الوقود الحيوي والاستدامة البيئية لسلسلة نباتات الجاتروفا (دراسة مرجعية).

توفيق محمد المسطر [1] عبدالمولى الرشراش [2]

قسم العلوم البيئية- كلية العلوم- جامعة الزيتونة[1]

الهيئة الليبية للبحث العلمي [2]

Tawfiq8@gmail.com

تاريخ الاستلام 2024/04/01

الملخص:

يمثل النقص في الوقود الاحفوري، وتدهور البيئة تحديين كبيرين للبشرية في القرن الحادي والعشرين، والبحث عن الطاقة الحيوية البديلة، وغير المكلفة، ومستدامة، أصبح خياراً محتملاً في المستقبل، وحالياً أحد من أكبر التحديات، ففي الوقت الحاضر يأتي وقود الديزل الحيوي بشكل رئيسي من بذور القطن، وفول الصويا، وزيت الذرة، ولكن تعتبر الجاتروفا مدخلاً خامًا مهمًا للوقود الحيوي الذي يوفر حلاً بيئيًا ومستدامًا لانبعاثات غازات الدفيئة الناشئة عن المواد الخام الأخرى للكتلة الحيوية.

وهناك اهتمام دولياً متزايداً بالجاتروفا كركاس (*Jatropha curcas*)، باعتبارها "شجرة معجزة"، لتصبح مزيجًا رئيسيًا من الطاقة المتجددة، فتعمل بوقود الديزل الحيوي للمساعدة في تخفيف أزمة الطاقة، وتوليد الدخل في المناطق الريفية في البلدان النامية. والجاتروفا كركاس، نبات خشبي قصير الشمس، ذو جذور قوية، تم استخدامه كنبات رائد لزراعته في الصحراء، والشواطئ الرملية، والوادي الجاف، والمنحدرات الحادة لحماية تآكل التربة.

فلقد أصبحت الجاتروفا نموذجاً مثالياً بين بعض أنصار الطاقة المتجددة والتكنولوجيا المناسبة، وخاصة باعتبارها شجرة حاملة للنفط و"مقاومة للجفاف" وللأراضي الهامشية لصغار المزارعين، على الرغم من ذلك، إلا أن من بين الفجوات البحثية لإنتاج الوقود الحيوي من الجاتروفا، عدم وجود مراجعات متعمقة حول الجاتروفا لإنتاج الوقود الحيوي، في الأدبيات العلمية، مما يسلط الضوء على الحاجة على المزيد من البحث، والتقييم للجاتروفا كمادة أولية، وعن ظروف التشغيل المثلى، والتطورات في تطبيقات المحفز، للمعالجة المائية للجاتروفا لإنتاج الوقود الحيوي، وكذلك بتوفر المواد الأولية للجاتروفا، وبأسعار تنافسية، علاوة عن تقييم المسارات البديلة لاستخدام الأجزاء المتبقية من فاكهة الجاتروفا. إضافة لذلك، ففي دراسة للبنك الدولي، يرتبط إنتاج الجاتروفا بالآثار البيئية مثل فقدان التنوع البيولوجي وارتفاع الاحتياجات من المياه وارتفاع ديون الكربون الناتجة عن تحويل الأراضي، وشملت التأثيرات البيئية الإيجابية ارتفاع عائد الطاقة على الاستثمار، وتوفير كميات كبيرة من غازات الدفيئة عند زراعة الجاتروفا في الحقول الزراعية المهجورة كما كشفت الأبحاث التي أجريت في بعض أجزاء غرب أفريقيا.

وتهدف هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على إنتاج الطاقة الحيوية المستدامة من أشجار الجاتروفا كركاس، وتناقش المراجعة من خلال التحليل الوصفي لتطبيقات الجاتروفا كوقود حيوي، ومدى استدامتها بيئياً، والتحديات، والصعوبات التي تواجه إنتاج الطاقة من النبات، ومستقبل تطبيقاتها دولياً، ومن المأمول أن تلقي هذه المراجعة الضوء على ضرورة الاهتمام بهذه النباتات، وإجراء المزيد من البحوث البيئية، والزراعية والاقتصادية على هذه الأشجار.

الكلمات الافتتاحية: الجاتروفا، الطاقة الحيوية، الاستدامة البيئية، الوقود التقليدي، التحديات والصعوبات.

1. المقدمة:

تشير المخاوف البيئية المتزايدة بشأن انبعاثات الكربون وتغير المناخ، والتي تفاقمت بسبب الطلب المتزايد على الطاقة في البلدان النامية مثل الصين والهند، إلى أن أحد أهم مصادر التلوث البيئي هي الملوثات الناتجة عن حرق وقود الديزل الأحفوري. فملوثات محركات الديزل لها تأثير كبير على البيئة وصحة الإنسان (Valipour, A. 2014). لذلك، اتجه العلماء للبحث عن الاحتراق النظيف لمحركات الديزل باستخدام مصادر وقود أخرى بسبب عدة عوامل، منها تزايد تكاليف النفط، والاستنزاف المتوقع لوقود الديزل الأحفوري لعقود من الزمن، لاكتشاف أنواع وقود بديلة جديدة، ومتاحة على نطاق واسع، ومجدية تقنيًا، واقتصاديًا، ومستدامة بيئيًا.

نتيجة لذلك، تم اقتراح الوقود الحيوي كبديل لحرق الوقود الأحفوري بسبب استنفاد مصادر الوقود الأحفوري المتوقعة في المستقبل، والتكلفة الحالية المتزايدة لهذا الوقود. فمن بين مزايا الوقود الحيوي أنه ينبعث منه كميات أقل من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، كذلك يعد وقود الديزل الحيوي وقود إستر أحادي الألكيل المؤكسج (oxygenated mono-alkyl ester)، نظيف الاحتراق، ويتم تصنيعه من مصادر طبيعية ومتجددة (Enweremadu and Mbarawa, 2009).

الوقود الحيوي كان يُعتبر تقليديًا محايدًا من حيث الغازات الدفيئة في دورة حياته، إذ تسهم المحاصيل في تثبيت الكربون من الغلاف الجوي خلال مرحلة النمو، ومن ثم عند الاحتراق كوقود حيوي، يُعتقد أن الكربون المُطلق يُعادل الكربون المُثبت سابقًا (Dehue and Hettinga, 2008). في هذا السياق، أقر الكونجرس الأمريكي قرارًا يدعو إلى زيادة استخدام الوقود الحيوي بمقدار خمس مرات، وتبنت أوروبا سياسات موازية، حيث حدد الاتحاد الأوروبي هدفًا يقضي بأن يُشكل الوقود

الحيوي 10٪ من وقود النقل بحلول عام 2020، الأمر الذي قد يُحدد الاحتياجات الكلية للأراضي ويشجع على تحويل الاستخدامات الزراعية وتغيير كبير في استخدام الأراضي، لا سيما في البلدان الاستوائية.(Dehue and Hettinga, 2008) .

إن نبات لجاتروفا (***Jatropha curcas Linn***) ، المعروفة بـ "الجوز الفيزيائي"، هو نبات غير مُستخدم في الغذاء البشري ويُستخدم حاليًا كبديل للوقود الأحفوري (Nahar, K. and Ozores-Hampton, M., 2011).تُصنف ضمن عائلةEuphorbiaceae ، مثل أشجار المطاط والكسافا .(Grover A., et al., 2013) الجاتروفا، التي تُعتبر أصلية في أمريكا الجنوبية، استُقدمت إلى تايلاند قبل نحو 200 سنة بواسطة البرتغاليين الذين استخدموا زيتها في صناعة الصابون. تتراوح ارتفاعات الجاتروفا بين 3 إلى 6 أمتار، وتتميز بلحائها الرمادي الناعم وأوراقها الخضراء .(Jongschaap et al., 2007) تُعرف هذه الشجرة بمقاومتها للجفاف وعدم صلاحيتها للأكل، وهي الأكثر شيوعًا بين أنواعها المتنوعة حول العالم.

وهناك اهتمام متزايد بالجاتروفا كركاس (***Jatropha curcas***)، باعتبارها "شجرة معجزة"، فتعمل بوقود الديزل الحيوي للمساعدة في تخفيف أزمة الطاقة، وتوليد الدخل في المناطق الريفية في البلدان النامية. فلقد أصبحت الجاتروفا نموذجاً مثالياً بين بعض أنصار الطاقة المتجددة والتكنولوجيا المناسبة، وخاصة باعتبارها شجرة حاملة للنفط و"مقاومة للجفاف" للأراضي الهامشية لصغار المزارعين، (**Mike Benge, 2006**)، والجاتروفا كركاس، نبات خشبي قصير الشمس، ذو جذور قوية، ومن المتطلبات البيئية لنبات الجاتروفا، فلقد تم استخدامه كنبات رائد لزراعته في الصحراء، والشواطئ الرملية، والمالحة، والوادي الجاف، والمنحدرات الحادة لحماية تآكل التربة، ويمكن ان تزدهر على أفقر التربة الحجرية، ويمكنه تحمل الصقيع، ومتطلباته المائية

منخفضة للغاية، ويمكنها الوقوف لفترات طويلة من الجفاف، عن طريق تساقط معظم أوراقها، لتقليل فقدان النتح، (Temesgen Bedassa Gudeta, 2016).

مشكلة البحث:

عالمياً، يمثل النقص في الوقود الاحفوري، وتدهور البيئة تحديين كبيرين للبشرية في القرن الحادي والعشرين، والبحث عن الطاقة الحيوية البديلة، وغير المكلفة، ومستدامة، أصبح خياراً محتملاً في المستقبل، وحالياً أحد من أكبر التحديات، وحالياً تأتي نبات الجاتروفا كوركس مدخلاً مهماً للوقود الحيوي، وبناءً على استعراض وتحليل الأدبيات السابقة التي تناولت موضوع استخدام نبات الجاتروفا في إنتاج الوقود الحيوي، **ويمكن تحديد مشكلة الدراسة على النحو التالي:**

- على الرغم من الاهتمام المتزايد بالجاتروفا كوركاس كمصدر واعد للوقود الحيوي، إلا أن هناك العديد من التحديات والفجوات المعرفية التي تحتاج إلى مزيد من الدراسة والبحث. فقد أشارت بعض الدراسات إلى أن زراعة الجاتروفا على نطاق واسع قد تؤدي إلى آثار سلبية على البيئة والتنوع البيولوجي (Achten et al., 2010; Romijn, 2011). كما أن هناك تباينًا في تقييم الجدوى الاقتصادية لإنتاج الوقود الحيوي من الجاتروفا، حيث تختلف التكاليف والعوائد باختلاف الظروف المحلية والممارسات الزراعية (Brittaine & Lutaladio, 2010; Mushtaq et al., 2015).
- علاوة على ذلك، تشير بعض الدراسات إلى وجود تحديات تقنية في عمليات استخراج الزيت وتحويله إلى وقود ديزل حيوي من بذور الجاتروفا، مما قد يؤثر على كفاءة وجدوى العملية الإنتاجية (Sarin et al., 2007; Tiwari et al., 2007). كما أن هناك حاجة إلى

مزيد من البحث حول الممارسات الزراعية المثلى لزراعة الجاتروفا وإدارة المحاصيل لتحقيق أقصى إنتاجية.(Divakara et al., 2010; Sunil et al., 2008)

لذلك، تسعى هذه الدراسة إلى معالجة الفجوات المعرفية والتحديات المتعلقة باستخدام الجاتروفا كوركاس في إنتاج الوقود الحيوي، من خلال تحليل شامل للعوامل البيئية والاقتصادية والتقنية والزراعية ذات الصلة، بهدف تقديم توصيات وحلول عملية لتعزيز الاستدامة واستغلال الإمكانات الكاملة لهذا المصدر المحتمل للطاقة المتجددة.

منهجية الدراسة:

تعتمد منهجية هذه الدراسة على التحليل الوصفي، من خلال وصف أهمية أشجار الجاتروفا في البيئة، ودورها في الاستدامة البيئية، وأهميتها في إنتاج الوقود الحيوي، وكذلك تعتمد منهجية هذا البحث على التحليل التحليلي، لتطبيقات أشجار الجاتروفا في دول العالم، وتقييم خصائصها البيئية، والاقتصادية، والصناعية.

الهدف من الدراسة:

تهدف الدراسة إلى التعرف على أهمية نبات الجاتروفا كاركس في إنتاج الوقود الحيوي، ومدى جدواها الاقتصادية، واستدامتها البيئية، في انتاج الوقود الحيوي، وعلاقتها بأزمة الغذاء العالمية.

2. الدراسات السابقة:

ويتمتع تاريخ استخدامات الجاتروفا كوركس كوقود حيوي لتاريخ طويل، لا سيما في المناطق التي ينتمي إليها، مثل: أمريكا الوسطى، والجنوبية، وأفريقيا، وأسيا، وأكتسب استخدام الجاتروفا كوركس كوقود حيوي اهتماماً كبيراً في أوائل عام 2000، عندما كان بديلاً واعداً

للوقود الحيوي، نظراً لمحتواه العالي من الزيت، وقدرته على النمو في الأراضي الهامشية، (Undefined, 2022).

ففي في غرب أفريقيا (Hiromi Yamamoto, et.al.; 2001)، يمثل إنتاج الوقود الحيوي فرصة كبيرة، لا سيما عندما تتوفر مساحات كبيرة من الأراضي الصالحة للزراعة وحيث تعمل نسبة كبيرة من السكان في الزراعة، وبينت هذه الدراسة (بنيجيريا)، أن استخدام وقود الديزل الحيوي، يعتبر له فوائد بيئية، ويبدوا كما يقول الباحث، أنه بديل معاكس في المستقبل، ففي هذه الدراسة تم انتاج وقود الديزل الحيوي من زيت بذور الجاتروفا، باستخدام زركونيا الكبريت كمحفز (Sulphated Zirconia as catalyst)، فتم توصيف المحفز باستخدام الأشعة تحت الحمراء، وخلصت إلى العثور على الخصائص الفيزيائية، والكيميائية للديزل الحيوي المنتج، ضمن معيار الجمعية الأمريكية لاختبار المواد (ASTM)، وبالتالي قد يستخدم وقود الديزل الحيوي، كبديل أو مضاف للديزل التقليدي (Dangoggo SM, et.al. 2018)،

وكانت زيمبابوي وجنوب أفريقيا وملاوي هي البلدان الوحيدة في المنطقة التي أنتجت الوقود الحيوي (الإيثانول الحيوي القائم على قصب السكر)، وهدفت دراسة بالجنوب الأفريقي، لعام 2015، على زراعة 111000 هكتار، من الجاتروفا، وتوقعوا زراعة إجمالي 2.2 مليون هكتار في المنطقة، وركزت على تحسين تقنيات جمع البذور واستخراج الزيت وإنتاج وقود الديزل الحيوي (Gexsi, 2008). فلديها إنتاجية عالية من البذور يمكن إنتاجها بشكل مستمر لمدة تصل إلى 50 عامًا. علاوة على ذلك، فإن استخدامه لن يكون له أي تأثير على مصادر الغذاء لأن الزيت سام للإنسان والحيوان.

فلقد أدى الطلب المتزايد على مصادر الوقود التقليدية إلى جعل الناس يفكرون في أنواع الوقود البديلة التي يمكن أن تقلل الطلب الحالي، وتركز الدراسات والبحوث على مصادر الطاقة المتجددة،

من عدة مصادر نباتية، ومن المنتجات العضوية أو النفايات الغذائية؛ وذلك لاستخدام بذورها لاستخراج الزيت (Nikul K, et., al, 2015). ومنذ اختراع محركات الديزل يحاول الباحثون استبدال الوقود التقليدي بوقود الطاقة المتجددة (مثل الوقود الحيوي)، (Demirbas, 2003)، فمن الدراسات السابقة، للحصول على الوقود الحيوي من النباتات، أستخدم زيت النخيل، للحصول على الوقود الحيوي، وخلصت الدراسة إلى أن عائداته الاقتصادية غير مجدية، كونه غذاء للشعوب، مما جعل زيت النخيل غير مثالياً كوقود حيوي، فلهذا تم التفكير في زيت الجاتروفا، لأنه محصول زيتي غير صالح للأكل، ويمكن الحصول منه على وقود حيوي،(Nurul Husna Che Hamzah, et., al, 2020).

وإن استخدام النباتات كوقود حيوي له تاريخ طويل، ولكن يعد زيت الجاتروفا كركاس، المشتق من نبات الجاتروفا كركاس، مصدرًا محتملاً للهيدروكربون أو مصدر الطاقة في إندونيسيا (**Kavita, et., al, 2014**)، ومع ذلك، لا يمكن استخدام الزيت مباشرة بسبب لزوجته العالية وخصائص أخرى، ويجب تحويله إلى وقود الديزل الحيوي من خلال تفاعل تحلل الميثان (Lakshmi, et., al., 2021)، وتمت دراسة إنتاج وقود الديزل الحيوي من الجاتروفا كركاس على نطاق مختبري باستخدام المفاعلات الأنزيمية، مما يدل على إمكانية إنتاج وقود الديزل الحيوي، (Ojo, Kurdi. (2006).)، وتمت أيضًا دراسة وقود الديزل الحيوي لاستخدامه في محركات الديزل، حيث أشارت الدراسات إلى استخدامه على المدى الطويل وقدرته على الخلط مع وقود الديزل النفطي، (Donatella, Termini. 2019).

وفي دراسة (Alessandro Vrech, et.al.2019)، تؤكد أن زراعة الجاتروفا غير السامة، توفر جاتروفا الزيت النباتي لاستخدام الطاقة، بدلاً من الوقود الأحفوري. وخلصت الدراسة إلى أن

استخدام مدخلات الجاتروفا كوركاس غير السامة أمرًا إيجابيًا للغاية، لأنه يضمن حماية أكبر لصحة الإنسان فيما يتعلق بالمدخلات السامة. وتحتوي بذور الجاتروفا على أكثر من 30٪ من الزيت الذي كان يستخدم تقليدياً في الطهي أو الإضاءة أو توليد الطاقة الكهربائية، كما أن وقود الديزل الحيوي المصنوع من زيت الجاتروفا مناسب لجميع محركات الديزل الحالية، ويحافظ على نفس خصائص الاحتراق مثل الديزل التقليدي، مع انخفاض تلوث الهواء، دون احتلال الأراضي الصالحة للزراعة وبتكلفة إنتاج تبلغ الثلث، ويمكن أن تنتج الجاتروفا كركاس أكثر من 1590 كجم من الزيت لكل هكتار، أي خمسة أضعاف إنتاج فول الصويا، وتوصي بها الأمم المتحدة كمصنع طاقة واعد في العالم.

وذكرت دراسة، (Vimal Chandra Pandey, et.al. 2012)، أن نبات الجاتروفا عبارة عن مصنع فريد لزيادة الطاقة المتجددة، نظراً لمزاياه العديدة، فهو المرشح الوحيد للفوائد الملموسة، وغير الملموسة للبيئة، والدعوة إلى هذا النوع من أجل مزارع واسعة في الأراضي القاحلة المتدهورة، في جميع أنحاء العالم، ويلقى هذا النوع من النباتات الكثير من الاهتمام بسبب دوره الهائل في إنتاج الديزل الحيوي، وهو صديق للبيئة، وقابل للتحلل الحيوي، ومتجدد ومستدام، وغير سام بطبيعته، مقارنة بالبترو ديزل، فتمت مناقشة التقارير السابقة، حول الأدوار المختلفة لنبات الجاتروفا، مثل المعالجة النباتية الفعالة، وعزل الكربون، ومطور الأراضي المتدهورة، والتحكم في تآكل التربة، والذي يجب استغلاله جيداً لدوره المفيد في البيئة الاستوائية، للتخفيف من أزمة الطاقة، والادارة البيئية، والإنتاج المستدام. وبيئياً، هناك آمال كبيرة في أن توفر الجاتروفا بديلاً مستدامًا لمحاصيل الطاقة الأخرى الأقل استدامة أو غير المستدامة، حيث يمكن أن تنمو في الأراضي الهامشية حيث لا تتنافس

مع إنتاج الغذاء أو الحفاظ على الطبيعة. في السنوات القليلة الماضية، تم التخطيط لعدد كبير من مشاريع الجاتروفا والبدء فيها.

وتناقش بعض الدراسات، كالتجربة المصرية عام (2011)، على أن لزرعة الجاتروفا عوائد اجتماعية، مثل: توفير فرص العمل، وبناء القدرات والخبرات في تعظيم الاستفادة من بيئياً، كالتخلص من مياه الصرف الصحي، ولها أيضاً، عوائد اقتصادية، كأحلال الاخشاب المستوردة، بالأخشاب المحلية، وتحقيق قيم مضافة للأراضي المزروعة.

النتائج والمناقشة:

أولاً: النتائج:

فدلت معظم نتائج الدراسات السابقة، إلى أن هناك اهتمام دولياً متزايداً بالجاتروفا كركاس (*Jatropha curcas*)، باعتبارها "شجرة معجزة"، لتصبح مزيجًا رئيسيًا من الطاقة المتجددة، فتعمل بوقود الديزل الحيوي للمساعدة في تخفيف أزمة الطاقة، وتوليد الدخل في المناطق الريفية في البلدان النامية، وذكرت دراسة، (Vimal Chandra Pandey, et.al. 2012)، أن نبات الجاتروفا عبارة عن مصنع فريد لزيادة الطاقة المتجددة، نظراً لمزاياه العديدة، فهو المرشح الوحيد للفوائد الملموسة، وغير الملموسة للبيئة، والدعوة إلى هذا النوع من أجل مزارع واسعة في الأراضي القاحلة المتدهورة، في جميع أنحاء العالم، ويلقى هذا النوع من النباتات الكثير من الاهتمام بسبب دوره الهائل في إنتاج الديزل الحيوي، وهو صديق للبيئة، وقابل للتحلل الحيوي، ومتجدد ومستدام، وغير سام بطبيعته، مقارنة بالبترو ديزل، فتمت مناقشة التقارير السابقة، حول الأدوار المختلفة لنبات الجاتروفا (*JCL*)، مثل المعالجة النباتية الفعالة، وعزل الكربون، ومطور الأراضي المتدهورة،

والتحكم في تآكل التربة، والذي يجب استغلاله جيداً لدوره المفيد في البيئة الاستوائية، للتخفيف من أزمة الطاقة، والادارة البيئية، والإنتاج المستدام.

ووفقاً للمعايير الدولية (ASTM D6571 and EN 14214 standards)، دلت على أن خصائص لزوجة زيت الجاتروفا كوركاس، كوقود حيوي تقع في نطاقات مقبولة، وتعد الكثافة خاصية مهمة، للوقود الحيوي، والتي تؤثر على كفاءة ترذيذ الوقود في أنظمة الاحتراق الخالية من الهواء، فلدى زيت الجاتروفا كوركس كثافة أعلى من وقود الديزل. ونقطة الوميض هي درجة الحرارة التي يشتعل فيها الوقود عند تعرضه للهب أو الشرارة، فعلى حسب المعايير الدولية للوقود الحيوي، يجب أن يكون لوقود الديزل الحيوي نقطة وميض أعلى من 130 درجة، وكانت النتائج مطابقة لمعايير وقود الديزل الحيوي (A.S.Silitongaa, et., al., 2014).

ثانياً: المناقشة:

يمكن تحليل ومناقشة الدراسات والأدبيات السابقة، التي تناولت موضوع استخدام الجاتروفا كمصدر للوقود الحيوي من خلال النقاط التالية:

1. **تقييم الخصائص الزراعية للجاتروفا:**

يلعب نبات الجاتروفا دوراً مهماً في الحراجة الزراعية، وفي ترسيم الحقول، والأسيجة، والسياج النباتي، والتحكم في تآكل التربة، (Anguessin, et., al., 2021)، ومن خصائصه الزراعية الأخرى، مكافحة تدهور التربة، والتصحر، (Undefined, 2022). وجاتروفا كاركس هي شجرة متعددة الأغراض، يمكن زراعتها في الأراضي الهامشية، ويتم استخدامها لإنتاج الوقود الحيوي، والطب التقليدي، وحماية البيئة، (Waleed, Fouad, Abobatta. 2021).

ويمكن زراعة الجاتروفا من خلال البذور، والشتلات الجذعية والتجديد في المختبر، ولكنه لا يعطي التكاثر المثالي من خلال البذور، ويزيد من خطر انتشار المرض، ومن الضروري تطوير بروتوكولات في المختبر للانتشار الشامل، وهناك حاجة إلى تقنيات زراعية مناسبة لزراعة الجاتروفا، لضمان ارتفاع مستوى الزيت، ومحتوى البذور، وحجمها، وقد تظهر تطبيقات زراعة الجاتروفا في العالم اختلافات في حجم البذور، ومحتوى الزيت، للأنماط الجينية المتشابهة وراثياً، وتتم زراعة الجاتروفا في حفر ذات حجم مناسب، تعتمد بشكل مثالي على منحدر الأرض، وتوافر المياه، ونوعية التربة، ويعتبر حجم الحفرة 30 × 30 × 30 سم، مثالي للزراعة في التربة الغنية بالمغذيات، وتشكل فضلات الأوراق التي تسقط في أشهر الشتاء نشارة حول قاعدة النبات، مما يعزز نشاط دودة الأرض في التربة، ويحسن الحيوانات الدقيقة، والخصوبة، وملمس التربة، (**Atul, et., al., 2019**).

وتشير الدراسات إلى أن الجاتروفا نبات ذا طاقة حيوية غير صالح للأكل، ويحتوي على نسبة عالية من الزيت، عالي الإنتاجية، ومقاومة للأمراض، وتضيف الورقة، إلى أن الجاتروفا تتمتع بصفات متأصلة بما في ذلك الطبيعة القاسية، وتحمل الجفاف، والبقاء على قيد الحياة بمياه محدودة، وتحمل الظروف غير المواتية، والرطوبة الزائدة، (**Arockiasamy, S., et., al., 2021**).

وبينت الدراسات على أن نبات الجاتروفا أظهر المعالجة النباتية للتربة الملوثة بالمعادن، وتراكم حيوي لإزالة الكادميوم، والرصاص، في معالجات محددة، مما يشير إلى فعاليته في إزالة هذه المعادن الثقيلة من التربة، أي: المعالجة البيولوجية لملوثات المعادن الثقيلة، مما يساهم في الحفاظ على موارد الأرض، (**Leapheng, R, et., al., 2019**).

2. **تقييم الجدوى الاقتصادية لنبات الجاتروفا لإنتاج الوقود الحيوي:**

إن الجدوى الاقتصادية لإنتاج الجاتروفا، بأن له القدرة في أن يكون مصدراً مناسباً للمواد الأولية للوقود الحيوي، نظراً لخصائصه الفيزيائية والكيميائية، وتعتمد ربحية زراعة الجاتروفا على عوامل مثل سعر الزيت عند بوابة المزرعة، وتنوع الجاتروفا المزروعة (الصالحة للأكل أو السامة)، وتكاليف العمالة، ولتحقيق ربحية المحاصيل، يلزم نطاق إنتاج البذور من 2000 إلى 4300 كجم لكل هكتار سنوياً، من مزارع الجاتروفا الناضجة، اعتماداً على ظروف موقع الزراعة، والظروف المناخية، وأن بذور الجاتروفا المحسنة، ذات أهمية اقتصادية في انتاج الجاتروفا،(**George, Francis. 2019**). وفي دراسة أخرى تدل على استخدام زيت الجاتروفا في إنتاج الصابون، عالي الجودة، والتطبيقات الصناعية الأخرى، مما يوفر فرصاً اقتصادية إضافية، (**Yihunie, Bekalu, Babil. 2021**). ومن التحديات الاقتصادية التي تواجه انتاج الوقود الحيوي، متعلقة بتكلفة الإنتاج، وطلب السوق، والمنافسة مع أنواع الوقود الحيوي الأخر، (**Mohd, et., al., 2017**).

وتناقض إحدى المراجعات (Donald L , et.al.2017)، بأن معظم المزارع التجارية الكبيرة المخطط لها لإنتاج بذور الجاتروفا للاستهلاك المنزلي والتصدير لم تكن مجدية اقتصاديًا ويرجع ذلك أساسًا إلى انخفاض إنتاج البذور وارتفاع تكلفة الإنتاج وتأخر الإنتاج وأسعار المواد الخام غير التنافسية . ومن ناحية أخرى، كانت مشاريع الجاتروفا للوقود الحيوي القائمة على أصحاب الحيازات الصغيرة مجدية اقتصاديًا بسبب انخفاض تكاليف مدخلاتها .وأظهر تحليل التأثيرات الاجتماعية أن إنتاج الجاتروفا ارتبط بفقدان الحقوق في الأرض، وانخفاض مستويات التعويض، وتهديد الأمن الغذائي حيث تم تحويل الأراضي ومدخلات الإنتاج الأخرى من المحاصيل الغذائية إلى إنتاج الجاتروفا .وشملت الآثار الاجتماعية الإيجابية في بعض البلدان زيادة فرص العمل والدخل.

3. تقييم خصائص نبات الجاتروفا البيئية:

تتطلب زراعة الجاتروفا ظروفاً بيئية محددة، مثل أنواع التربة والمناخ المناسب، على الرغم من أن الجاتروفا تنمو في مجموعة واسعة من البيئات، بما في ذلك المناطق القاحلة، وشبه القاحلة، لأنها تتحمل الجفاف، ومع ذلك قد تواجه زراعة الجاتروفا تحديات من حيث التأثر بالعوامل البيئية، مثل توافر المياه وخصوبة التربة، ولتحقيق زراعة الجاتروفا المربحة، يجب مراعاة العوامل البيئية في موقع الزراعة، فلقد ثبت انه يقلل من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري، بنسبة تصل إلى 82٪، مقارنة بالوقود الأحفوري، مما يشير إلى قيمته البيئية، ووجد أن زراعة الجاتروفا تتسم بالكفاءة البيئية في استخدام الطاقة، وتنتج طاقة أكثر مما تستخدم، فلقد واجهت زراعة الجاتروفا تحديات من حيث إنتاجية المزارع ونقص الاستثمارات الجديدة في قطاع الوقود الحيوي، (**George, Francis. 2019**).

وأستخدم المنتج الثانوي لاستخراج الزيت، والمعروف باسم كعكة البذور، كسماد عضوي، مما يقلل من الاعتماد على الأسمدة الكيماوية، (**Yihunie, Bekalu, Babil. 2021**).

ففي دراسة للبنك الدولي (2008)، يرتبط إنتاج الجاتروفا بالآثار البيئية مثل فقدان التنوع البيولوجي وارتفاع الاحتياجات من المياه وارتفاع ديون الكربون الناتجة عن تحويل الأراضي، وشملت التأثيرات البيئية الإيجابية ارتفاع عائد الطاقة على الاستثمار، وتوفير كميات كبيرة من غازات الدفيئة عند زراعة الجاتروفا في الحقول الزراعية المهجورة كما كشفت الأبحاث التي أجريت في بعض أجزاء غرب أفريقيا، و تشمل الاعتبارات السياسية مثل تقديم الدعم لمشاريع الوقود الحيوي في مراحلها الأولى من التطوير، وتثبيط نماذج الأعمال التجارية في المزارع الكبيرة إلى أن يحين الوقت الذي تنتج فيه الأبحاث أصناف الجاتروفا ذات إنتاجية عالية من البذور، وإدخال ضمانات قانونية

لحماية حقوق الأراضي للمزارعين، والمجتمعات المحلية، وضمان تقليل التغير في استخدام الأراضي والديون الكربونية المرتفعة إلى الحد الأدنى لما لها من آثار سلبية على التنوع البيولوجي وتغير المناخ.

4. الجوانب التقنية والصناعية لإنتاج الوقود الحيوي:

إن الجوانب التقنية لاستخلاص الزيت من بذور الجاتروفا تتم باستخدام مذيبات (مثل:-n hexane)، بعائد 39٪، وبعد ذلك يتم تحويل الزيت المستخرج إلى وقود الديزل الحيوي، من خلال عملية الأسترة القلوية، بعائد تبلغ نسبته 92٪، وتتوافق خصائص الديزل الحيوي المنتج من بذور الجاتروفا كوركس، مع المعايير الدولية (ASTM D6751, EN14214, ASTM D975)، ويظهر التحليل اللوني الغازي للديزل الحيوي وجود إستر ميثيل الأحماض الدهنية (FAME)، بطول سلسلة كربون 12 -20، بالإضافة إلى أحادي الجليسريد، وثنائي الجليسريدات، والدهون الثلاثي، والورقة تناقش أهمية الديزل الحيوي، باعتباره منتجاً قيماً في السياق الصناعي، (Handajaya, Rusli., M., B., Amran. 2023).

وتتوافق الدراسات على أن خصائص الديزل الحيوي المنتج من بذور الجاتروفا كوركس، مع المعايير الدولية للديزل الحيوي، ويتم ذلك من خلال عملية الأسترة القلوية بعائد تحويل تصل نسبته إلى 92٪، (Wiluk, et., al., 2021).

وإن الأسترة التبادلية هي طريقة شائعة تستخدم لتحويل زيت الجاتروفا إلى وقود الديزل الحيوي، ويتضمن تفاعل الزيت مع الكحول (مثل: الميثانول أو الإيثانول)، في وجود محفز (مثل: هيدروكسيد الصوديوم، أو هيدروكسيد البوتاسيوم)، لإنتاج وقود الديزل الحيوي، والجلسرين كمنتج ثانوي، بالإضافة إلى استخدام المذيبات من زيت الجاتروفا، لإنتاج الديزل الحيوي، وبتقنية الضغط الميكانيكي، والاستخراج الإنزيمي للحصول على زيت الجاتروفا من بذور الجاتروفا، ويمكن

تحديد تركيبة الأحماض الدهنية لزيت الجاتروفا باستخدام تحليل كروماتوغرافيا الغاز (GC)، والذي يسمح بفصل وقياس الأحماض الدهنية المختلفة الموجودة في الزيت، وأن تقييم جودة وقود الديزل الحيوي من الجاتروفا، تتم من خلال اختبارات مختلفة، كالزوجة، ونقطة الوميض، وتحليل القيمة الحمضية، (**Sérgio, Peres. (2019**).

ومن بين التحديات التقنية، والبنية التحتية لإنتاج الوقود الحيوي من الجاتروفا على نطاق واسع الآتي:

- **الزراعة والحصاد**: ضمان مزارع عالية الإنتاجية، وتحسين تقنيات الزراعة، وتطوير طرق الحصاد الفعالة.
- **معالجة البذور**: تطوير طرق فعالة من حيث التكلفة، وقابلة للتطوير لاستخراج البذور، واستعادة الزيت.
- **عملية الأسترة التبادلية**: تحسين عملية الأسترة التبادلية لزيادة إنتاجية الديزل الحيوي وجودته.
- **اختيار المحفز**: تحديد المحفزات المناسبة التي تتسم بالكفاءة والصديقة للبيئة، والقابلة للتطبيق اقتصادياً
- **إدارة النفايات**: معالجة التخلص السليم، أو الاستخدام السليم للمنتجات الثانوية، مثل: الجلسرين، وكعكة البذور.
- **مراقبة الجودة**: تنفيذ تدابير صارمة لمراقبة الجودة لضمان الامتثال لمعايير ومواصفات وقود الديزل الحيوي.

- **تطوير البنية التحتية:** إنشاء بنية تحتية قوية لزراعة الجاتروفا على نطاق واسع واستخراج النفط، وإنتاج الديزل الحيوي.
- **دعم السياسات:** تشجيع السياسات والحوافز الداعمة لتعزيز إنتاج الوقود الحيوي للجاتروفا، على نطاق صناعي.
- **الخدمات اللوجستية والتوزيع:** تطوير شبكات لوجستية، وتوزيع فعالة لنقل بذور الجاتروفا والزيت، والديزل الحيوي، إلى المستخدمين النهائيين. (**Mohd**, et., al., 2017).

5. الفجوات البحثية لإنتاج الوقود الحيوي والاستدامة البيئية من الجاتروفا كوركس:

فمن بين الفجوات البحثية لإنتاج الوقود الحيوي من الجاتروفا، عدم وجود مراجعات متعمقة حول الجاتروفا لإنتاج الوقود الحيوي، في الأدبيات العلمية، مما يسلط الضوء على الحاجة على المزيد من البحث، والتقييم للجاتروفا كمادة أولية، وعن ظروف التشغيل المثلى، والتطورات في تطبيقات المحفز، للمعالجة المائية للجاتروفا لإنتاج الوقود الحيوي، وكذلك بتوفر المواد الأولية للجاتروفا، وبأسعار تنافسية، علاوة عن تقييم المسارات البديلة لاستخدام الأجزاء المتبقية من فاكهة الجاتروفا، (**Mohammad,, et., al., 2021**).

علاوة على ذلك، قد تؤدي زرعة الجاتروفا لإنتاج الوقود الحيوي، إلى تغيير استخدام الأراضي، وإزالة الغابات، وتدمير الموائل، مما قد يكون له عواقب سلبية على التنوع البيولوجي، إضافة المواد الكيميائية، واستهلاك الطاقة، الناتجة عن عملية الأسترة التبادلية، مما تسهم في التلوث البيئي، ومنافستها مع الأراضي الزراعية، والمحاصيل الغذائية، ومخاوف من إنتاج الغذاء، (**Asarudheen, et., al., 2023**).

ويرى (Pere Ariza-Montobbio and Sharachchandra Lele, 2010,)، لقد وُجد أن إنتاجية الجاتروفا أقل بكثير من المتوقع وأن زراعتها غير قابلة للحياة في الوقت الحالي، وحتى صلاحيتها المحتملة للحياة تتحدد بقوة من خلال الوصول إلى المياه .وعلى العموم، يؤدي هذا المحصول إلى إفقار المزارعين، وخاصة المزارعين الأكثر فقرا والمتخلفين اجتماعيا.

إضافة لذلك، ففي دراسة بعنوان" الضجيج العالمي للوقود الحيوي الجاتروفا"، إلى أن الإمكانيات العالمية لإنتاج الوقود الحيوي الجاتروفا، كانت مبالغ فيها إلى حد كبير خلال الفترة 2000 ــ 2008.. (**Von Maltitz et al., 2014**) "

ومن بين التحديات والصعوبات والتي تواجه زراعة الجاتروفا فيرى، (**Mike Benge, 2006**)، هو أن نسبة كبيرة من المزارعين في البلدان النامية لا يستطيعون الوصول إلا من خلال شكل من أشكال الحيازة المحدودة إلى قطعة صغيرة جدًا من الأرض اللازمة لزراعة المحاصيل الغذائية .ولا ينبغي أن ننسى أنه يتم الحصول على العوائد الهامشية من النباتات المزروعة في الأراضي الهامشية.

وهناك حاجة إلى دراسة موسعة لفهم القدرة على إنتاج وقود عالي الجودة من محصول الجاتروفا، ويجب أن تركز الأبحاث المستقبلية على تطوير وتحسين وتحديث التقنيات التي تشمل جمع البذور ومعالجة البذور واستخراج الزيت وإنتاج وقود الديزل الحيوي، ويجب على الباحثين التركيز أكثر على تطوير الزهور الأنثوية ذات معدل سم منخفض ومناعة أعلى للحصول على إنتاج أفضل في محصول الجاتروفا.

ويرى (Gaxi, 2008)، إن صناعة الجاتروفا لا تزال في مهدها، فلا يوجد سوى القليل من المعرفة الموحدة حولها

مساحة الجاتروفا المزروعة حاليا، ولا توجد معايير صناعية حتى الآن، ولا يوجد سوق سلعي لزيت الجاتروفا. كما أننا لا نعرف الكثير عن التأثير الاجتماعي، والبيئي للمشاريع الحالية، وكذلك الاستثمارات المستقبلية واسعة النطاق والبرامج الحكومية الطموحة في الجاتروفا، وهل تفيد مشاريع الجاتروفا بشكل عام المزارعين أصحاب الحيازات الصغيرة وتستعيد الأراضي البور؟ أم أن هناك قضايا جدية تتعلق بالاستدامة تحتاج إلى معالجة؟

ويرى البنك الدولي، في دراسته، لعام 2008، أن تحويل الحبوب والذرة لإنتاج الإيثانول والاستعاضة بشكل أكثر عمومية عن مزارع المواد الغذائية بمحاصيل الوقود الحيوي الأكثر كفاءة، والذي حدث في العديد من البلدان من خلال الإعانات والإعفاءات الضريبية، لا يعني ضمناً ارتفاع أسعار المواد الغذائية فحسب، بل يؤدي أيضاً إلى توسيع نطاق إزالة الغابات، كما حدث في البرازيل، وجنوب شرق آسيا، بسبب زراعة قصب السكر، وزيت النخيل على التوالي، وفي تقرير خاص عن الغابات، قدمت مجلة الإيكونوميست (2010) أدلة على أن الجيل الأول من مزارع الوقود الحيوي هي المسؤولة عن زيادة الطلب على أراضي الغابات، وأعطت مثال إندونيسيا، حيث تمت زراعة أكثر من 3 ملايين هكتار من نخيل الزيت بين عامي 1990 و2005 ، بالنسبة للعديد من البلدان، يساهم ارتفاع أسعار الغذاء العالمية في ارتفاع تضخم أسعار الغذاء، مما يقوض التقدم المحرز في الحد من الفقر على مدى السنوات العشر الماضية، في المناطق التي تنفق فيها الأسر أكثر من 75٪ من دخلها على الغذاء، (World Bank, 2008).

ومن المهم إجراء تقييم دقيق للآثار السلبية لإنتاج الوقود الحيوي، ومواصلة البحث، والمراقبة لفهم أفضل التطبيقات، للجاتروفا كوركس، وذلك لتقليل الفجوات البحثية، ولتحقيق الاستدامة البيئية للاستفادة منها في الوقود الحيوي.

الخلاصة:

قد أصبحت الجاتروفا نموذجاً مثالياً بين بعض أنصار الطاقة المتجددة والتكنولوجيا المناسبة، وخاصة باعتبارها شجرة حاملة للنفط و"مقاومة للجفاف" وللأراضي الهامشية لصغار المزارعين، وتوفر زراعة الجاتروفا غير السامة، الزيت النباتي لاستخدام الطاقة، بدلاً من الوقود الأحفوري، وصديق للبيئة، وغير سام، وقابل للتحلل، ومن المتوقع أن تصبح الطاقة الحيوية أحد مصادر الطاقة الرئيسية في المستقبل لأن الطاقة الحيوية، إذا تمت صيانتها بشكل مناسب، تكون متجددة وخالية من صافي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون.

ويرى بعض العلماء، إن زراعة الجاتروفا لا تفشل في تخفيف حدة الفقر فحسب، بل إن الترويج لها بشكل عدواني ومضلل سيولد الصراع بين الدولة والمزارعين، وبين الطبقات الاجتماعية والاقتصادية المختلفة، وحتى داخل الأسر .يمكن أن يؤدي الطلب على المياه للمحصول إلى تفاقم الصراعات والتنافس على الوصول إلى المياه.

وإن قدرة الوقود الحيوي من نباتات الجاتروفا، وعلى تحقيق أهداف التنمية البيئية المستدامة، يرتبط بالمخاطر الاقتصادية، والاجتماعية، والبيئية، فتشمل المخاطر الاقتصادية في زيادة أسعار المنتجات الغذائية، وارتفاع تكاليف استخدامات الأراضي الزراعية، على الرغم من أن إنتاج الوقود الحيوي قد لا يتنافس بالضرورة مع المنتجات الغذائية، وتشمل المخاطر الاجتماعية المرتبطة بإنتاج واستخدام الوقود الحيوي، انعدام الأمن الغذائي، وتشريد صغار المزارعين، وبالنسبة للمخاطر البيئية فتشمل فقدان التنوع البيولوجي، وتغير المناخ، وتدهور خدمات النظام البيئي. فللحصول على الوقود الحيوي والاستدامة البيئية لسلسلة الجاتروفا، يجب تجنب السياسات العشوائية لإنتاج الوقود

الحيوي من نباتات الجاتروفا، والعمل على سياسات وطنية شاملة، ذات أطر قانونية وتنظيمية، وتشمل التشريعات، وتنظيم أسواق الوقود الحيوي، وتنظيم التجارة، وتعزيز الاستدامة البيئية.

وهناك حاجة إلى دراسة موسعة لفهم القدرة على إنتاج وقود عالي الجودة من محصول الجاتروفا، ويجب أن تركز الأبحاث المستقبلية على تطوير وتحسين وتحديث التقنيات التي تشمل جمع البذور ومعالجة البذور واستخراج الزيت وإنتاج وقود الديزل الحيوي، ويجب على الباحثين التركيز أكثر على تطوير الزهور الأنثوية ذات معدل سم منخفض ومناعة أعلى للحصول على إنتاج أفضل في محصول الجاتروفا.

ومن التوصيات:

- دراسة استخدام المحفزات المختلفة، وتأثيراتها على عملية إنتاج الديزل الحيوي.
- البحث عن طرق تحسين ظروف التفاعل، مثل: درجة الحرارة، ووقت التفاعل، وكفاءة عملية السترة التبادلية.
- من المهم إجراء تقييم دقيق للأثار البيئية والاجتماعية لإنتاج الوقود الحيوي، لضمان الممارسات المستدامة، وتقليل الأثار السلبية على البيئة والتنوع الحيوي.
- تقييم جدوى استخدام مذيبات بديلة، لاستخراج زيت بذور الجاتروفا، مما يقلل من التأثير البيئي لعملية الإنتاج.
- دراسة إمكانية استخدام المواد الأولية المختلفة، مثل: نفايات بذور الجاتروفا، أو غيرها من مصادر الزيوت غير الصالحة للأكل، لزيادة تعزيز استدامة إنتاج الوقود الحيوي.
- تقييم الجدوى الاقتصادية لإنتاج وقود الديزل الحيوي من الجاتروفا على نطاق واسع وتحديد التحديات والفرص المحتملة للتسويق. (**Nikunj, et., al., 2023**).

المراجع

- عبدالله قاسم زغلول، (2011)، التجربة المصرية في تثبيت الكثبان الرملية، مركز بحوث الصحراء.
- Alessandro Vrech, Claudio Ferfuia, Willington Bessong Ojong, Edi Piasentier, Mario Baldin, (January/February 2019), Energy and environmental sustainability of Jatropha-Biofuels Chain from nontoxic accessions in Cameroon, Volume38, Issue1, Special Issue: Special Section on Carbon Dioxide, Pages 305-314.
- Anguessin, Benjamine., Mapongmetsem, Pierre, Marie. (2021). Ethnobotanique et caractérisation variétale de Jatropha curcas L. dans les savanes soudaniennes du Nord-Cameroun Ethnobotany and varietal characterization of Jatropha curcas L. in the Sudanese savannas of North-Cameroon. Ethnobotany Research and Applications, doi: 10.32859/ERA.21.04.1-11
- Arockiasamy, S., Jyothirmayi, Kumpatla., Sainath, Hadole., Vijay, Yepuri., Manoj, Patil., Vineeta, Shrivastava., Chandrasekhara, Rao., Nagesh, Kancharla., Saakshi, Jalali., Alok, Varshney., Neeta, Madan., Sai, Pothakani., Vinod, Nair., Sridhar, Peyyala., Vishwnadharaju, Mudunuri., Ananthan, Gopal., Niranjan, S., Kumar., Jawahar, Pachiyannan., Satyanarayana, Seelamanthula., J., V., Narasimham., Makarand, Phadke., Anindya, B., Ajit, Sapre., Santanu, Dasgupta. (2021). Breeding and biotechnological efforts in Jatropha curcas L. for sustainable yields. doi: 10.1016/J.OCSCI.2021.10.004.
- Asarudheen, Abdudeen., Mohamed, Y., E., Selim., Manigandan, Sekar., Mahmoud, Elgendi. (2023). Jatropha's Rapid Developments and Future Opportunities as a Renewable Source of Biofuel—A Review. Energies, doi: 10.3390/en16020828.

- Atul, Grover., Sweta, Singh., Abhinav, Singh., Madhu, Bala. (2019). Jatropha: From Seed to Plant, Seed, Oil, and Beyond. doi: 10.1007/978-981-13-3104-6_16.
- Dangoggo SM, Dhikrah I, Sani NA, Baki AS, Bagudo BU, et al. (2018) Preparation and Characterization of Biodiesel Produced from *Jatropha* Seed Oil Using Sulphated Zirconia as Catalyst. Ind Chem 4: 126.
- Dehue, B., Hettinga, W., 2008. Land Use Requirements of Different EU Biofuel Scenarios in 2020, Report n. PBIONL081533.
- Demirbas, A. Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: A survey. Energy Convers. Manag. 2003, 44, 093–109.
- Donatella, Termini. (2019). Use of Vegetation as Biomaterial for Controlling Measures of Human Impact on the Environment. Advances in Materials Science and Engineering, doi: 10.1155/2019/7945839.
- George, Francis. (2019). Economic Feasibility and Sustainability of Jatropha as a Crop. doi: 10.1007/978-981-13-3104-6_24.
- Gexsi, (2008), Global Market Study on Jatropha—Final Report; Global Exchange for Social Investment GEXSI: London, UK; Berlin, Germany. [Google Scholar].
- Grover A., Kumari M., Singh S., Rathode S. S., Gupta S. M., Pandey P., Gilotra S., Kumar D., Arif M., Ahmed Z., (2013). Analysis of Jatropha curcas transcriptome for oil enhancement and genic markers. Physiol Mol Biol Plants (January–March 2014) 20(1):139–142 DOI 10.1007/s12298-013-0204-4 (Short Communication).
- Handajaya, Rusli., M., B., Amran. (2023). Biodiesel production from sudanese jatropha curcas seed by the alkali-catalyzed transesterification process and its

analysis by gas chromatography. Helium: Journal of Science and Applied Chemistry, doi: 10.33751/helium.v2i2.6338.

- Hiromi Yamamoto, Junichi Fujino, Kenji Yamaji, (2001), Evaluation of bioenergy potential with a multi-regional global-land-use-and-energy model, Biomass and Bioenergy, Volume 21, Issue 3, Pages 185-203.
- Kavita, Hotwani., Sudhindra, Baliga., Krishna, Sharma. (2014). Phytodentistry: Use of Medicinal Plants. Journal of Complementary and Integrative Medicine, doi: 10.1515/JCIM-2013-0015.
- Lakshmi, Padmavathi, Pydipati., Bharathi, Depuru., Suvarna, Latha, Anchapakula., Hemavathi, Buddareddy. (2021). Effectiveness of Plant-Based Biomaterials in the Field of Biomedical Engineering. doi: 10.1007/978-981-16-1941-0_75.
- Leapheng, R, Agus, Jatnika, Effendi., Qomarudin, Helmy. (2019). Potential of Soil Amendments and Jatropha Curcas Plant in the Remediation of Heavy Metals Contaminated Agricultural Land. doi: 10.1088/1757-899X/536/1/012065.
- Mike Benge, Assessment of the potential of Jatropha curcas, (biodiesel tree,), for energy production and other uses in developing countries, USAID, August 2006. http://www.ascension-publishing.com/BIZ/jatropha.pdf.
- Mohammad, Alherbawi., Gordon, McKay., Hamish, R., Mackey., Tareq, Al-Ansari. (2021). Jatropha curcas for jet biofuel production: current status and future prospects.. Renewable & Sustainable Energy Reviews, doi: 10.1016/J.RSER.2020.110396.
- Nahar, K. and Ozores-Hampton, M. (2011). Jatropha: An Alternative Substitute to Fossil Fuel.(IFAS Publication Number HS1193). Gainesville:University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences.

- Nikul K. Patel, Shailesh N. Shah, (2015), Biodiesel from Plant Oils, Food, Energy, and Water, The Chemistry Connection, Pages 277-307, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800211-7.00011-9.
- Nikunj, Chavda., P., Ramulu, Rathod. (2023). Study and Synthesis of Bio-fuel from Jatropha Vegetable Oil. International Journal For Science Technology And Engineering, doi: 10.22214/ijraset.2023.52791.
- Nurul Husna Che Hamzah, Nozieana Khairuddin, Bazlul Mobin Siddique, and Mohd Ali Hassan, (2020), Potential of Jatropha curcas L. as Biodiesel Feedstock, in Malaysia: A Concise Review, Journal Processes, 8, 786; doi:10.3390/pr8070786.
- Ojo, Kurdi. (2006). Uji performa biodisel dari minyak jarak pagar yang diproduksi secara enzimatis pada mesin disel. doi: 10.14710/ROTASI.8.3.29-34.
- Pere Ariza-Montobbio and Sharachchandra Lele, (2010), Jatropha plantations for biodiesel in Tamil Nadu, India: Viability, livelihood trade-offs, and latent conflict, *Ecological Economics*, 70, (2), 189-195.
- Sérgio, Peres. (2019). The Characterization and Technologies for the Use of Jatropha curcas L. By-Products as Energy Sources. doi: 10.1007/978-981-13-3104-6_22.
- Temesgen Bedassa Gudeta, (2016), Chemical Composition, Bio-Diesel Potential and Uses of Jatropha curcas L. (Euphorbiaceae), Journal of Biology, Agriculture and Healthcare, Vol.6, No.8, www.iiste.org.
- Undefined, (2022), Chemistry, Biological Activities, and Uses of Jatropha Latex. doi: 10.1007/978-3-030-91378-6_35.
- Valipour, A. (2014). Biofuel: A Sustainable Solution for the Future. International Journal of Renewable and Sustainable Energy, 3(6), 137-145. https://doi.org/10.11648/j.ijrse.20140306.11.

- Vimal Chandra Pandey, Kripal Singh, Jay Shankar Singh, Akhilesh Kumar, Bajrang Singh, Rana P. Singh, (2012), Jatropha curcas: A potential biofuel plant for sustainable environmental development, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Issue 5, ,Pages 2870-2883.
- Von Maltitz, Graham, Alexandros Gasparatos, and Christo Fabricius. 2014. "The Rise, Fall and Potential Resilience Benefits of Jatropha in Southern Africa" *Sustainability* 6, no. 6: 3615-3643. https://doi.org/10.3390/su6063615.
- Waleed, Fouad, Abobatta. (2021). Jatropha curcas, a Novel Crop for Developing the Marginal Lands.. Methods of Molecular Biology, doi: 10.1007/978-1-0716-1323-8_6.
- Wiluk, Chacuttayapong., Harumi, Enoki., Yusei, Nabetani., Minami, Matsui., Taichi, Oguchi., Reiko, Motohashi. (2021). Transformation of Jatropha curcas L. for production of larger seeds and increased amount of biodiesel.. Plant Biotechnology, doi: 10.5511/PLANTBIOTECHNOLOGY.21.0422B.
- World Bank, 2008.
- Yihunie, Bekalu, Babil. (2021). Environmental, Economical and Social Implication of Jatropha: A Systematic Review. Journal of Resources Development and Management.