groups present within the polymer structure. Elemental analysis (CHNS) was conducted to determine the elemental composition of the synthesized polymer and compare it with theoretical values. In addition, the molecular weight and molecular weight distribution were determined using Gel Permeation Chromatography (GPC), confirming the successful conversion process while maintaining the desired molecular characteristics. The thermal stability of the prepared polymer was evaluated using Thermogravimetric Analysis (TGA), and the results demonstrated that the synthesized cellulose acetate possessed good thermal stability within the relevant operating temperature range.

Furthermore, Scanning Electron Microscopy (SEM) was utilized to investigate the surface morphology of the prepared material, revealing significant surface modifications resulting from the treatment and acetylation processes. X-ray Diffraction (XRD) analysis was also employed to examine the crystalline structure and structural transformations associated with the chemical conversion of cellulose into cellulose acetate, showing noticeable changes in crystallinity and molecular organization.

The second part of the study was dedicated to the production of bioethanol from cotton stalk residues through a bioconversion pathway. This process involved acid pretreatment using both phosphoric acid and sulfuric acid to disrupt the lignocellulosic structure of the biomass and enhance the accessibility of cellulose and hemicellulose for subsequent hydrolysis into fermentable sugars. The influence of acid type on the efficiency of the conversion process was systematically investigated. Following pretreatment, hydrolysis and fermentation processes were carried out using the dry yeast strain *Saccharomyces cerevisiae* (UCDFST:11-194) under controlled operating conditions at (32) °C, pH (4–5), and a fermentation period of three days. These conditions were selected as optimal for yeast growth and ethanol production.

The results demonstrated that phosphoric acid pretreatment was more effective than sulfuric acid pretreatment in enhancing bioethanol production. This improvement was attributed to the increased release of fermentable sugars and the reduced formation of inhibitory compounds during pretreatment. Biomass samples were subjected to mechanical and chemical pretreatment using phosphoric acid (H_3PO_4) at concentrations of (0.5)%, (1.0)%, and (1.5)%, respectively. The resulting bioethanol yields after fermentation were (20.1)% (Sample 1), (37.5)% (Sample 2), and (34.5)% (Sample 3), respectively. The highest bioethanol yield was achieved at a phosphoric acid concentration of (1.0)%, which was attributed to the optimal disruption of the lignocellulosic matrix, thereby increasing cellulose accessibility and enhancing fermentable sugar availability. In contrast, higher acid concentrations may promote partial sugar degradation and the formation of fermentation inhibitors, negatively affecting microbial activity and reducing ethanol production efficiency.

The produced bioethanol was subsequently purified through successive distillation processes and appropriate drying agents to achieve a purity level of approximately (99)%. The purity and chemical structure of the obtained bioethanol were confirmed using Nuclear Magnetic Resonance (NMR) and Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectroscopy, which verified the successful production of high-quality bioethanol.

The third part of the study investigated the utilization of the produced bioethanol as an oxygenated fuel additive through the preparation of ethanol–gasoline blends. Fuel blends containing (5)%, (7)%, and (10)% (v/v) bioethanol were prepared, and a series of standard tests were conducted to evaluate the effect of ethanol addition on the physicochemical properties of gasoline. The results revealed that ethanol incorporation significantly improved several important fuel characteristics, particularly the Research Octane Number (RON), which is a key indicator of fuel resistance to engine knocking. In addition, ethanol blending enhanced several combustion-related properties associated with fuel performance. Among the investigated blends, the E10 fuel blend exhibited the best overall performance, achieving a RON value of (89) compared with (82) for conventional gasoline while maintaining compatibility with the operational requirements of internal combustion engines.

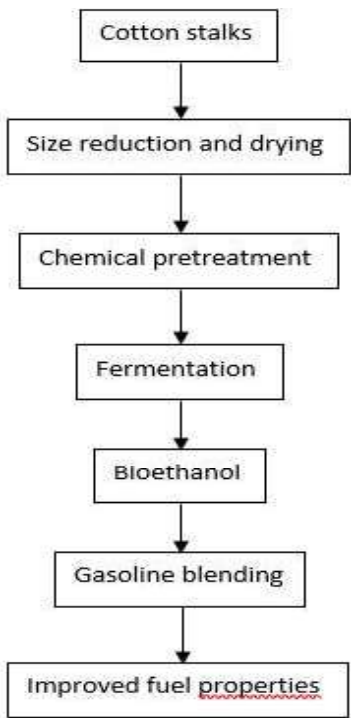
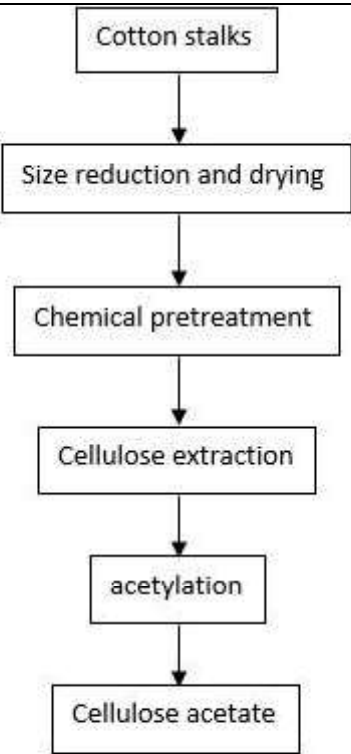
These findings demonstrate the potential of bioethanol produced from cotton stalk waste as an effective oxygenated additive for gasoline, contributing to improved fuel quality, enhanced combustion efficiency, and reduced environmental impacts associated with conventional fossil fuels. Overall, this study highlights the significance of adopting an integrated biomass valorization strategy through the simultaneous production of advanced polymeric materials and renewable biofuels from a single feedstock. Such an approach improves the economic and environmental sustainability of cotton stalk residues and demonstrates the feasibility of transforming agricultural waste from an environmental burden into a sustainable source of chemicals and energy. Furthermore, the proposed strategy aligns with the principles of the circular economy and sustainable development while supporting global efforts toward the efficient utilization of renewable resources and the reduction of carbon emissions.

تحويل الكتلة الحيوية (سيقان القطن) الى بوليمر قابل للتحلل الحيوي وايثانول حيوي كمادة مضافة للكايزولين ضمن مفهوم الاستدامة المتكاملة

الناشر : جامعة الموصل

المشرف : احمد غالب شيخو

الباحث: محمد احمد اسمر

HIGHLIGHTS	GRAPHICAL ABSTRACT
<ul style="list-style-type: none"> استغلال سيقان القطن كمادة أولية متجددة لتحويلها الى منتجات حيوية عالية القيمة بدلاً من التخلص منها كمخلفات زراعية. تطوير منهج متكامل يشمل استخلاص السليولوز وانتاج الايثانول الحيوي وتحضير خلاص السليولوز مع تقييم خصائص المنتجات الناتجة. تقديم نهج مستدام يدعم الاقتصاد الدائري من خلال تحويل المخلفات الزراعية الى وقود حيوي وبوليمرات حيوية ذات تطبيقات صناعية واعدة. 	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;"> $C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2 C_2H_5OH + 2 CO_2$ <p>Biomass → Glucose Ethanol Carbon dioxide</p> </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div>
<p>الكلمات المفتاحية:</p> <p>سيقان القطن التخمير الايثانول الحيوي مزائج الكازوهول تفاعل الأستلة خلاص السليولوز</p>	<p>الخلاصة</p> <p>تهدف هذه الدراسة إلى الاستفادة من مخلفات سيقان القطن بوصفها مصدرًا متجددًا للكتلة الحيوية لإنتاج منتجين ذوي قيمة مضافة، هما الإيثانول الحيوي وخلاص السليولوز، بما يساهم في تعظيم الاستفادة من المخلفات الزراعية وتقليل أثارها البيئية. شملت المرحلة الأولى استخلاص السليولوز من سيقان القطن بعد إزالة اللكتين والهيميسليولوز والشوائب باستخدام معالجات كيميائية مناسبة، ثم تحويل السليولوز المستخلص إلى خلاص السليولوز بتفاعل الأستلة، مع توصيف البوليمر الناتج باستخدام عدد من التقنيات التحليلية الحديثة، مثل الرنين المغناطيسي النووي للبروتون والكربون (^1H-NMR) و($^{13}C-NMR$)، والتحليل العنصري (CHNS)، وكروماتوغرافيا النفاذية الهلامية (GPC)، والتحليل الحراري الوزني (TGA)، والمجهر الإلكتروني الماسح (SEM)، وحيود الأشعة السينية (XRD)، وذلك لتقييم بنيته الكيميائية وخصائصه الفيزيائية والحرارية والمورفولوجية.</p> <p>وفي المرحلة الثانية، تم إنتاج الإيثانول الحيوي من سيقان القطن من خلال المعالجة المسبقة باستخدام أحماض مخففة، متمثلة بحامضي الفسفوريك والكبريتيك بتركيزات مختلفة، تلتها عمليات التحلل وإطلاق السكريات القابلة للتخمير، ثم إجراء التخمير باستخدام خميرة <i>Saccharomyces cerevisiae</i>، وبعد ذلك تم تنقية الإيثانول والتحقق من نقاوته باستخدام تقنيات تحليلية مناسبة، متمثلة بتقنيتي (FTIR) و (NMR). وفي المرحلة الأخيرة، استُخدم الإيثانول الحيوي المنتج كمضاف للبنزين بنسب حجمية مختلفة E0 و E5 و E7 و E10. بهدف تقييم تأثيره في تحسين الخصائص الفيزيائية والكيميائية للوقود، مثل العدد الأوكتاني، وضغط بخار ريد، والكثافة، ومحتوى الرطوبة.</p> <p>وتبرز هذه الدراسة أهمية تحويل مخلفات سيقان القطن إلى منتجات ذات قيمة اقتصادية تشمل بوليمرًا حيويًا ووقودًا متجددًا، بما يدعم إنتاج الطاقة النظيفة، ويعزز الاستدامة البيئية، ويساهم في تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري من خلال الاستغلال الأمثل للموارد المتجددة.</p> <p>2026 M.Sc. Thesis @Univ. of Mosul, College of Educ Pure Sci., Chem. Dept. (mohammed.24esp27@student.uomosul.edu.iq)</p>

[_E-Mail : central_library@uomosul.edu.iq](mailto:central_library@uomosul.edu.iq)

University of Mosul
College of Education
For Pure Science



Conversion of biomass (Cotton Stalks) into
biodegradable polymers and bioethanol for use as
gasoline additives within an integrated
sustainability framework

Mohammed Ahmed Asmar Ibrahim

M.Sc. Thesis
Chemistry

Supervised by

Assist. Prof.
Doctor Ahmed Ghaleb Sheekhoo Al-Azzawi