مجلة العلوم والتكنولوجيا

مجلّة علميّة تكنولوجيّة محكّمة نصف سنويّة

جامعة الجزائر 1

JOURNAL OF SCIENCES AND TECHNOLOGY

Peer _reviewed academic semestrial Journal

العدد الثامن
ديسمبر 2024

NUMBER 8
DECEMBER 2024

مجلة العلوم والتكنولوجيا
العدد الثامن

الرئـــيس الشرفـــي

أ.د. فارس مختاري: مديــر جـامعة الجزائـر1 بن يـوسف بن خدة، الجزائر.

رئـــــيس التحريـــر

أ.د. إسماعيل اروينة

نائب رئيس التحرير

أ.د. عقبة كزار

تصفـيف وإخــراج

رغيس ناهد

مصلحة المنشورات بجامعة الجزائر1.

مجلة العلوم والتكنولوجيا

مجلة أكاديمية علمية تكنولوجية محكمة سداسية.

جـامعة الجزائــر 1

بن يوسف بن خدة

العدد الثامن

ديسمبر 2024

مجلة العلوم والتكنولوجيا جامعة الجـزائر1

أول إصدار سنة **2019**

- العنوان : 02 شارع ديدوش مراد ، الجزائر

- البريد الإلكتروني: **ouloumwatechnologia@gmail.com**

jstdz2024@gmail.com

الآراء والأفكـار المعبر عنهـا في المقـالات المنشـورة في المجـلة

لا تلزم إلا أصحـابهـا ولا تعبر عن رأي المجلة

رقم الإيداع القانوني : **19-12**

ر د م م : **2716-7674**

الفهـــــــــــرس

الاختصاص	عنوان المقال	المؤلف	الصفحة
الافتتاحية	كلمة رئيس التحرير	ا.د. إسماعيل اروينه	05
الإعلام الآلي	هل كان علماء الحضارة العربية الإسلامية سبّاقين في التأسيس للروبوتيك؟	عبد الله لعريبي	06
بيولوجيا	تحليل الجينوم الكامل in silico لسلالة من البكتيريا الجذرية بحثا عن خصائصها المعززة لنمو النبات.	ضيف القندوز مكلات عتيقة زيتوني عبد الغني	17
تكنولوجيا	تصميم تربينات الرياح الصغيرة اعتمادا على تقييم الإنتاج السنوي للطاقة لمختلف مناطق التركيب	دباش محمد	33
جيولوجيا	شطوط وسباخ الصحراء الجزائرية ثروة اقتصادية مهملة	حسيني مسعود حسيني محمد العلمي	41
فزياء	مساهمة التأثير الشمسي في مصابيح LEDs و الاستجابة في مجال القياسات الطيفية	كمال رميدي جمال قنديل مراد حدادي	53
كيمياء	شفاء الجروح والتأثيرات المسكنة للألم لزيت نبات القرطوفة Brocchia cinerea في الحيوانات التجريبية	كاملي عبد الكريم فقيري مريم زرقاط احسان امينة لكاش زينب	62
رياضيات	حول وجود حلول لمسألة حدية كسرية حدية متعلقة بالمشتق الكسري بمفهوم كابيتو و بإستخدام طريقة التغاير	أمينة بوسنة	71

الافتتــاحية، كلمة رئيس التحرير

هاهو العدد الثامن من مجلّة العلوم والتكنولوجيا يصدر عن جامعة الجزائر 1 بن يوسف بن خدّة في شهر ديسمبر 2024 بميادينه السّبعة : الإعلام ، رياضيات ، بيولوجيا ، تكنولوجيا ، جيولوجيا، فيزياء، كيمياء ، التي بدأت بها مع عددها التجريبي عام 2019 ، وقد متعنا الأساتذة الباحثون في هذا العدد ببحوث محكّمة شيّقة يمكن الاطلاع عليها في فهرس العدد.

والمجلة إذا تسجّل لهيئتها من كتّاب ومحرّرين ومحكّمين وكل من ساهم في المجلة بأي شكل كان هذا الاهتمام والحرص على تعميم استعمال اللغة العربية في الميادين العلمية والتكنولوجية فإنها تقدم لهم خالص الشكر والتقدير لهذا الوفاء لمجلّتهم والمنافحة العلمية العمليّة على لغتهم ، لغة القران الكريم التي اصطنع خصومها وإتباعهم حاجزا بل ثغرة بينها وبين هذه الميادين التي هي أساس التطور والازدهار، رغم أنها أجدر اللغات بها مواكبة واستيعابا .

ومن هنا فان أسرة المجلة تقف مشكورة على هذه الثغرة للمساهمة في إزالة هذه الغمّة عن لغة الأمّة، لعّل ذلك يكون إسهامًا عمليا في تعميم استعمال اللغة العربية في الميادين العلمية والتكنولوجية ، بصفتها عنصرا رئيسًا في وحدة امّتنا ونهضتها، فلا أمّة نهضت بغير لغتها

أ.د.إسماعيل اروينه

رئيس تحرير المجلة

هل كان علماء الحضارة العربية الإسلامية سبّاقين في التأسيس للروبوتيك؟

Were the Scholars of Islamic Arab Civilization Pioneers in the Foundation of Robotics?

عبد الله لعريبي [1]

[1]المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات بالحراش، دائرة الهندسة المدنية (الجزائر)، abdallah.laribi@g.enp.edu.dz

تاريخ الإرسال: 2024/12/16 تاريخ القبول:21 /2024/12 تاريخ النشر: ديسمبر /2024

الملخّص:

شهدت الإنسانية، في العقود الأخيرة، تحوّلات كبرى بفضل التكنولوجيات الجديدة، كالروبوتيك وتكنولوجيا النانو والذكاء الاصطناعي وتحليلات البيانات الضخمة، وغيرها. وتُعدُّ الروبوتيك من التكنولوجيات المتقدمة التي غيّرت مجرى حياة الإنسان، وطبَعتها بالمزيد من الراحة والرفاهية، ومكّنته من انجاز العديد من المهام بسهولة ويسر ودقّة وإتقان.

تهدف هذه الدراسة، التي استعملنا فيها المراجع العربية والأجنبية، القديمة والحديثة، إلى بيان كيف كان علماء الحضارة العربية الإسلامية سبّاقين في التأسيس للروبـوتيك، بفضل "علم الحيل" أو "علم الآلات"، الذي يهدف إلى استعمال الحيلة مكان القوّة، والعقل بدل العضلات، والآلة مكان البدن.

توصّلنا، من خلال هذا البحث، إلى أنّ علماء الحضارة العربية الإسلامية، أمثال الإخوة بني موسى وبديع الزمان الجزري، الذين أبدعوا في تصميم وإنجاز العديد من الآلات الأوتوماتيكية (ومنها الإنسان الآلي) كانوا سبّاقين في التأسيس لعلم الروبوتيك، الذي ظل علما عربيا لأزيد من أربعة قرون.

الكلمات المفتاحية: الحضارة الإسلامية، علم الحيل، بنو موسى، الجزري، الروبوتيك.

Abstract:

In recent decades, humanity has witnessed major transformations due to new technologies, such as robotics, nanotechnology, artificial intelligence, big data analytics and others. Robotics is one of the advanced technologies that has changed the course of human life, providing greater comfort and well-being, enabling the completion of many tasks with ease, precision, and excellence.

The aim of this study, which uses Arabic and non-Arabic references, both ancient and modern, is to demonstrate how the scholars of Islamic Arab civilization were pioneers in laying the foundations for robotics, thanks to the "Science of Devices" ("Ilm al-Hiyal") or "Science of Machines" which seeks to use ingenuity in place of strength, intellect instead of muscles, and machines instead of the human body.

Through this research, we have concluded that the scholars of Islamic Arab civilization, such as the Banu Musa brothers and Badi' al-Zaman al-Jazari, who excelled in designing and constructing many automatic machines (including the robot) were pioneers in establishing the science of robotics, which remained an Arab field for more than four centuries.

Keywords: Islamic civilization, Science of devices, Banu Musa, Al-Jazari, Robotics.

المؤلف المرسل: عبدالله لعريبي، الإيميل المهني- abdallah.laribi@g.enp.edu.dz

المدخل Introduction :

في العقود الأخيرة، عرفت الإنسانية تحولات كبرى بفضل التكنولوجيات المتقدمة، كالروبوتيك وتكنولوجيا النانو والذكاء الاصطناعي وتحليلات البيانات الضخمة، وغيرها.

وستتمحور هذه الدراسة، حول الروبوتيك التي غيّرت مجرى حياة الإنسان في كثير من المجالات، وطبعت حياته بالمزيد من الراحة والرفاهية، ومكنته من انجاز العديد من المهام، في الصناعة والزراعة والصحة وغيرها، بسهولة ويسر ودقة وإتقان.

تهدف هذه الورقة البحثية أساسًا إلى الإجابة عن هذا التساؤل الكبير: هل كان علماء الحضارة العربية الإسلامية سبّاقين في التأسيس للروبوتيك؟ وإذا كانوا فعلا سبّاقين في هذا العلم، فما هي دلائل ذلك؟ ومن هم أبرز العلماء الذين تركوا بصماتهم في هذا العلم؟ وما هي أهم عطاءاتهم؟ وغيرها من التساؤلات.

وللإجابة عن هذه التساؤلات، نقدم، في البداية، لمحة تعريفية موجزة عن الروبوتيك، نعرف فيها بعض المصطلحات الأساسية، كالروبوتيك والروبوت، مع بيان أصل الكلمتين.

ونتبع ذلك بعرض نبذة تاريخية عن نشأت هذا العلم، في أشكاله البدائية الأولى، منذ ما قبل الميلاد إلى ما بعد العصر الذهبي للحضارة العربية الإسلامية، مع التعليق على مساهمة المسلمين في هذا المجال.

كما تطرقنا إلى مساهمة علماء الحضارة العربية الإسلامية في العلوم الأساسية وعلوم الطبيعة والحياة، وبيّنا ما طوروه فيها وما ابتكروه. وسلطنا الضوء على علم الحيل، وذكرنا العلماء البارزين فيه ومؤلفاتهم وإنجازاتهم المبهرة المؤسسة للروبوتيك، كالإنسان الآلي في الفرقة الموسيقية، وروبوت الوضوء وغيرهما. وعزّزنها بشهادات اعتراف وعرفان لعلماء غربيين كبار في حق علمائنا الذين تركوا بصمات واضحة في التأسيس لعلم الروبوتيك.

1. نبذة تعريفية عن الروبوتيك

1.1. تعاريف

الروبوتيك (Robotics/Robotique) هو العلم الذي يضم مجموع الطرق والتقنيات التي تسمح بتصميم وتصنيع الآلات الأوتوماتيكية والروبوتات.

والروبوتيك حقل معرفي يجمع العديد من العلوم كالميكانيكا والإلكترونيات والمعلوماتية والهندسة وغيرها، وتهدف إلى تصميم وتصنيع آلات قادرة على مساعدة البشر في مجالات متعددة.

الروبوت (Robot) هو " عبارة عن آلة قابلة للبرمجة بواسطة الكمبيوتر، وقادرة على تنفيذ سلسلة معقدة من الإجراءات تلقائيًا" (Oxford English Dictionary, 1989) ، في ميادين كثيرة.

2.1. أصل الكلمتين

ظهرت كلمة "روبوت"، لأول مرة سنة 1920م، في مسرحية (Rossum's Universal Robots)، للكاتب المسرحي التشيكي كارِل تشابيك (1890–1938) Karel Čapek.

وكلمة "روبوت" مشتقة من الكلمة التشيكية (Robota) الدّالة على "العمل الشاق". ومبتكرها هو جوزيف تشابيك Josef čapek، شقيق كارِل، الذي اقترحها لتسمية الآلات الشبيهة بالبشر في مسرحية أخيه (Čapek , 2011).

أما كلمة (Robotics)، فقد استعملها إسحاق أسيموف (1920–1992) Isaac Asimov، عالم الكيمياء الحيوية والروائي الأمريكي (الروسي الأصل)، لأول مرة سنة 1941م، في قصته القصيرة للخيال العلمي"الكذاب!" (Asimov, 1941).

وتجدر الإشارة إلى أن أسيموف لم يكن مدركًا، في البداية، أنه أول من أطلق كلمة (Robotics)، لأنه افترض أنّ المصطلح موجود بالفعل، كمصطلح "الميكانيكا"، وغيره من المصطلحات الدالة على فروع العلوم التطبيقية.

2. نبذة تاريخية عن الروبوتيك

رغم أن كلمة الروبوتيك كلمة حديثة، ظهرت سنة 1941م، إلا أن ما تعنيه من أنشطة علمية وتقنية خاصة بالآلات ذاتية الحركة، عرفها الإنسان منذ القديم.

ونعرض في الآتي أهم هذه الأنشطة مع التعليق عليها، منذ ما قبل القرن الثالث قبل الميلاد إلى غاية سنة 1560م، لأن هذه الحقبة الزمانية كافية لتغطية مرحلة مساهمة العلماء المسلمين في الأعمال المؤسِّسة للروبوتيك.

– **القرن الثالث قبل الميلاد وما قبله:** يزعم الكاتب لي تزي Lie Zi أن المهندس الصيني يان شي Yan Shi يقدم للملك مو حاكم تزو (1023–957 ق.م.) King Mu of Zhou شخصية على هيئة إنسان وبالحجم الطبيعي من صنعه.

– **القرن الأول الميلاد يوما قبله:** ذكر هيرون الإسكندري Heron of Alexandria في (Pneumatica and Automata) أوصاف لأكثر من مائة آلة وجهاز آلي.

– **حوالي 420 قبل الميلاد:** صنع أرخيتاس التارانتومي Archytas of Tarentun حمامة خشبية تطير لما تدفع بالبخار.

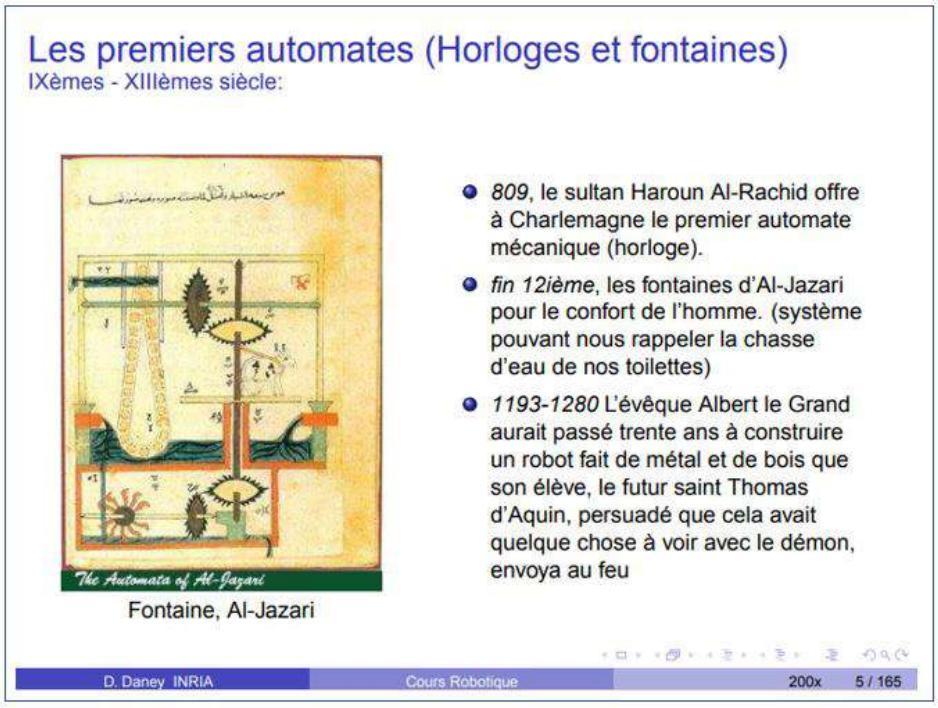
– **1206م: صنع** الجزري آلات شبيهة بالبشر وقابلة للبرمجة، كالفرقة الموسيقية، وروبوت غسل اليدين والطاووس المتحرك الآلي.

– **1495م:** صمم ليوناردو دا فينشي Leonardo da Vinci الفارس الميكانيكي، وهو روبوت شبيه بالإنسان.

– **1560م:** صنع جيانيلو ديلا توري Gianello della Torre روبوت الراهب الميكانيكي بأقدام ميكانيكية وعيون وشفتين ورأس نابضة بالحركة.

نستنتج مما سبق بأنّ الإنشاء الباكر لآلات شبيهة بالبشر والقابلة للبرمجة، ظهر سنة 1206م، على يد العالم العربي المسلم الجزري، بفضل ما صنعه من روبوتات، كروبوت الوضوء وروبوتات الفرقة الموسيقية، مما يدل على فضل الجزري في التأسيس الباكر للروبوتيك.

يرى ديفيد داني David Daney أنّ الساعة التي أهداها الخليفة هارون الرشيد إلى شارلمان Charlemagne سنة 809م، تمثل أول آلة ذاتية الحركة (Automaton/Automate) في التاريخ، صنعها العلماء المسلمون (الصورة1). ونلاحظ أن داني اكتفى بذكر نافورة الجزري، علمًا بأنّ للجزري آلات أخرى تُصنف ضمن الروبوتات، كما سبقت الإشارة إليها.



الصورة 1.الشريحة الخامسة من (Cours de Robotique fondamental)، (داني، 2012).

ونستنتج كذلك أنّ المدة الزمنية، الممتدة من زمن ساعة الخليفة هارون الرشيد إلى زمن روبوت الأسقف ألبرت الكبير، كانت فيها "الروبوتيك" علما وصناعة عربية بامتياز، لأزيد من أربعة قرون!

3. ماذا قدّم علماء الحضارة العربية الإسلامية للإنسانية؟

يمكن تقسيم إسهامات العلماء المسلمين في العلوم الأساسية وعلوم المادة والحياة إلى قسمين كبيرين:

– القسم الأول يمثّل تطوير العلوم المتداولة آنذاك من طب، وفيزياء، وبصريات، وهندسة، وجغرافيا، وفلك، وغيرها.

– ويمثّل القسم الثاني ما ابتكره العلماء المسلمون من علوم جديدة من كيمياء، وصيدلة، وميكانيكا، وجبر، وجيولوجيا، وغيرها.

والذي يهمنا، في هذه الدراسة، هو ما ابتكره العلماء المسلمون في الميكانيكا، التي كانت تعرف عندهم بعلم الحِيّل، والذي ألّفوا فيه كتبا قيمة، نذكر منها:

– "**كتاب الحيل**" لبني موسى بن شاكر (ق. 9م)، وهو أول الكتب المؤلفة في علم الحيل، ومن أهمها.

-- "**كتاب الأسرار في نتائج الأفكار**" لابن خلف المرادي الأندلسي (ق. 11م)، الذي وصف فيه الساعات المائية والآلات ذاتية الحركة (Djebbar, 2001).

– "**كتاب علم الساعات والعمل بها**" لفخر الدين رضوان الساعاتي الخراساني (ت. نحو 618هـ/1221م)، الذي أوضح فيه علم الساعات، وقدم شروحا وافية في كيفية صناعتها.

– "**الجامع بين العلم والعمل النافع في صناعة الحيل**" للجزري، وهو من أهم الكتب في التنظير والتدبير في صناعة الآلات.

– "**الطرق السنية في الآلات الروحانية**" لتقي الدين بن معروف الدمشقي (ق. 10هـ/ ق. 16م)، الذي احتوى لأول مرة في تاريخ العلم على مفهوم الرسم الهندسي الحديث ذي المساقط (حربي، 2017). وفي الكتاب وصف دقيق ومصوّر لبعض الآلات، مثل الساعة الفلكية الميكانيكية، والآلات الخاصة بجرّ الأثقال، والفوارات المختلفة الأشكال والأوضاع، وحيل رفع الماء، وغيرها.

وفي الآتي، سنبسط القول قليلا حول بعض مساهمات الإخوة بني موسى وابن خلف المرادي والجزري، باعتبارهم من أبرز العلماء المسلمين المبدعين في علم الحيل، بفضل ما صمموه وأنجزوه من آلات ذاتية الحركة وروبوتات.

4. علم الحيل

إن الغاية من علم الحيل هي "الحصول على الفعل الكبير من الجهد اليسير"، أي استعمال الحيلة مكان القوة، والعقل بدل العضلات، والآلة مكان البدن (السرجاني ،2010).

وعلم الحيل، بهذا المعنى، هو "علم الآلات" (الوصف، والبناء، وشرح مختلف التطبيقات وغيرها)، فهو إلى الروبوتيك أقرب من الميكانيكا بالمفهوم العام.

1.4. الإخوة بنو موسى وعلم الحيل

الإخوة بنو موسى، محمد وأحمد والحسن (ق. 3هـ/ق. 9م)، تكفل بهم الخليفة المأمون (170 هـ – 218 هـ / 786–833 م) بعد وفاة أبيهم وهم صغار، فنشأوا في بيت الحكمة ببغداد في جو مشبع بالعلم (حربي، 2017).

برعوا في الرياضيات، والهندسة، والفلك، وعلم الحيل. ولهم عدة مؤلفات أشهرها "كتاب الحيل لبني موسى بن شاكر"، الذي فيه توصيف دقيق ورسم لمائة آلة ميكانيكية، مع بيان طرائق صنعها وتشغيلها، ومجالات استعمالها.

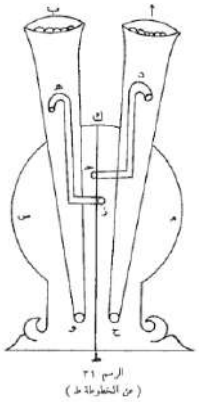
وآلات الإخوة بني موسى أكثر تعقيدا من الآلات التي ذكرها العلماء اليونانيون، سواء من حيث طبيعة آليتها أو من حيث عدد المبادئ الميكانيكية التي تتدخل في تركيبة كل آلة واشتغالها (جبار، 2011).

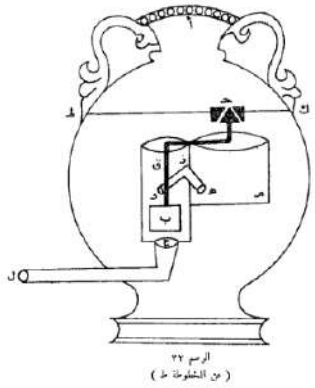
وحظي كتاب الحيل، الذي طبع لأول مرة سنة 860م بدار الحكمة ببغداد، باهتمام كبير من الغربيين والمسلمين، فقام دونالد هيل Donald Hill بترجمته إلى الإنجليزية سنة 1979، وحققه أحمد يوسف حسن وآخرون سنة 1981.

ولبيان بعض الجوانب المتنوعة والمثيرة للإعجاب في اختراعات الإخوة بني موسى، نذكر اختراعين، من بين اختراعاتهم المائة في علم الحيل:

– **القمقم المسكون:** إناء مثير للدهشة والإعجاب، مصنوع برأسين (الشكل 1)، إذا صُبّ الشاي في أحدهما، والقهوة في الآخر لا يختلط المشروبان. وعند صبهما من الإناء، فإنّ الشاي يخرج من الرأس الذي صُبّت فيه القهوة، والعكس بالنسبة للقهوة، فستخرج من الرأس الذي صُبّ فيه الشاي.

– **الجرّة الصديقة للبيئة:** صمّمت هذه الجرّة (الشكل 2) بحيث يخرج الماء منها بمقدار محدد عند فتح الصنبور، ثم ينقطع، وبعد فاصل زمني معين ينساب الماء مجددًا. يتكرر هذا الأمر حتى يفرغ محتوى الجرّة من الماء. وذلك يُشبه ما نراه عادة في مغاسل الحمّامات العامة الحديثة (الحسني، 2011).





الشكل 1. القمقم المسكون (بنو موسى، 1981). الشكل 2. الجرّة الصديقة للبيئة (بنو موسى، 1981).

يرى أحمد يوسف الحسن، محقق كتاب الحيل، أن بني موسى انفردوا عمن سبقوهم ممن كتبوا باليونانية، وتميزوا عمن تلاهم من العلماء العرب والمسلمين بتصاميمهم المتعلقة بالتحكم الآلي.

ويُعدّ الإخوة بنو موسى أول فريق علمي في العالم، لكونهم اشتغلوا مع بعض في حقول معرفية مشتركة كالرياضيات والفلك وعلم الحيل والجغرافيا.

2.4. ابن خلف المرادي الأندلسي

شرح ابن خلف المرادي الأندلسي (ق. 5هـ. /ق. 11م.)، في كتابه " الأسرار في نتائج الأفكار"، كيفية تركيب ما يقرب من خمسة وثلاثين آلة ميكانيكية.

ويَعتبر دونالد هيل، المهندس الإنجليزي ومؤرخ العلوم والتكنولوجيا، بأن ابن خلف المرادي هو أول مبتكر لخمس آلات ذاتية الحركة، التي تعد الأهم في تاريخ التقنية (Hill, 2014).

ومن أمثلة الآلات ذاتية الحركة التي ابتكرها ابن خلف المرادي الأندلسي، "منصة آلية" في جامع قرطبة الكبير، تنفتح من تلقاء نفسها وتتيح تناول نسخة من القرآن الكريم وقراءتها دون أن تمسها الأيدي، وهذه المنصة موضوعة على رف متحرك بواسطة سيور وآليات خافية عن الأنظار. وتضمن كتاب المرادي شرحًا وافيًا لتقنية أخرى متقدمة، يتم فيها تحريك جدران مقصورة الخليفة آليّا، بقصر جبل طارق، عن طريق تجهيز قاعة محركات بجوار المقصورة (حربي، 2017).

3.4. بديع الزمان الجزري

بَدِيعُ الزَمان الجَزَرِي (1136–1206م)، عالم عربي مسلم، وُلد في منطقة جزيرة ابن عمر التي تقع اليوم في الأقاليم السورية الشمالية على نهر دجلة. يُعدّ من أعظم المهندسين المخترعين في التاريخ، يُوصف بأنه "أبو الروبوتات" (Elices, 2020) .

من إنجازاته الكبرى تصميم آلات كثيرة ذات أهمية كبيرة، كثير منها لم يكن معروفا من قبل. ومنها: آلات رفع الماء، وساعات مائية ذات نظام تنبيه ذاتي، وصمامات تحويل، وأنظمة تحكم ذاتي، وغيرها مما شرحه في مؤلفه الرائع "الجامع بين العلم والعمل النافع في صناعة الحيل"، الغني بالشروح التفصيلية والرسوم التوضيحية لطرائق تركيبها وصنعها وتشغيلها.

وجاء تأليف هذا الكتاب، الذي يمثل عصارة عمل دؤوب استمر 25 عاما، تلبية لطلب سلطان ديار بكر بتركيا، ناصر الدين محمود بن أرتق، الذي قال للجزري: "لقد صنعت أشكالا عديمة المثال، وأخرجتها من القوة إلى الفعل، فلا تضيّع ما تعبت فيه وشيّدت مبانيه، وأحب أن تصنف كتابا ينتظم وصف ما تفرّدت بتمثيله وانفردت بوصف تصويره وتشكيله." (الحسني، 2011).

5. صناعة الساعات

شغلت معرفة الوقت وكيفية تحديده الإنسان منذ فجر التاريخ لحاجته الملحة إلى تنظيم حياته والاستفادة من وقته. فبَدأ يسعى لمَعرفة الوقت باستخدام وسائل مُختلفة، وعمل على تطويرها وتَحسينها بدءًا بالساعات الشمسية والساعات المائية والساعات الميكانيكية وصولا إلى الساعات الذكية الحديثة.

وسنتوقف قليلا عند ساعتين لهما ارتباط وثيق بالروبوتيك، الساعة الأولى هي التي أهداها الخليفة هارون الرشيد (149-193هـ/766–809م) إلى شارلمان (740–814م) ملك الفرنجة، والثانية هي ساعة الفيل المبهرة التي صنعها الجزري.

1.5. ساعة هارون الرشيد

يُذكر أنّ الساعة المائية التي أرسلها الرشيد إلى شارلمان، مصنوعة من النحاس الأصفر بارتفاع نحو أربعة أمتار، وتتحرك بواسطة قوة مائية. وعند تمام كل ساعة يسقط منها عدد من الكرات المعدنية يتبع بعضها البعض الآخر بحسب عدد الساعات فوق قاعدة نحاسية، فتحدث رنينًا جميلًا. كانت الساعة مصمَّمة بحيث يُفتح باب من الأبواب الاثني عشر المؤدية إلى داخل الساعة، ويخرج منه فارس يدور حول الساعة

ثم يعود إلى المكان الذي خرج منه. وعندما تحين الساعة الثانية عشر يخرج اثنا عشر فارسًا مرة واحدة، يدورون دورة كاملة ثم يعودون من حيث أتوا، وتغلق الأبواب خلفهم.

أثارت الساعة دهشة الملك وحاشيته، واعتقد الرهبان أنّ في داخل الساعة شيطان يسكنها ويحركها. فجاؤوا إلى الساعة أثناء الليل، وأحضروا معهم فؤوسا وحطموها إلا أنهم لم يجدوا بداخلها شيئا سوى آلاتها. حزن الملك شارلمان حزنًا بالغًا، واستدعى حشدًا من العلماء والصناع المهرة لمحاولة إصلاح الساعة وإعادة تشغيلها، لكن المحاولة فشلت (منصور، 2011).

إنّ تصميم هذه الساعة، من حيث آلية حركتها، يدل بوضوح على أنها آلة ذاتية الحركة، لذلك اعتبرها الباحث ديفيد داني، أول آلة ذاتية الحركة في التاريخ من صنع العلماء المسلمون، كما أشرنا إلى ذلك من قبل.

2.5. ساعة الفيل

صنع الجزري ساعة الفيل البديعة سنة 1206م مستخدمًا علامات وأشكالا تعبّر عن الاحتفاء بتنوع الثقافات والحضارات وبعالمية الإسلام. فاستخدم قاعدة أرخميدس الإغريقي، الطاسة المائية الهندية، وفيل هندي، وطائر العنقاء المصري، وروبوتات عربية معممة، وسجاد فارسي، وتنينات صينية (الحسني، 2011).

تعمل ساعة الفيل (الصورة 2) بالكيفية التالية: تعوم الطاسة المثقوبة في حاوية مليئة بالماء في بطن الفيل، ولدى امتلائها تدريجيا تغوص ببطء وتميل، ساحبة في الوقت نفسه ثلاثة حبال مربوطة بها، فتطلق الحبال آليات تتحكم بثلاثين كرة تنطلق انفراديا، فتحرك التنين، ثم ربوت الكاتب الدوار، ثم عتلات ترفع الطاسة من جديد.. وهكذا دواليك (الحسني، 2011).

الصورة 2. ساعة الفيل (الجزري،1979)

تتميز ساعة الفيل العجيبة بمشاركة ثلاثة روبوتات في آلية عملها:

– **روبوت السلطان**، المتواجد في أعلى القلعة، يميل ويحرك ذراعيه ليكشف عن الصقر، الذي يتلقى الكرة ليحولها إلى التنين، الذي ينحني بدوره إلى الأسفل.

– **روبوت الفيال**، سائق الفيل، يحرك ذراعيه عندما تسقط الكرة من التنين إلى المزهرية.

– **روبوت الكاتب**، الجالس داخل الهودج، يدور مشيرا بعصاه إلى مرور نصف ساعة من الوقت، ثم يعود إلى وضعه السابق.

توجد نماذج لساعة الفيل، التي لا تزال تُبهج الجمهور حتى اليوم، معروضة في متحف آلات قياس الوقت بسويسرا، ومجمع ابن بطوطة للتسوق في دبي، ومعهد تاريخ العلوم العربية الإسلامية بفرانكفورت بألمانيا، وفي جامعة الملك سعود بالسعودية، وفي تركيا.

6. الإنسان الآلي

أما في مجال الإنسان الآلي، فإنه من المثير والمدهش أن الجزري يُعدّ أول من صنع الإنسان الآلي في التاريخ، لما طلب منه أحد الخلفاء أن يصمم له آلة ميكانيكية يستخدمها في الوضوء بدلا من الخادم، فصمم له الجزري آلة على هيئة غلام منتصب القامة (الصورة 3)، يحمل في يده اليمنى إبريق ماء، وفي اليسرى منشفة ويقف على عمامته طائر آلي، فإذا حان وقت الصلاة غرّد الطائر فيتقدم الغلام ويصب الماء بقدر معين من الابريق، حتى إذا انتهى الخليفة من وضوئه قدم له الغلام المنشفة، ثم يعود إلى مكانه تلقائيا!" (حربي، 2017).

وهناك اختراع آخر للجزري، يعتبره بعض مؤرخي العلوم، بأنه أول "إنسان آلي" قابل للبرمجة في التاريخ، صنعه الجزري خصّيصا لتسلية ضيوف البلاط الملكي في ديار بكر، وهو مصمم على شكل قارب (الصورة 4)، يحمل على متنه موسيقيين (عازف قيثارة وعازف ناي وعازفي طبول) لتشغيل الموسيقى للترفيه، ويمكن برمجة الآلية التي تحرك قارعي الطبول لتعزف إيقاعات مختلفة (Elices, 2020).

الصورة 3. روبوت الوضوء (الجزري،1979). الصورة 4. روبوتات الفرقة الموسيقية (الجزري،1979).

وعلق المؤرخ مارك إ. روشيم Mark E. Rosheim على هذا الاختراع الأخير قائلا: "على عكس الإغريق، فإنّ الأمثلة العربية للإنسان الآلي لا تعكس تطورًا مفصليًا في التصميم فحسب، بل تعكس توجهًا لاستخدام الموارد المتاحة لراحة الإنسان" (Rosheim, 1994).

وسواء اعتبرنا الاختراع الأخير كأول إنسان آلي في التاريخ، أو اعتبرنا الذي قبله، فالأمر سيان لأنهما من تصميم وصنع بديع الزمان الجزري، الذي ذكرهما في كتابه "الجامع بين العلم والعمل النافع في صناعة الحيل".

7. شهادات اعتراف وعرفان

يلخص روشيم التطورات التي حققها المهندسون المسلمون في الروبوتات، وخاصة الجزري، على النحو التالي: "وهكذا، فإنّ أكبر مساهمة قدّمها العرب، إلى جانب الحفاظ على عمل الإغريق ونشره والبناء عليه، كان مفهوم التطبيق العملي. كان هذا هو العنصر الأساسي الذي كان مفقودًا في علم الروبوتات اليوناني." (Rosheim, 1994).

ويقول دونالد هيل: "من المستحيل أن نتجاهل أهمية عمل الجزري في تاريخ الهندسة. وحتى عصرنا الحاليّ، لا توجد أي وثيقة أخرى من أي منطقة قابلة للمقارنة مع هذه الكمية الهائلة من التعليمات والشروحات عن تصميم وتجميع الآلات." (Hill, 2014).

الخلاصة Conclusion:

من خلال هذه الدراسة توصلنا إلى الخلاصة الآتية:

– أنّ علماء الحضارة العربية الإسلامية كانوا سبّاقين في التأسيس لعلم الروبوتات أو الروبوتيك، من خلال ما صمموه وأنجزوه من آلات ذاتية الحركة مبهرة، وصف العلماء الغربيون بعضها بأنها تمثل أول روبوت قابل للبرمجة في التاريخ.

– أنّ الروبوتيك ظلت علما وصناعة عربية لأزيد من أربعة قرون، بفضل ما أبدعه علماؤنا في العصر الذهبي للحضارة العربية الإسلامية، في مجال "علم الحيل" أو "علم الآلات"، من خلال الإسهامات المتميزة للإخوة بني موسى، وابن خلف المرادي، وفخر الدين رضوان الساعاتي، وتقي الدين بن معروف، وخاصة الجزري الذي لُقب بحق "أبو الروبوتيك".

– وهناك نتائج أخرى في غاية الأهمية توصلنا إليها، يمكن العودة إليها في دراسات لاحقة.

المراجع References:

- المراجع باللغة العربية

1. بنو موسى بن شاكر (1981)، كتاب الحيل، تحقيق أحمد يوسف الحسن واخرون، معهد التراث العلمي العربي، حلب، سوريا.

2. جبار أحمد (2011)، علماء الحضارة العربية الإسلامية ومساهماتهم، كليك للنشر، الجزائر.

3. الجزري بديع الزمان (1979)، كتاب الجامع بين العلم والعمل النافع في صناعة الحيل، منشورات جامعة حلب، سوريا.

4.الحسني سليم (2011)، ألف اختراع واختراع .. التراث الإسلامي في عالمنا، كتاب جماعي، مؤسسة العلوم والتكنولوجيا والحضارة، المملكة المتحدة.

5. حربي خالد (2017)، علوم الفيزياء التطبيقية والهندسة الميكانيكية في التراث والحضارة الإسلامية، الطبعة الأولى، دار الوفاء للطباعة والنشر، الإسكندرية، مصر.

6. السرجاني راغب (2010)، ماذا قدم المسلمون للعالم .. إسهامات المسلمين في الحضارة الإنسانية، ج1، الطبعة الخامسة، مؤسسة اقرأ للنشر والتوزيع، القاهرة، مصر.

7. منصور عبد الحكيم (2011)، هارون الرشيد المفتري عليه، دار الكتاب العربي، دمشق–القاهرة.

- المراجع باللغة الأجنبية

8. Asimov Isaac (1941), Liar!, in Analog Science Fiction and Fact, USA.

9. Čapek Karel (2011) (trad. Jan Rubes), R.U.R. : Rossum's Universal Robots, Éditions de La Différence. France.

10. Daney David, Cours de robotique fondamental, https://fr.slideshare.net/slideshow/robotique/13845044, 2 aout 2012.

11. Djebbar Ahmed (2001), Une histoire de la science arabe, Éditions du Seuil, Paris, France.

12. Elices Jorge, Ismail al-Jazari, the Muslim inventor whom some call the 'Father of Robotics', https://www.nationalgeographic.com/history/history-magazine/article,July 30, 2020

13. Hill Donald (2014), Islamic Science and Engineering, Edinburgh University Press, UK.

14. Rosheim Mark E. (1994), Robot Evolution: The Development of Anthrobotics, Wiley, USA.

تحليل الجينوم الكامل *in silico* لسلالة من البكتيريا الجذرية بحثا عن خصائصها المعززة لنمو النبات.

in silco Whole Genome Analysis of Rhizobacterial Strain for Plant Growth-Promoting Traits

ضيف القندوز [1]، مكلات عتيقة [2]، زيتوني عبد الغني [3]

[1] قسم العلوم الطبيعية، المدرسة العليا للأساتذة –الأغواط- (الجزائر)، g.dif@ens-lagh.dz

[2] المدرسة العليا للأساتذة – القبة (الجزائر)، atika.meklat@g.ens-kouba.dz ، **مخبر بيولوجيا الأنظمة الميكروبية**

[3] المدرسة العليا للأساتذة-القبة (الجزائر)، zitouni_abdelghani@yahoo.fr

تاريخ الإرسال: 2024/10/14 تاريخ القبول:2024/11/27 تاريخ النشر: ديسمبر/2024

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى إجراء تحليل جينومي شامل لسلالة بكتيرية جذرية للكشف عن الجينات التي تسهم في تعزيز نمو النبات وتفعيل المكافحة البيولوجية ضد مسببات الأمراض التي تمثل تهديداً كبيراً للأمن الغذائي العالمي. تم في هذه الدراسة استخدام سلالة البكتيريا (S1) التي عُزلت من جذور نبات الطماطم. أثبتت التحليلات التصنيفية الجزيئية باستخدام منصة TYGS التقارب الوراثي لهذه السلالة مع نوع *Pseudomonas putida*. تم لاحقاً تحليل جينوم السلالة S1 عبر عدة أدوات بيو -معلوماتية، حيث استخدم خادم RAST لدراسة الجينات المرتبطة بالفئات الوظيفية(COG) ، وبرنامج Prokka لتحديد الجينات المسؤولة عن آليات تعزيز النمو والمكافحة البيولوجية، كما تم استخدام أداة antiSMASH لاستكشاف المجموعات الجينية المسؤولة عن نواتج الأيض الثانوية. كشفت نتائج التحليل الجيني للسلالة S1 عن وجود جينات بتكرار ملحوظ مرتبطة بالاستجابة للإجهاد، واستقلاب الفوسفور، واكتساب الحديد، كما أظهرت الدراسة وجود جينات مسؤولة عن الحركة وتحديد الاتجاه الكيميائي .(Motility and chemotaxis) بالإضافة إلى ذلك، تم اكتشاف جينات تُشفر لتثبيت الأزوت بواسطة إنزيم النيتروجيناز، وجينات أخرى تسهم في إذابة الفوسفور غير العضوي. وُجدت أيضًا جينات لتركيب لواقط الحديد (Siderophore) والمركبات العضوية الطيارة (VOCs) التي تحفز تكوين الجذور وزيادة مقاومة النبات للأمراض وتحمل الجفاف. ومن خلال التحليل الجيني، تم تحديد جينات مهمة لتحمل الإجهادات، مثل betA و bet B الضرورية لتخليق مركبglycine-betaine ، بالإضافة إلى جينات تُشفر لإنتاج إنزيمات مضادة للأكسدة مثل(Superoxide dismutase) SOD ، البيروكسيداز (POXs) ، والكاتلاز .(CAT) كما تم

المؤلف المرسل: ضيف القندوز ، الإيميل المهني: g.dif@ens-lagh.dz

الكشف عن عدة مجموعات جينية مسؤولة عن إنتاج مركبات أيضية ثانوية تلعب دوراً مهماً في المقاومة البيولوجية كمضادات حيوية ضد الممرضات، وأهمها NRPS و Bacteriocin. تؤكد هذه النتائج على الإمكانيات الواعدة للسلالة S1 كمرشح لتعزيز نمو النبات بطرق بيولوجية.

الكلمات المفتاحية: التحليل الجينومي، تعزيز نمو النبات، المقاومة البيولوجية، *Pseudomonas*

Abstract

This study aims to conduct a comprehensive genomic analysis of a rhizobacterium to identify genes associated with plant growth promotion and biological control of pathogens, which are major contributors to global food security challenges. In this study, a bacterial strain, designated S1 and isolated from the roots of tomato plants, was analyzed. Molecular taxonomic evaluation through the TYGS platform established the genetic proximity of strain S1 to *Pseudomonas putida*. The subsequent genomic analysis of S1 was performed through multi-level bioinformatics approaches. Initially, gene functions were categorized using RAST-Server to study clusters of orthologous groups (COG), followed by detailed gene annotation via Prokka to identify genes involved in plant growth and pathogen resistance. The antiSMASH tool was further employed to identify gene clusters related to secondary metabolite biosynthesis.The genomic data revealed a relatively high frequency of genes involved in stress response, phosphorus metabolism, and iron acquisition, along with genes controlling motility and chemotaxis. Nitrogen fixation genes encoding nitrogenase were also present, alongside genes associated with inorganic phosphorus solubilization. Additionally, siderophore-related genes and genes encoding for volatile organic compounds (VOCs) were identified, which play crucial roles in root development, enhanced disease resistance, and improved drought tolerance. Stress tolerance genes, such as bet A and bet B, essential for synthesizing glycine-betaine, and antioxidant enzyme genes like superoxide dismutase (SOD), peroxidase (POX), and catalase (CAT), were also detected, highlighting their importance in mitigating plant oxidative stress. Furthermore, gene clusters responsible for secondary metabolite production, including non-ribosomal peptide synthetase (NRPS) and bacteriocins, were identified, underscoring their potential antimicrobial properties against plant pathogens. These findings collectively emphasize the promising role of strain S1 in promoting plant growth and resilience against environmental stressors and pathogens.

Keywords: Genomic analysis, Plant growth promotion, Biological resistance, Pseudomonas

1. المدخل Introduction :

مع تزايد الطلب العالمي على الغذاء بسبب ارتفاع عدد السكان، تبرز الحاجة إلى اعتماد تقنيات زراعية جديدة صديقة للبيئة. ورغم أن الأسمدة الكيميائية تسهم في زيادة الإنتاج الزراعي، فإنها تؤدي تدريجيًا إلى تدهور خصوبة التربة.لذلك، يُعتبر استخدام الأسمدة الحيوية بديلاً بيئيًا واعدًا، حيث تتألف هذه الأسمدة من سلالات بكتيرية مفيدة تُعرف بالبكتيريا المعززة لنمو النبات (PGPR) تمثل هذه الكائنات الدقيقة مجالاً بحثيًا واسعًا، حيث تدرس منذ أكثر من 30 عامًا لفهم آلياتها في دعم النمو النباتي (Goswami et al., 2016) .

تستطيع البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات تحسين نمو النباتات عبر آليات متعددة، مثل إذابة الفوسفات، وإنتاج لواقط الحديد، وتثبيت النيتروجين البيولوجي، إلى جانب إنتاج 1-أمينوسكلوبروبان-1-كاربوكسيلات (ACC) ديميناز، والهرمونات النباتية، والنشاط المضاد للفطريات، والمركبات العضوية المتطايرة(VOCs) ، وتحفيز المقاومة الجهازية، وتعزيز التعايش الميكروبي المفيد. ومع التقدم المستمر في فهم تنوع هذه البكتيريا وآليات عملها، أصبحت PGPR توفر وسيلة فعّالة لتحسين الزراعة وإدارة الأنظمة الزراعية المستدامة (Basu et al., 2021) .

يستخدم الباحثون العديد من البكتيريا الجذرية التكافلية مثل *Rhizobium* ، *Bradyrhizobium* و *Mesorhizobium* وغير التكافلية مثل *Azospirillum* ، *Azotobacter* ، *Klebsiella*، *Bacillus*، *Pseudomonas* و *Azomonas* كملقحات حيوية في الدراسات الحقلية لتحفيز نمو المحاصيل وحمايتها من الأمراض النباتية.

تؤثر العوامل الحيوية وغير الحيوية تأثيرًا كبيرًا على إنتاجية المحاصيل عالميًا، وتشهد الأبحاث اهتمامًا متزايدًا باستخدام البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات PGPR لتحسين تحمل النباتات لهذه الضغوط وتعزيز الإنتاج المستدام. تلعب PGPR دورًا مباشرًا في دعم صحة النباتات عبر تثبيت النيتروجين، وإذابة الفوسفات، وإنتاج الهرمونات النباتية، وكذلك بشكل غير مباشر عبر إنتاج حاملات الحديد، والمضادات الحيوية، ونشاط ACC ديميناز، وتفعيل المقاومة الجهازية المستحثة. كما تسهم هذه الميكروبات في تعزيز مقاومة النباتات للإجهاد بفضل نشاط مضادات الأكسدة الإنزيمية وغير الإنزيمية . (Kumar et al., 2020)

تستهدف هذه الدراسة إجراء تحليل جينومي لبكتيريا جذرية، بهدف تحديد الجينات المرتبطة بخصائص PGPR وتحمل الاجهادات الحيوية واللاحيوية، باستخدام أدوات برمجية حاسوبية موثوقة ومعتمدة أكاديمياً لتحليل الجينوم.

2. المواد والطرائق Materials and methods

1.2. الأدوات المستخدمة

الموقع الإلكتروني NCBI (National Center for Biotechnology Information) :

هو موقع تابع للمعهد الوطني الأمريكي للمعلومات البيولوجية الجزيئية، ويُمكن الوصول إليه عبر الرابط التالي : https://www.ncbi.nlm.nih.gov ، يعد الموقع قاعدة بيانات مركزية تتيح للباحثين في مجال البيولوجيا الجزيئية الوصول إلى معلومات جينية شاملة ، حيث يتم تخزين المعلومات الجينومية من جميع أنحاء العالم، مما يسهل على الباحثين تحليل البيانات الجينية ومشاركتها.

منصة TYGS:

هي منصة Type Strain Genome Server (http://tygs.dsmz.de)، وتعتبر أداة تصنيفية متقدمة تُستخدم للتعرف على بدائيات النوى وتصنيفها بناءً على تتابعات الجين المشفر لـ 16 S rRNA أو تسلسل الجينوم الكامل (Meier-Kolthoff and Göker, 2019). تعتمد المنصة على أداة البحث BLAST (Basic Local Alignment Search Tool)، التي تتيح إجراء بحث ومقارنة بين التسلسلات النيوكليوتيدية لتحديد مدى التشابه بين الأنواع المختلفة.

الخادم المعلوماتي RAST-Server :

هو خادم ويب (https://rast.nmpdr.org) متخصص في تحليل الجينومات البكتيرية، حيث يقدم خدمة مؤتمتة بالكامل لتحديد الجينات وتصنيفها ضمن مجموعات وظيفيةتُعرف بالنظم الفرعية الوظيفية، أو مجموعات البروتينات المتشابهة وظيفيًا COG (Clusters of Orthologous Groups of proteins) (Aziz et al., 2008).

برنامج Prokka :

هو برنامج دقيق ضمن منصة Galaxy (https://usegalaxy.eu) مخصص للتعرف الدقيق على الجينات في الجينوم البكتيريويُستخدم بشكل أساسي في إعداد الجينوم وتحليل تركيبته الجينية (Seemann, 2014).

الخادم المعلوماتي antiSMASH :

هو خادم ويب (https://antismash.secondarymetabolites.org) قائم بذاته، مصمم للتنبؤ بمجموعات الجينات التي تساهم في إنتاج المركبات الأيضية الثانوية في الجينومات البكتيرية (Weber et al., 2015). يوفر antiSMASH البحث عن مركبات الأيض الثانوية التي قد تكون ذات قيمة بيولوجية وصناعية عالية.

2.2. طريقة العمل

تَمَّ تنزيل تتابع جينوم السلالة S1 من قاعدة بيانات الموقع NCBI بصيغة FASTA ثم أجريت عليه مجموعة من المعالجات المعلوماتية الحيوية (Dif and Zitouni, 2023) .

1. **الدراسة التصنيفية الجزيئية للسلالة S1**: تضمنت هذه الخطوة رفع جينوم السلالة S1 إلى قاعدة بيانات TYGSلإجراء الدراسة التصنيفية الجينية (Molecular Identification) عبر تقنية BLAST، التي تعتمد على تتابع القواعد الأزوتية للجينوم الكامل لتحديد النوع البكتيري الأقرب إلى السلالة المدروسة.

2. **المعالجة باستخدام الخادم RAST-Server**: تم في هذه المرحلة تصنيف جينات الجينوم وظيفيًا ضمن أنظمة فرعية وظيفية COG، مع تحديد تواتر الجينات في كل نظام فرعي وظيفي، مما يتيح فهمًا أعمق لوظائف الجينات في الجينوم محل الدراسة.

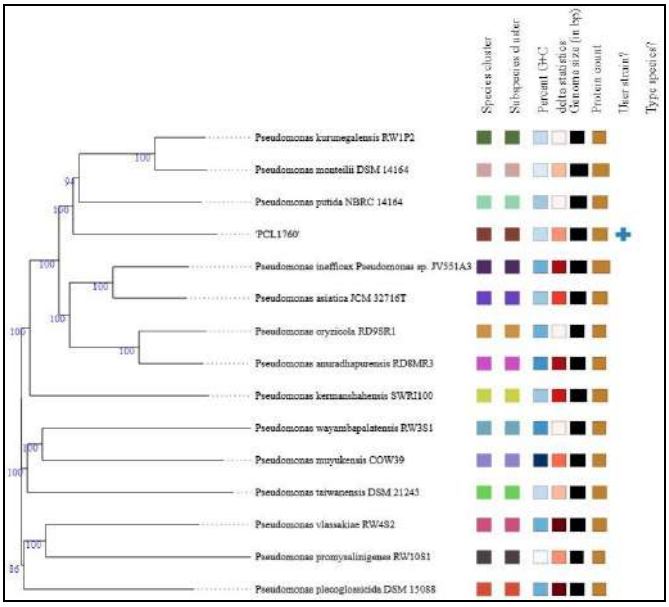
3. **المعالجة باستخدام برنامج Prokka**: تمَّت معالجة البيانات باستخدام برنامج Prokka، مما سمح بالتعرف العميق على الجينات المكوِّنة للجينوم وتحديد الجينات الرئيسية والواعدة المتعلقة بتعزيز نمو النبات وحمايته من الأمراض.

4. **المعالجة باستخدام الأداة antiSMASH**: تهدف هذه المعالجة إلى تحديد المجموعات الجينية (Clusters) في الجينوم المسؤولة عن نواتج الأيض الثانوي المحتملة، والتي قد تلعب دورًا هامًا في البيولوجيا التطبيقية.

3. النتائج Results

1.3. الدراسة التصنيفية الجزيئية للسلالة S1

مكنت الدراسة الجينية ودراسة النسالة (Phylogeny) بتحقيق الـBLAST على قاعدة البيانات TYGS من إثبات تقارب السلالة S1 للنوع البكتيري *Pseudomonas putida* NBRC 14164، كما هو موضح في شجرة التصنيف الوراثي (الشكل 1).



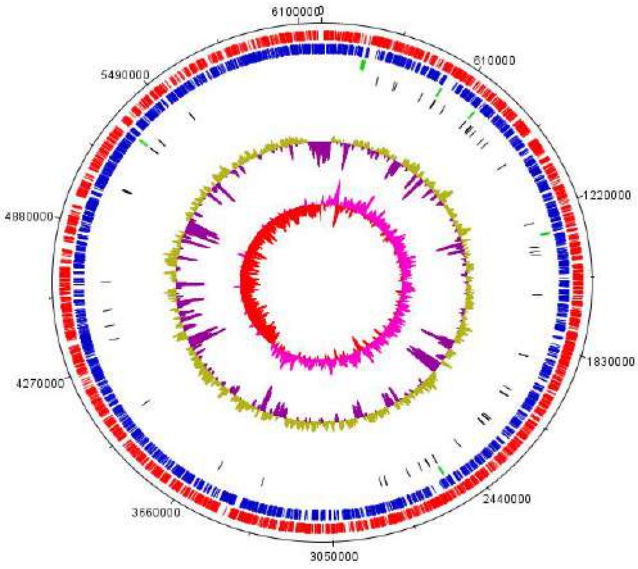
الشكل 1. شجرة التقارب الوراثي على أساس تحليل تتابع الجينوم الكامل للسلالة S1 على المنصة المعلوماتية TYGS

2.3. الملامح العامة للجينوم S1

جينوم السلالة S1 يتألف من 6,002,785 زوجًا من القواعد الأزوتية، مع متوسط محتوى G+C يصل إلى 61.8%. يحتوي الجينوم على 5,325 تسلسلًا مشفرًا(CDS) ، بالإضافة إلى تحديد 23 جينًا يشفر للأحماض النووية الريبية الريبوزومية (rRNA) و79 جينًا يشفر للأحماض النووية الريبية الناقلة (tRNA)، التي تغطي 37 نوعًا من الأحماض الأمينية.يُظهر الجينوم محل الدراسة معدل فراغات قدره 0.0% وحد أقصى لعدد N50، مما يشير إلى جودة عالية للتتابع النيكليوتيدي لهذا الجينوم.كما لم يُعثر على بلازميدات ضمن محتويات هذه السلالة (جدول 1) (شكل 2).

الجدول (1). الملامح العامة لجينوم السلالة S1.

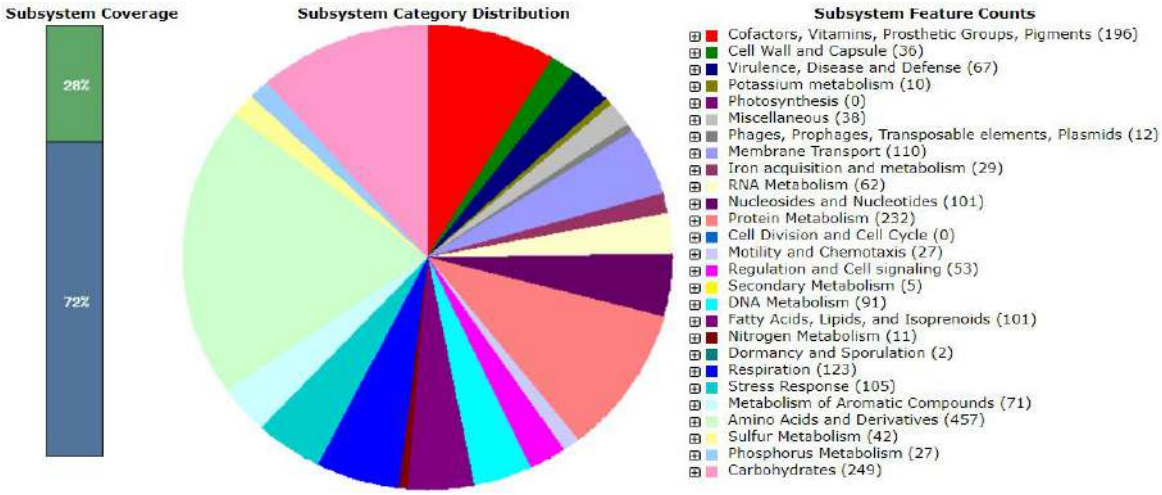
الخاصية	جينوم السلالة S1
الحجم	6,002,785 زوج قاعدة أزوتية
معدلGC	61.8%
عدد التتبعات المشفرة	5,325
عدد جينات tRNA	79
عدد جينات rRNA	23
نسبة الفجوات (Gap Ratio)	%0.0
N50	6,002,785



الشكل 2. تمثيل دائري لجينوم S1. من الدائرة الخارجية إلى الدائرة الداخلية، توجد دائرة 1: CDS على الشريط الأمامي (أحمر)؛ الدائرة 2: CDS على الشريط العكسي (أزرق) ؛ الدائرة 3: الحمض النووي الريبي الريبوزومي: (أخضر) ؛ الدائرة 4: الحمض النووي الريبي الناقل (أسود) ؛ الدائرة 5: محتوى GC (نيلي / بنفسجي) ؛ الدائرة 6: توزع GC (برتقالي / وردي). تم استخدام برنامج DNAPlotter لتحقيق هذه الخريطة.

3.3. الجينات المرتبطة بالفئات الوظيفية (COG)

يوضح الشكل (3) توزيع الجينات المرتبطة بالفئات الوظيفية (COG) في جينوم السلالة .S1 ومن خلال عملية التحليل الجيني (Annotation) باستخدام خادمRAST ، تم تحديد 27 فئة وظيفية أو أنظمة فرعية وظيفية. يظهر في الشكل (3) أن هناك تواترًا جينًيا ملحوظًا بالنسبة للجينات المرتبطة بميتابوليزم الآزوت (Nitrogen metabolism) ، وكذلك للجينات المتعلقة بالاستجابة للإجهاد (Stress Response) وميتابوليزم الفوسفور .(Phosphorus metabolism) كما تشير النتائج إلى وجود جينات مسؤولة عن الحركة والكيماوّية (Motility and chemotaxis) ، مما يوحي بقدرة السلالة على الحركة.



الشكل (03). تمثيل الجينات حسب الفئات الوظيفية (الأنظمة الفرعية) الناتجة عن التحديد الجيني على الخادم RAST لجينوم S1.

4.3. الجينات المرتبطة بتعزيز نمو النباتات وتحمل الإجهاد في جينوم S1

أتاح التحليل الجيني لجينوم السلالة S1 باستخدام برنامج Prokka الكشف عن مجموعة من الجينات المرتبطة بآليات تعزيز نمو النبات وتحمل الإجهاد. نورد فيما يلي أبرز هذه الجينات:

1.4.3 الجينات المشاركة في تحمل الإجهاد

أظهر التحليل الجينومي لجينوم السلالة S1 باستخدام برنامج Prokka وجود عدد كبير من الجينات الهامة التي تشفر لإنزيمات وبروتينات تسهم بشكل كبير في تعزيز قدرة النباتات على تحمل الإجهادات الحيوية واللاحيوية. من أبرز هذه الجينات:

- **إنزيم حمض 1-أمينوسيكلوبروبان-1-كربوكسيليك (ACC) ديامیناز** : يلعب هذا الإنزيم دورًا أساسيًا في تقليل تراكم هرمون الإيثيلين، الذي يرتفع تركيزه في النباتات عند تعرضها للإجهاد. تقوم بعض الكائنات الحية الدقيقة في التربة بإنتاج إنزيم ACC deaminase الذي يحلل طليعة الإيثيلين(ACC) ، مما يؤدي إلى تخفيف حدة الإجهاد لدى النباتات. إن وجود الجين المشفر لإنزيم ACC deaminase في جينوم السلالة S1 يشير إلى إمكانياتها الواعدة في دعم تحمل النباتات للإجهادات.
- **الجينات المرتبطة بتحمل الملوحة** : كشف تحليل الجينوم عن عدة جينات رئيسية تعزز تحمل الملوحة لدى النباتات، ومنها:
  - betA و betB لتصنيع مركب Glycine-betaine.
  - Glycine betaine transporter.
  - Proline/betaine transporter.
  - Trehalase.
  - Osmoregulated proline transporter OpuE.
  - Proline iminopeptidase.
  - Proline-specific permease.
- **الجينات المضادة لمركبات الأكسجين التفاعلية (ROS)** : تنشأ مركبات الأكسجين التفاعلية نتيجة الإجهادات الحيوية واللاحيوية، وتعتبر ضارة لخلايا النبات بسبب نشاطها الكيميائي الناتج عن الإلكترونات الحرة. وقد تم الكشف عن عدة جينات في السلالة S1 تشفر لإنزيمات تساعد في التخلص من هذه المركبات الضارة، وأهمها:
  - **Catalase**
  - **Catalase-related peroxidase**
  - **Catalase-peroxidase**
  - **Superoxide dismutase [Fe]**
  - **Superoxide dismutase [Mn/Fe]**
  - **Peroxide stress resistance protein YaaA**
  - **Alkyl hydroperoxide reductase AhpD**

إن وجود هذه الجينات في السلالة S1 يؤكد دورها الفعال في حماية النباتات من تأثيرات الإجهاد المختلفة وتعزيز قدرتها على التكيف.

2.4.3 الجينات المسؤولة عن إذابة الفوسفات غير العضوي

أظهر التحليل الجينومي لجينوم السلالة S1 وجود عدد من الجينات التي تشفر لإنزيمات متخصصة في إذابة الفوسفات اللاعضوي ، مما يسهم في تزويد النبات بالعناصر الغذائية اللازمة. من بين هذه الإنزيمات:

- **Protein phosphatase Chez**: يعد هذا الإنزيم مهمًا في مسار الانجذاب الكيميائي البكتيري، حيث يعمل على تسريع عملية نزع الفسفرة من البروتين(CheY-P) CheY ، وهو خطوة أساسية في تحكم الخلية بحركتها تجاه العناصر الغذائية.
- **Exopolyphosphatase**: يلعب هذا الإنزيم دورًا رئيسيًا في تحليل متعدد الفوسفات اللاعضوي (polyP)، مما يتيح للنبات الاستفادة من الفوسفات الذي يصعب عليه امتصاصه مباشرة.

يسهم وجود هذه الجينات في جينوم السلالة S1 في تحسين توافر الفوسفات اللاعضوي للنباتات، مما يعزز نموها ويزيد من قدرتها على تحمل ظروف التربة الفقيرة بالعناصر الغذائية.

3.4.3 الجينات المشاركة في إنتاج الهرمونات النباتية:

أظهر التحليل الجيني لجينوم السلالة S1 وجود عدة جينات مرتبطة بإنتاج هرمون الأوكسجين النباتي (IAA - Indole-3-acetic acid)، والتي تساهم في تعزيز نمو النبات وتطوره. تشمل هذه الجينات:

- **Tryptophan synthase alpha chain and beta chain:** تشارك هذه البروتينات في مسار تخليق التربتوفان، الذي يعتبر طليعة لإنتاج.IAA
- **Indole-3-glycerol phosphate synthase**: يساهم هذا الإنزيم في تكوين مركب الإندول، وهو مكون أساسي في مسار تخليق.IAA
- **Aldehyde dehydrogenase**: يلعب دورًا في عملية الأكسدة اللازمة لتحويل المركبات الوسيطة إلى.IAA

بالإضافة إلى ذلك، يتضمن جينوم السلالة S1 جينات قد تسهم في إنتاج هرمونات نباتية أخرى مثل:

- **Isochorismate pyruvate lyase**: يساهم هذا الإنزيم في إنتاج حمض الساليسيليك (Salicylic acid)، الذي يلعب دورًا هامًا في نمو النبات، التمثيل الضوئي، امتصاص الأيونات، وأيضًا في إرسال الإشارات الدفاعية للنبات ضد الأمراض.
- **Cytokinin riboside 5'-monophosphate phosphoribohydrolase**: إنزيم يحفز إنتاج السيتوكينين، وهو هرمون يعزز نشاط النسيج الإنشائي ويدعم النمو الخلوي في النبات.

تدل هذه الجينات في مجملها على إمكانات السلالة S1 في تحسين صحة النبات وتعزيز مقاومته للإجهادات البيئية.

4.4.3 الجينات المتدخلة في اقتناء الحديد:

يعتبر الحديد من العناصر الغذائية الأساسية للنبات، حيث يلعب دورًا مهمًا كعامل مساعد ومستقبل للإلكترونات في العديد من البروتينات والإنزيمات الحيوية. ومع أن الحديد متوفر بكثرة في التربة، إلا أنه غالبًا ما يكون في شكل غير متاح بيولوجيًا للنبات. وقد كشف التحليل الجيني لجينوم السلالة S1 عن مجموعة من الجينات المرتبطة بآليات التقاط الحديد وتوفير احتياجات النبات منه، ومن بين هذه الجينات:

- **Ferrous-iron efflux pump FieF**: يعمل على تنظيم مستويات الحديد داخل الخلية.
- **Iron-utilization periplasmic protein**: يساهم في تيسير الحديد داخل الحيز المحيط بالغشاء.
- **Periplasmic iron-binding protein**: يساعد في ربط وتخزين الحديد.
- **Ferripyoverdine receptor**: يلعب دورًا في نقل مركبات الحديد عبر الغشاء الخلوي.
- **Bacterioferritin**: يشارك في تخزين الحديد داخل الخلية.
- **Ferri-bacillibactin** و **Ferric-pseudobactin**: من مستقبلات الحديد المتخصصة.
- **Ferrochelatase**: يساهم في تخليق الهيم.
- **Ferredoxin**: يعمل كناقل للإلكترونات في عملية التمثيل الضوئي وغيرها من العمليات الأيضية.

تشير وفرة هذه الجينات في جينوم السلالة S1 إلى إمكاناتها القوية في التقاط وتوفير الحديد للنبات المضيف، مما يعزز من نمو النبات ويسهم في صحة النظام البيئي المحيط.

5.4.3. الجينات المتدخلة في المراقبة البيولوجية

تنتج البكتيريا الجذرية المعززة لنمو النبات مركبات كيميائية متعددة الفوائد، ومنها تلك التي تُسهم في مقاومة مسببات الأمراض النباتية. وقد تم تحديد عدة جينات في جينوم السلالة S1 ترتبط بإنتاج مركبات هامة في مجال المكافحة البيولوجية، من أبرزها:

- **Hydrogen cyanide synthase**: يساهم في إنتاج سيانيد الهيدروجين، وهو مركب طبيعي مضاد للفطريات يمكن أن يمنع نمو مسببات الأمراض في البيئة المحيطة بالنبات.
- **Chitinase**: يعمل على تحلل الكيتين، أحد مكونات جدران الخلايا الفطرية، مما يساعد في مكافحة الفطريات الممرضة.
- **Protease**: إنزيم يساهم في تحلل البروتينات، مما يعزز من دفاعات النبات ضد مسببات الأمراض عن طريق تحليل بروتيناتها الأساسية.

تدل هذه الجينات على قدرة السلالة S1 على توفير الحماية للنبات المضيف ضد الأمراض، مما يجعلها مرشحًا ممتازًا للاستخدام في برامج المكافحة البيولوجية الزراعية.

5.3. المجموعات الجينية المسؤولة عن الآيض الثانوي في جينوم S1

كشفت الأداة المعلوماتية **antiSMASH** وجود عدة مجموعات جينية (Clusters) في جينوم السلالةS1 ، كما هو موضح في الشكل (4). تشير هذه المجموعات الجينية إلى إمكانية إنتاج مركبات أيضية ثانوية مهمة، مما يعزز من قدرة هذه السلالة على المساهمة في التطبيقات البيولوجية، مثل المكافحة البيولوجية وتحسين صحة النباتات.

الشكل(4). الكشف عن المجموعات الجينية التي ترمز للمستقلبات الثانوية داخل جينوم S1 بواسطة أداة antiSMASH.

يظهر الشكل (4) وجود مجموعات جينية ضمن جينوم السلالة S1 قد تسهم في إنتاج مركبات أيضية ثانوية هامة، مثل:

- **الببتيدات اللاريبوزومية (NRPs)**: وهي مجموعة متنوعة للغاية من المنتجات الطبيعية التي تمتلك أنشطة بيولوجية متعددة، من أبرزها الفاعلية المضادة لمسببات الأمراض النباتية، مما يعزز من دورها كمركبات داعمة للصحة النباتية.
- **البكتريوسينات (Bacteriocins)**: تعد هذه المركبات من عائلة الببتيدات التي تنتجها بعض الأنواع البكتيرية بشكل طبيعي. تتكون البكتريوسينات عمومًا من مركبات ببتيدية تحتوي على 20 إلى 60 حمضًا أمينيًا، وتتميز بقدرتها على القضاء على بعض الكائنات الدقيقة الممرضة.

يشير وجود هذه المجموعات الجينية إلى إمكانيات السلالة S1 في إنتاج مركبات مهمة في المكافحة البيولوجية، مما يعزز استخدامها كعوامل مساعدة في الحماية النباتية.

4. مناقشة النتائج:Discussion

يعتبر الأمن الغذائي والزراعي من الجوانب الحيوية التي تضمن تلبية احتياجات السكان الغذائية عالميًا. يشير الأمن الغذائي إلى توفر كميات كافية ومستدامة من الغذاء للجميع، بينما يرتبط الأمن الزراعي بتحقيق إنتاج زراعي فعّال ومستدام. إن تحقيق هذين الهدفين أمر أساسي لمواجهة التحديات الناتجة عن الزيادة السكانية المستمرة، والتغيرات المناخية، وتدهور البيئة.

تلعب البكتيريا المعززة لنمو النباتات (PGPR) دورًا محوريًا في تعزيز الأمن الزراعي من خلال الفوائد العديدة التي تقدمها للنباتات والبيئة الزراعية. وقد تم التعرف على عدة آليات تفسر كيفية تحفيز PGPR

لنمو النبات، منها: (1) إنتاج أو تعديل الهرمونات النباتية مثل حمض الإندول-3-أسيتيك(IAA) ، والجبريلينات، والسيتوكينينات، والإيثيلين، والمركبات المتطايرة؛ (2) مقاومة الكائنات الحية الدقيقة المسببة للأمراض النباتية عن طريق إنتاج المضادات الحيوية، والإنزيمات التي تحلل مكونات الفطريات (مثل الكيتيناز و1-3 جلوكاناز)، والهيدروجين سيانيد(HCN) ، واللواقط الحديدية؛ (3) تثبيت النيتروجين الجوي؛ (4) إذابة الفوسفات المعدني والمغذيات الأخرى؛ (5) تخفيف الضغوط الحيوية واللاحيوية (Dif et al., 2021).

يتواجد إنزيم ACC deaminase في العديد من البكتيريا المعززة لنمو النبات، وخاصة المنتمية إلى جنس *Bacillus* و *Pseudomonas* (Toklikishvili et al., 2010; Saleem et al., 2018). تسهم هذه البكتيريا في تحسين قدرة النباتات على تحمل الضغوط الناتجة عن الجفاف، ونقص العناصر الغذائية، والملوحة، ومسببات الأمراض النباتية. ومن المثير للاهتمام، أن إنتاج إنزيم ACC deaminase عبر التعبير عن الجين المسؤول في البكتيريا المعززة للنمو يُساهم بشكل كبير في تخفيف الضغوط البيئية على النباتات المعالجة مقارنة بتلك غير المعالجة (Grichko et al., 2001; Tavares et al., 2018) ، وقد أظهرت التحليلات الجينية أن السلالة S1 تحتوي على الجين المسؤول عن إنتاج هذا الإنزيم، مما يتماشى مع نتائج Ali et al. (2014) .

يشكل الإجهاد النباتي تحدًيا كبيرًا نتيجة للتغيرات البيئية، مثل درجات الحرارة المرتفعة أو المنخفضة، ونقص المياه، وتلوث التربة.ينتج هذا الإجهاد تفاعلات ضارة داخل النبات تُعرف بعمليات التأكسد، مما يؤدي إلى تكوين الجذور الحرة، وهي جزيئات ذات وزن جزيئي منخفض تحتوي على إلكترونات غير مقترنة. تتشكل هذه الجذور الحرة طبيعيًا خلال العمليات الأيضية، لكن تكوينها الزائد نتيجة للضغوط البيئية يمكن أن يسبب تلفًا خلويًا وأمراضًا (Sachdev et al., 2020). في محاولة للتكيف مع هذه التحديات، طورت النباتات آليات داخلية لمكافحة الإجهاد والحد من الأضرار الناتجة عن الجذور الحرة، بما في ذلك إنتاج مضادات الأكسدة التي تقاوم الجذور الحرة وتخفف من آثارها الضارة. يشمل ذلك نظام دفاعي يُعرف بالنظام المضاد للأكسدة، حيث يتم إنتاج مجموعة متنوعة من الإنزيمات والمركبات، من بينها إنزيمات مضادة للأكسدة، مثل سوبر أكسيد ديسموتاز(SOD) ، والبيروكسيداز (POXs)، وكاتلاز(CAT) ، والبوليفينول أوكسيداز(PPOs) ، التي تلعب دورًا في حماية الخلايا .(Amil-Ruiz et al., 2011; Thakker et al., 2013)وقد كشفت التحليلات الجينية أن السلالة S1 تحتوي على المورثات التي تشفر العديد من الإنزيمات والمركبات المضادة للأكسدة، مما يشير إلى أهميتها في مقاومة موت الخلايا النباتية تحت تأثير الضغوط.

يعتبر إنتاج الهرمونات النباتية آلية فعّالة من خلالها يمكن للبكتيريا الجذرية تعزيز نمو النبات وتحسين عمليات إنبات البذور واستطالة الجذور(Khamna et al., 2009; Goudjal et al., 2013) . يعتبر حمض الإندول-3-أسيتيك (IAA) واحدًا من الأوكسينات الطبيعية الشائعة، وينتج نتيجة لاستقلاب L-tryptophan

في الكائنات الحية الدقيقة (Ruanpanun et al., 2010) . تُظهر العديد من أنواع البكتيريا، مثل Streptomyces، القدرة على إنتاجIAA ، مما يعزز نمو النبات عن طريق تحسين إنبات البذور، وزيادة طول الجذور، وزيادة وزن الجذر الجاف (Aldesuquy et al., 1998; Tokala et al., 2002; El-Tarabily et al., 2008). وقد تم اكتشاف أن السلالة S1 تحتوي على عدة جينات تشفر إنزيمات تشارك في إنتاج IAA.

وصف عدد من الأبحاث أهمية وجود الهيدروجين سيانيد(HCN) ، واللواقط الحديدية، والإنزيمات مثل الكيتيناز والغلوكوزاناز في سلالاتPGPR ، حيث تلعب هذه المركبات دورًا رئيسيًا في مكافحة مسببات الأمراض النباتية المختلفة، مما يُسهم في تعزيز النمو ومكافحة الأمراض. وقد تم الإبلاغ عن بعض أنواع البكتيريا الجذرية كمنتجين لمركبHCN ، الذي يُعد مركبًا متطايرًا مضادًا للفطريات، والذي يُساهم في تثبيط العديد من مسببات الأمراض النباتية مثل Fusarium (Passari et al., 2018; Abdallah et al., 2016). كشفت دراستنا عن امتلاك السلالة S1 للجين المسؤول عنإنتاج الهيدروجين سيانيد، والذي يُعتبر آلية رئيسية للمكافحة الحيوية عند Pseudomonas fluorescens (Michelsen, 2012). تتوافق هذه النتائج تمامًا مع نتائج Liu et al. (2016) وGamalero et al. (2010).

تلعب اللواقط الحديدية دورًا حاسمًا في مقاومة مسببات الأمراض النباتية، حيث تساعد البكتيريا الجذرية المنتجة للواقط الحديدية النباتات على استحصال الحديد من التربة (Verma et al., 2011; Sadeghi et al., 2012). من خلال نتائج التحليلات الجينية، تم الكشف عن وجود الجينات المسؤولة عن إنتاج اللواقط الحديدية في السلالةS1 .

كما تم تحديد مجموعات جينية مسؤولة عن تخليق مجموعة متنوعة من الببتيدات غير الريبوزومية (NRPs) النشطة بيولوجيًا، خاصةً كمضادات للفطريات الممرضة (Cane et al., 1999) . غالبًا ما تكون الببتيدات غير الريبوزومية معقدة في تركيبها ويصعب تصنيعها. وفيالغالب، تُنتج هذه الببتيدات من قبل كائنات دقيقة تعيش في التربة، مثل الأكتينوبكتيريا والعصيات (Cheng et al., 2002; Horwood et al., 2004). كما تظهر الدراسات أن الكائنات الحية الدقيقة البحرية والجذرية تُعتبر أيضًا مصادر هامة للببتيدات غير الريبوزومية (Blunt et al., 2007, 2008) ، وهو ما يتماشى مع ما توصلنا إليه في هذه الدراسة بشأن السلالة S1التي تحتوي جينوماتها على مجموعات جينية تشارك في تخليق الببتيدات غير الريبوزومية.(NRPs) .

الخلاصة :Conclusion

تظهر النتائج امتلاك السلالة S1 للعديد من الجينات التي تسهم في تعزيز نمو النبات، بتوفير المغذيات، ومقاومة الإجهادات غير الحيوية مثل الجفاف وملوحة التربة، بالإضافة إلى القدرة على تثبيط ومكافحة الممرضات النباتية. لذا يمكن استخدام هذه السلالة كسماد حيوي واعد في مجال الزراعة بتطبيقه على نطاق واسع لتعزيز إنتاجية المحاصيل الزراعية الرئيسية وتقليل التكاليف المالية والبيئية لاستخدام المُعالجات الكيميائية مثل المبيدات الحشرية، خاصة في المناطق الجافة والشبه الجافة.

المراجع: Références

1. Abdallah, R. A. B., Mokni-Tlili, S., Nefzi, A., Jabnoun-Khiareddine, H., & Daami-Remadi, M. (2016). Biocontrol of *Fusarium* wilt and growth promotion of tomato plants using endophytic bacteria isolated from *Nicotiana glauca* organs. Biological control, 97, 80-88.
2. Aldesuquy HS, Mansour FA, Abo-Hamed SA (1998). Effect of the culture filtrates of Streptomyceson growth and productivity of wheat plants. Folia Microbiol 43:465–470.
3. Ali, S., Charles, T. C., & Glick, B. R. (2014). Amelioration of high salinity stress damage by plant growth-promoting bacterial endophytes that contain ACC deaminase. Plant Physiology and Biochemistry, 80, 160-167.
4. Amil-Ruiz, F., Blanco-Portales, R., Munoz-Blanco, J., & Caballero, J. L. (2011). The strawberry plant defense mechanism: a molecular review. Plant and Cell Physiology, 52(11), 1873-1903.
5. Aziz, R. K., Bartels, D., Best, A. A., DeJongh, M., Disz, T., Edwards, R. A., ... & Zagnitko, O. (2008). The RAST Server: rapid annotations using subsystems technology. BMC genomics, 9(1), 1-15.
6. Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & El Enshasy, H. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: recent developments, constraints, and prospects. Sustainability, 13(3), 1140.
7. Blunt, J. W., Copp, B. R., Hu, W. P., Munro, M. H., Northcote, P. T., & Prinsep, M. R. (2007). Marine natural products. Natural product reports, 24(1), 31-86.
8. Blunt, J. W., Copp, B. R., Hu, W. P., Munro, M. H., Northcote, P. T., & Prinsep, M. R. (2008). Marine natural products. Natural product reports, 25(1), 35-94.
9. Cane, D. E., & Walsh, C. T. (1999). The parallel and convergent universes of polyketide synthases and nonribosomal peptide synthetases. Chemistry & biology, 6(12), R319-R325.
10. Cheng, Y. Q., Tang, G. L., & Shen, B. (2002). Identification and localization of the gene cluster encoding biosynthesis of the antitumor macrolactam leinamycin in *Streptomyces atroolivaceus* S-140. Journal of bacteriology, 184(24), 7013-7024.
11. Dif, G., Belaouni, H. A., Goudjal, Y., Yekkour, A., Djemouai, N., & Zitouni, A. (2021). Potential for plant growth promotion of *Kocuria arsenatis* Strain ST19 on tomato under salt stress conditions. South African Journal of Botany, 138, 94-104.
12. Dif, G., Belaouni, H. A., Yekkour, A., Goudjal, Y., Djemouai, N., Peňázová, E., ... & Zitouni, A. (2022). Performance of halotolerant bacteria associated with Sahara-inhabiting halophytes *Atriplex halimus* L. and *Lygeum spartum* L. ameliorate tomato plant growth and tolerance to saline stress: from selective isolation to genomic analysis of potential determinants. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 38(1), 16.
13. Dif, G. and Zitouni, A. (2023). Revealing of potential plant growth-enhancing traits through *in silico* genomic analysis of *Bacillus rhizoplanae* CIP111899. The Scientific Journal of King Faisal University: Basic and Applied Sciences, 24(1), 34–40.
14. El-Tarabily KA (2008) Promotion of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) plant growth by rhizosphere competent 1-aminocyclo-propane-1-carboxylic acid deaminase-producing streptomycete actinomycetes. Plant Soil 308:161–174.

15. Gamalero, E., Berta, G., Massa, N., Glick, B. R., & Lingua, G. (2010). Interactions between *Pseudomonas putida* UW4 and *Gigaspora rosea* BEG9 and their consequences for the growth of cucumber under salt-stress conditions. Journal of applied microbiology, 108(1), 236-245.
16. Goswami, D., Thakker, J. N., & Dhandhukia, P. C. (2016). Portraying mechanics of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A review. Cogent Food & Agriculture, 2(1), 1127500.
17. Goudjal, Y., Toumatia, O., Sabaou, N., Barakate, M., Mathieu, F., & Zitouni, A. (2013). Endophytic actinomycetes from spontaneous plants of Algerian Sahara: Indole-3-acetic acid production and tomato plants-growth-promoting activity.World Journal of Microbiology and Biotechnology, 29,1821–1829.
18. Grichko, V. P., & Glick, B. R. (2001). Amelioration of flooding stress by ACC deaminase-containingplant growth-promoting bacteria. Plant Physiology and Biochemistry, 39(1), 11-17.
19. Hayyan, M., Hashim, M. A., & AlNashef, I. M. (2016). Superoxide ion: generation and chemical implications. Chemical reviews, 116(5), 3029-3085.
20. Horwood PF, Burgess GW, Oakey HJ (2004) Evidence for nonribosomal peptide synthetase production of cereulide (the emetic toxin) in *Bacillus cereus*. FEMS Microbiol Lett 236:319–324.
21. Khamna, S., Yokota, A., & Lumyong, S. (2009). Actinomycetes isolated from medicinal plant rhizosphere soils: diversity and screening of antifungal compounds, indole-3-acetic acid and siderophore production. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 25(4), 649-655.
22. Kumar, A., Kumar, R., Kumari, M., & Goldar, S. (2020). Enhancement of plant growth by using PGPR for a sustainable agriculture: a review. Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci, 9, 152-165.
23. Liu, W., Wang, Q., Hou, J., Tu, C., Luo, Y., & Christie, P. (2016). Whole genome analysis of halotolerant and alkalotolerant plant growth-promoting rhizobacterium *Klebsiella* sp. D5A. Scientific reports, 6(1), 1-10.
24. Meier-Kolthoff, J. P., & Göker, M. (2019). TYGS is an automated high-throughput platform for state-of-the-art genome-based taxonomy. Nature communications, 10(1), 2182.
25. Michelsen, C. F., & Stougaard, P. (2012). Hydrogen cyanide synthesis and antifungal activity of the biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* In5 from Greenland is highly dependent on growth medium. Canadian Journal of Microbiology, 58(4), 381-390.
26. Passari, A. K., Lalsiamthari, P. C., Leo, V. V., Mishra, V. K., Yadav, M. K., Gupta, V. K., & Singh, B. P. (2018). Biocontrol of *Fusarium* wilt of *Capsicum annuum* by rhizospheric bacteria isolated from turmeric endowed with plant growth promotion and disease suppression potential. European Journal of Plant Pathology, 150(4), 831-846.
27. Richter, C., Dirks, M. E., Gronover, C. S., Prüfer, D., & Moerschbacher, B. M. (2012). Silencing and heterologous expression of ppo-2 indicate a specific function of a single polyphenol oxidase isoform in resistance of dandelion (Taraxacum

officinale) against *Pseudomonas syringae* pv. tomato. Molecular plant-microbe interactions, 25(2), 200-210.

28. Ruanpanun P, Tangchitsomkid N, Hyde KD, Lumyong S (2010). Actinomycetes and fungi isolated from plant-parasitic nematode infested soils: screening of the effective biocontrol potential, indole-3-acetic acid and siderophore production. World J Microbiol Biotechnol 26:1569–1578.
29. Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., Fujita, M., & Hasanuzzaman, M. (2021). Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. Antioxidants, 10(2), 277.
30. Sadeghi, A., Karimi, E., Dahaji, P. A., Javid, M. G., Dalvand, Y., & Askari, H. (2012). Plant growth promoting activity of an auxin and siderophore producing isolate of *Streptomyces* under saline soil conditions. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28(4), 1503-1509.
31. Saleem, A. R., Brunetti, C., Khalid, A., Della Rocca, G., Raio, A., Emiliani, G., ... & Centritto, M. (2018). Drought response of Mucuna pruriens (L.) DC. inoculated with ACC deaminase and IAA producing rhizobacteria. PLoS One, 13(2), e0191218.
32. Sapak Z, Meon S, Zam A (2008). Effect of endophytic bacteria on growth and suppression of Ganoderma infection in oil palm. Int J Agric Biol 10:127–132.
33. Seemann, T. (2014). Prokka: rapid prokaryotic genome annotation. Bioinformatics, 30(14), 2068-2069.
34. Tavares, M. J., Nascimento, F. X., Glick, B. R., & Rossi, M. J. (2018). The expression of an exogenous ACC deaminase by the endophyte *Serratia grimesii* BXF 1 promotes the early nodulation and growth of common bean. Letters in applied microbiology, 66(3), 252-259.
35. Thakker, J. N., Patel, S., & Dhandhukia, P. C. (2013). Induction of defense-related enzymes in banana plants: Effect of live and dead pathogenic strain of *Fusarium oxysporum* f. sp. cubense. International Scholarly Research Notices, 2013.
36. Tokala RK, Strap JL, Jung CM, Crawford DL, Salove MH, Deobald LA, Bailey JF, Morra MJ (2002). Novel plant–microbe rhizo-sphere interaction involving *Streptomyces lydicus* WYEC108 and the pea plant (*Pisum sativum*). App Environ Microbiol 68:2161–2171.
37. Toklikishvili, N., Dandurishvili, N., Vainstein, A., Tediashvili, M., Giorgobiani, N., Lurie, S., ... & Chernin, L. (2010). Inhibitory effect of ACC deaminase-producing bacteria on crown gall formation in tomato plants infected by *Agrobacterium tumefaciens* or A. vitis. Plant Pathology, 59(6), 1023-1030.
38. Verma, V. C., Singh, S. K., & Prakash, S. (2011). Bio-control and plant growth promotion potential of siderophore producing endophytic *Streptomyces* from *Azadirachta indica* A. Juss. Journal of basic microbiology, 51(5), 550-556.
39. Weber, T., Blin, K., Duddela, S., Krug, D., Kim, H. U., Bruccoleri, R., ... & Medema, M. H. (2015). antiSMASH 3.0—a comprehensive resource for the genome mining of biosynthetic gene clusters. Nucleic acids research, 43(W1), W237-W243.

تصميم تربينات الرياح الصغيرة إعتمادا على تقييم الانتاج السنوي للطاقة لمختلف مناطق التركيب.

Design Small Wind Turbine Based On Energy Production For Various Installation Region

دباش محمد [1]،

Debbache Mohammed

[1]Centre de Developpement des Energies Renouvelables BP. 62 Route de l'Observatoire Bouzareah 16340

(الجزائر)،m.debbache@cder.dz

تاريخ الإرسال: 2024/10/02 تاريخ القبول:2024/12/15 تاريخ النشر: ديسمبر /2024

الملخص:

يتناول هذا البحث تصميم توربينات رياح صغيرة الحجم بهدف تحسين كفائتها في إنتاج الطاقة في مناطق تركيب مختلفة ذات سرعة رياح منخفضة إلى متوسطة. في ظل زيادة الطلب على الطاقة والتوجه نحو مصادر الطاقة المتجددة، تبرز الحاجة إلى تطوير توربينات رياح صغيرة أكثر كفاءة. يعتمد البحث على برنامج QBlade لتحليل الديناميكيات الهوائية وتصميم شفرات توربينات باستخدام مقاطع ديناميكية مختلفة من نوع NACA2410 وNACA2415 وNACA2420. تم تقييم أداء هذه التصميمات من حيث كفاءة تحويل الطاقة والإنتاج السنوي للطاقة. أظهرت النتائج أن تصميم الشفرة ذات المقطعNACA2410 هو الأكثر كفاءة، حيث قدم أفضل تصميم من حيث توزيع الوتر وزاوية الالتواء، مما يجعله الأنسب للاستخدام في البيئات ذات سرعة رياح منخفظة، مع تحقيق أعلى إنتاج سنوي للطاقة.

الكلمات المفتاحية: الرياح، ديناميكا، شفرة، الدوار، طاقة ، السحب ، الرفع.

Abstract:

This research focuses on the design of small wind turbines aimed at improving energy production efficiency in various installation regions with low to medium wind speeds. With the increasing demand for energy and the shift towards renewable energy sources, there is a growing need to develop more efficient small wind turbines. The study utilizes the QBlade software for aerodynamic analysis and the design of turbine blades using different airfoil profiles, including NACA2410, NACA2415, and NACA2420. The performance of these designs was evaluated in terms of energy conversion efficiency and annual energy production. The results showed that the NACA2410 blade design is the most efficient, offering the best performance in terms of chord distribution and twist angle, making it the most suitable for environments with low wind speeds, while achieving the highest annual energy output.

Key words: Wind, aerodynamics, blade, rotor, power, drag, lift.

المؤلف المرسل: دباش محمد ، الإيميل المهني m.debbache@cder.dz

المدخل : Introduction

في ظل تزايد الطلب العالمي على الطاقة والتحديات البيئية الناجمة عن استهلاك الوقود الأحفوري، أصبحت مصادر الطاقة المتجددة، وخاصة طاقة الرياح، ضرورية في التحول نحو توليد الطاقة المستدامة. تعتبر طاقة الرياح واحدة من أكثر مصادر الطاقة المتجددة فعالية من حيث التكلفة والإنتاج، حيث وصلت القدرة العالمية المركبة لطاقة الرياح إلى مستويات غير مسبوقة.وفقًا لتقرير هيئة REN21[1] حول لمستوى الإنتاجية العالمية للطاقة المتجددة لعام 2024، شكلت الطاقة المتجددة 86% من إضافات القدرة الكهربائية في عام 2023، مما يعكس الدور المحوري الذي تلعبه طاقة الرياح في تقليل انبعاثات الغازات الدفيئة والتصدي لتغير المناخ .كما أكدت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA[2]على أن طاقة الرياح تعتبر أساسية لتحقيق الأهداف المناخية، مما يبرز الحاجة إلى تحسينات تكنولوجية واستثمارات مستمرة في هذا القطاع .وعلى الرغم من التقدم الكبير في تطوير توربينات الرياح الكبيرة، لا تزال توربينات الرياح الصغيرة (SSWTs) غير مطورة بشكل كافٍ، مما يقدم فرصًا كبيرة لتحسينها، خاصة في المناطق ذات سرعة رياح منخفضة.

تناولت العديد من الدراسات تحسين تصميم وأداء توربينات الرياح الصغيرة من خلال تحسين الجوانب الديناميكية والهيكلية. حيث قام Y.[3]Liu و آخرون بدراسة تأثير الأخاديد السطحية على شفرة ذات المقطع4415 NACA ، وأظهروا أن أشكال معينة للأخاديد يمكن أن تحسن بشكل كبير الأداء الديناميكي عن طريق تقليل دوامات الهواء على مستوى الشفرة مما يعزز كفاءة توربينات الرياح الصغيرة التي تعمل عند أرقام رينولدز المنخفضة. كما قام Suresh. A[4] و آخرون بتحليل العديد من مقاطع الشفرات باستخدام برنامج QBlade لتوربينات الرياح الصغيرة ذات المحور الأفقي(HAWTs)، وخلصوا إلى أن الشفرة ذات المقطع SD7080 كانت الأكثر فعالية في تطبيقات الرياح المنخفضة السرعة، مما يجعلها مثالية للتركيبات في المناطق الريفية. و بالمثل، أجرى Yossri. W[5]و آخرون دراسة شاملة باستخدام منهجية ديناميكيا الموائع الحسابية (CFD) لتوربينات الرياح الصغيرة، ووجدوا أن الشفرة NACA 4412 قدمت أفضل أداء بين عدة أنواع من الشفرات وقيم أقطار الدوار. أين سلطت هذه الدراسات الضوء على أهمية اختيار أفضل مقاطع الشفرات وأحجام الدوار لتحسين التقاط الطاقة وزيادة الكفاءة.

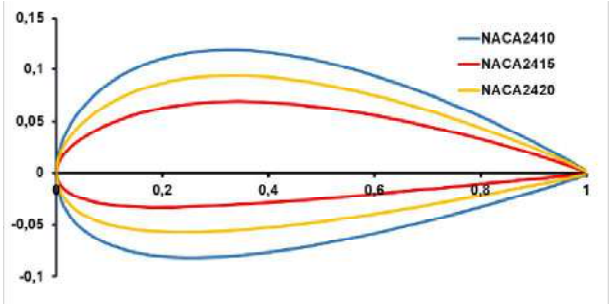
كذلك لتحسين أداء الشفرات تلعب توزيع زاوية الالتواء على طول الشفرة دورًا حاسمًا في أداء توربينات الرياح. قامنافي دراسة سالفة بتطوير منهجية لتصحيح زاوية الالتواء التي حسّنت إنتاج الطاقة السنوي بنسبة 5%، مما يبرز أهمية تحسين تصميم الشفرة لزيادة الكفاءة في ظروف الرياح المختلفة[6]. أجرى Zalewska. J[7] وآخرون دراسة حول الكفاءة الطاقوية لتوربينات الرياح الصغيرة (SWTs) في بولندا، من خلال تحليل بيانات الرياح لمدة خمس سنوات من ثلاث مواقع مختلفة: ساحلية، سفوح الجبال، وسهلية. وجدت الدراسة أن الموقع الساحلي، الواقع في المنطقة الريحية ذات الدرجة الأولى، يمتلك أعلى سرعات رياح، مما أدى إلى أفضل إنتاج للطاقة بقدرة إنتاج سنوية بلغت 26,735 كيلوواط/ساعة وفترة

استرداد للاستثمار بلغت 13 عامًا. في المقابل، أظهر الموقع السهلي إنتاجًا سنويًا قدره 5,718 كيلوواط/ساعة، مع فترة استرداد للاستثمار تجاوزت 57 عامًا، مما يجعله غير مجدٍ اقتصاديًا. تبرز هذه النتائج الأهمية الكبيرة لاختيار المواقع المثلى لتركيب توربينات الرياح الصغيرة، حيث تقدم المناطق الساحلية أفضل عائد على الاستثمار.كما أجرى M.Hazmoune[8] وآخرون دراسة لتقييم الأداء الديناميكي الهوائي لتوربين هوائي صغير من نوع BORNY بقدرة 1 كيلوواط، والمخطط تركيبه في مدينة كونستانتا، رومانيا، حيث يبلغ متوسط سرعة الرياح 6 م/ثا. ركزت الدراسة على تحليل تأثير تصميمات مختلفة لشكل مقطع الشفرات الهوائية، بما في ذلك NACA0012 وNACA0015 وS825 وS833، من خلال محاكاة حاسوبية لتقييم الرفع والسحب والكفاءة العامة تحت ظروف رياح مختلفة. أظهرت النتائج أن الشفرة ذات المقطعS833 قدم أفضل أداء، حيث حقق أعلى نسبة رفع إلى سحب، مما أدى إلى تحسين كفاءة تحويل الطاقة بشكل كبير. تسلط هذه الدراسة الضوء على أهمية تحسين تصميم الشفرات لتعزيز أداء التوربينات الهوائية صغيرة الحجم في ظروف الرياح المحددة.

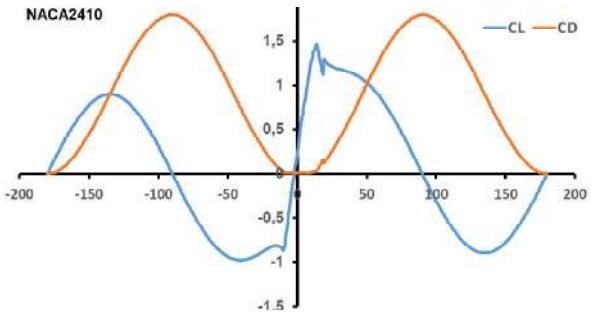
على الرغم من هذه التطورات، لا تزال الأبحاث المتعلقة بتحسين توربينات الرياح الصغيرة، خاصة في التطبيقات الريفية والمناطق ذات الرياح المنخفضة، قليلة مقارنة بتوربينات الرياح الكبيرة. يهدف هذا البحث إلى تحديد أفضل تصميم لتوربينات الرياح الصغيرة باستخدام برنامج QBlade[9]. من خلال تصميم الشفرة اعتمادا على مقاطع مختلفة الشكل، يسعى البحث إلى تحسين أداء توربينات الرياح في البيئات ذات الرياح المنخفضة، مساهمًا في تحقيق هدف أوسع يتمثل في تعزيز الوصول إلى الطاقة في المناطق الريفية والمناطق خارج الشبكة. يعتمد هذا البحث على الدراسات السابقة، مدمجًا رؤى من ديناميكيات الموائع الحسابية ونظرية BEM[10] لاقتراح تصميم توربينات رياح محسّن يوازن بين الكفاءة، التكلفة، و الموثوقية.

المواد والطرائق : Materials and methods

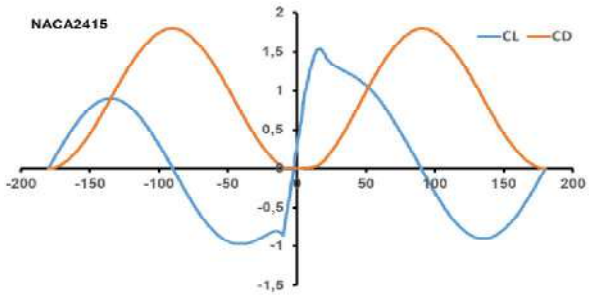
لمعرفة أحسن تصميم لتربين الرياح الصغير اعتمادا على شكل مقطع الشفرة الديناميكي المستعمل و إجمالي الإنتاج السنوي للتربين. اختير توربين رياح بقدرة 3 كيلوواط وطول شفرة 2 متر، باستخدام المقاطع الهوائية NACA2410، NACA2415، و NACA2420 الموضحة في الشكل (1) . ذات الخصائص الديناميكية من معامل السحب (CD) و الرفع (CL) المبينة في الأشكال (2-3-4) على التوالي تبعا لنموذج [11] Viterna. هذا التربين ذو الخصائص المبينة في الجدول (1). الدراسة تمت باستعمال برنامج Qblade الذي يعتمد على نظرية ديناميكا جزء الشفرة الخاصة بدراسة فعالية تربينات الرياح. حيث تمت دراسة التربين المختار مسبقا من حيث الفعالية لمجال تغير لسرعة الرياح بين 2م/ثا إلى 20 م/ثا لتحديد تصاميم الشفرات الملائمة. و كمرحلة ثانية . دراسة تقييمية للتصاميم المقبولة أنفا من حيث الإنتاج السنوي في عدة مناطق تركيب ذات سرعات متوسطة 3م/ ثا ، 4م/ثا ، 5م/ثا و 6م/ثا على التوالي اعتمادا على نموذج Rayleigh[12] لتغير سرعة الرياح لهذه المناطق (الشكل.5).



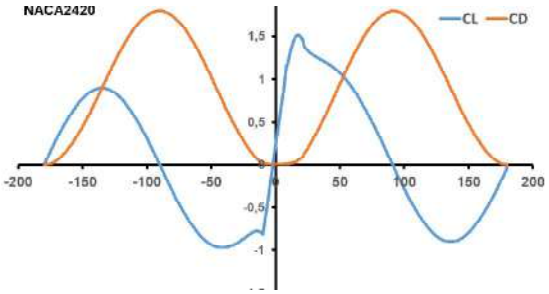
الشكل 1: الأشكال المقاطع الهوائية NACA2410 و NACA2415و NACA2420.



الشكل 2: توزيع CL و CD للمقطع الهوائي NACA2410.



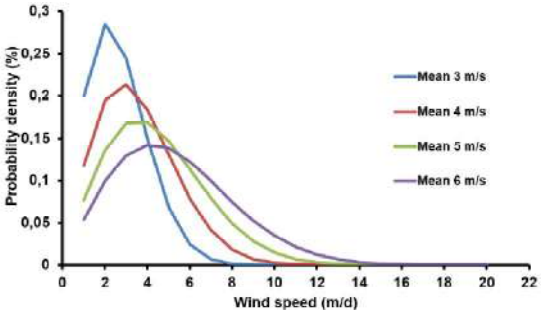
الشكل 3: توزيع CL وCDللمقطع الهوائي NACA2415.



الشكل 4: توزيع CL وCDللمقطع الهوائي NACA2420 .

الجدول 1: خصائص التربين.

المكون	المواصفات
قطر الدوار	4م
عدد الشفرات	3
المقاطع الهوائية	NACA2410, NACA2415, NACA2420
القدرة الاسمية	3كيلوواط
السرعة الاسمية	10 م/ثا
سرعة الدوران	250 د/د
المولد	مولد متزامن مغناطيسي دائم
ارتفاع البرج	10 م
سرعة البدء	2.5م/ثا
سرعة الإيقاف	20 م/ثا



الشكل 5: نموذج Reyligh الإحصائي للسرعة الرياح حسب المناطق.

النتائج والمناقشة: Résulta et Discussion

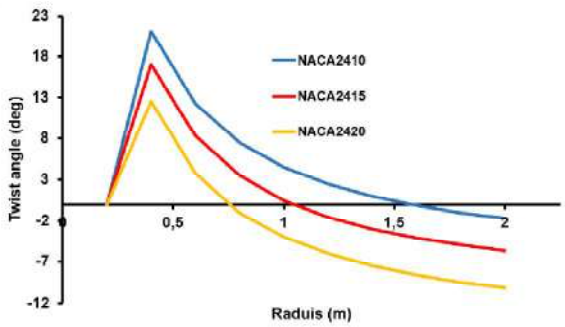
تظهر نتائج تحليل البيانات أن هناك فروقات واضحة بين التصميمات الثلاثةNACA2410 ، NACA2415، وNACA2420 من حيث الأداء الديناميكي وكفاءة تحويل الطاقة، مما يسمح بتحديد أفضل تصميم لتوربينات الرياح بناءً على الظروف البيئية.

a- توزيع الوتر وزاوية الالتواء على طول الشفرة (Chord and twist):

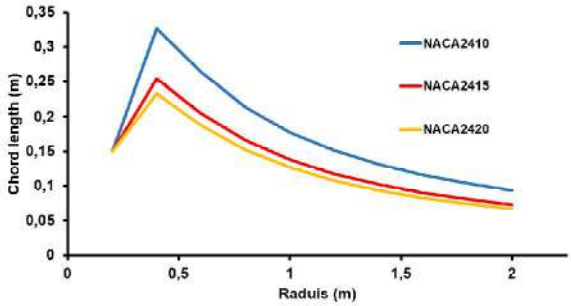
بالنظر إلى توزيع الوتر، نجد أن تصميم NACA2410 يحتفظ بأكبر طول للوتر عند أطراف الشفرة مقارنةً بالتصميمين الآخرين. على سبيل المثال، عند نصف قطر 1.0 متر، يبلغ طول الوتر في NACA2410حوالي 0.177 متر مقارنةً بـ 0.138 متر بالنسبة لـNACA2415 و0.127 متر

بالنسبة لـNACA2420.يشير هذا التفاوت إلى أن تصميمNACA2410 يعزز من قدرة الشفرة على التقاط الطاقة الهوائية عند الأطراف، مما يجعله أكثر كفاءة عند تغير سرعة الرياح (الشكل 6).

بالنسبة لتوزيع زاوية الالتواء، يظهر تصميم NACA2410 زوايا التواء أكبر بالقرب من مركز الشفرة، حيث تبدأ زاوية الالتواء عند 21.05 درجة عند نصف قطر 0.4 متر وتقل تدريجيًا إلى 4.53 درجة عند قيمة نصف قطر 1.0 متر. هذه الزاوية الأكبر تعزز من كفاءة الشفرة في التحكم في تدفق الهواء، مما يساعد على زيادة القدرة المنتجة في سرعات الرياح المختلفة. بالمقارنة، تقل زاوية الالتواء بشكل ملحوظ في NACA2415 وNACA2420، مما يشير إلى كفاءة أقل في نفس الظروف(الشكل 7).



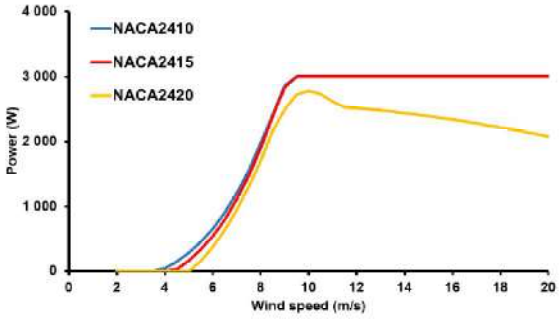
الشكل 6: توزيع الوتر على طول الشفرة.



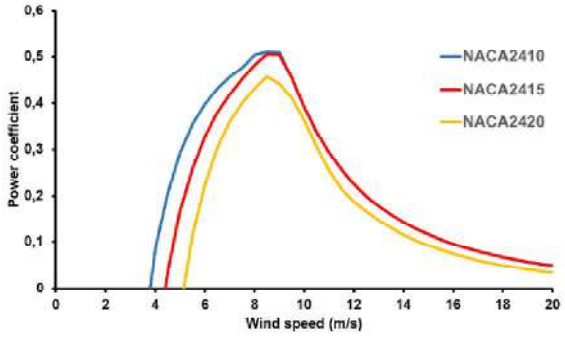
الشكل 7: توزيع زاوية الإلتواء على طول الشفرة.

b- معامل الفعالية الطاقية (Power Coefficient) :

عند تحليل معامل القدرة عند سرعات رياح مختلفة، نجد أن تصميم NACA2410يظهر تفوقًا واضحًا. على سبيل المثال، عند سرعة رياح 4.5 م/ثا، يبلغ معامل القدرة لـ NACA2410 حوالي 0.207، مقارنة بـ 0.037 فقط لـNACA2415، و0.299- لـ NACA2420 هذا يشير إلى أن NACA2410يتمتع بقدرة أعلى على تحويل طاقة الرياح إلى طاقة ميكانيكية مفيدة، مما يجعله أكثر فعالية في الظروف التشغيلية المتوسطة والعالية السرعة(الشكل 8).



الشكل 8: تغير معامل الفعالية الطاقية بفعل سرعة الرياح.



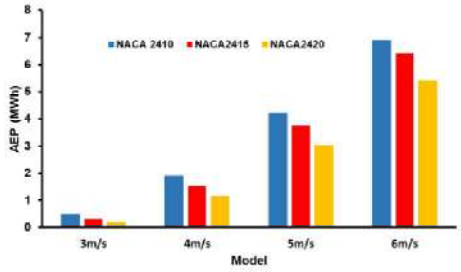
الشكل 9: تغير الطاقة المنتجة بفعل تغير سرعة الرياح.

c- توزيع الطاقة المنتجة (Power):

بالنظر إلى الرسم البياني للطاقة المنتجة في الشكل (9) حسب سرعة الرياح، يظهر أن النموذجين NACA2410 و NACA2415 يتمتعان بأعلى إنتاج للطاقة، حيث يصل إلى حوالي 3000 واط عند سرعة رياح 10 م/ثا. الطاقة المنتجة تستقر بعد الوصول إلى السرعة القصوى للتوربين، مما يعني أنه يحافظ على إنتاج مستقر حتى مع زيادة سرعة الرياح.هذا الاستقرار في إنتاج الطاقة هو ميزة مهمة للتوربينات التي تعمل في ظروف رياح متقلبة. على الجانب الآخر، النموذج NACA2420 يظهر إنتاجًا أقل للطاقة مقارنة بالنموذجين الآخرين. ويبدأ إنتاج الطاقة في الانخفاض بشكل ملحوظ بعد تجاوز السرعة المثلى. هذا الانخفاض في الإنتاج يجعله أقل تنافسية باقي النماذج عند سرعة رياح عالية أو منخفضة.

d- الإنتاج السنوي للطاقة:(AEP) :

عند تحليل الإنتاج السنوي للطاقة، نجد أن NACA2410 يقدم أعلى إنتاج سنوي في المواقع ذات سرعات الرياح المختلفة. على سبيل المثال، فقط عند سرعة 6 م/ث، ينتج NACA2410 حوالي 6.90 ميجاواط/ساعة سنويًا، مقارنة بـ 6.43 ميجاواط/ساعة لـ NACA2415 و5.40 ميجاواط/ساعة لـ .NACA2420 هذا يعزز من مكانة NACA2410 كأفضل تصميم لتوربينات الرياح التي تهدف إلى تحقيق أعلى إنتاج سنوي للطاقة، خاصة في البيئات التي تتميز بسرعات رياح منخفضة إلى متوسطة (الشكل 10).



الشكل 10: الإنتاج السنوي للطاقة .

الخلاصة : Conclusion

استنادًا إلى التحليل الشامل الذي تم إجراؤه في هذا البحث، يمكن استخلاص أن تصميم الشفرة الهوائية NACA2410 هو الأكثر كفاءة وفعالية بين التصميمات الثلاثة التي تمت دراستها (NACA2410، NACA2415، NACA2420) يتميز هذا التصميم بتوزيع مثالي للوتر وزاوية الالتواء على طول الشفرة، مما يسمح له بتحقيق أعلى مستويات كفاءة تحويل طاقة الرياح إلى طاقة كهربائية عالية. تظهر هذه الكفاءة بشكل خاص في البيئات ذات سرعة رياح منخفضة إلى متوسطة ، حيث يتمكن تصميم NACA2410 من الاستفادة القصوى من طاقة الرياح في تلك الظروف. ويتفوق بشكل ملحوظ في معظم سيناريوهات التشغيل، حيث يعزز من قدرته على التقاط طاقة الرياح بفعالية أكبر هذا التحسن في الكفاءة الديناميكية يؤدي إلى زيادة إنتاج الطاقة السنوي، مما يجعله الخيار الأكثر استدامة وجدوى اقتصادية، خاصة في المناطق التي تتميز برياح منخفضة إلى متوسطة.

References:

1- REN21, 2024. Renewables 2024 Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat.
2- International Renewable Energy Agency (IRENA), 2024. *Renewable energy statistics 2024*. Abu Dhabi: IRENA.
3- Liu, Y., Li, P., He, W. and Jiang, K., 2020. Numerical study of the effect of surface grooves on the aerodynamic performance of a NACA 4415 airfoil for small wind turbines. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics, 206, p.104263.
4- Suresh, A. and Rajakumar, S., 2019. Design of small horizontal axis wind turbine for low wind speed rural applications. *Materials Today: Proceedings*, [online] Available at: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.008
5- Yossri, W., Ben Ayed, S. and Abdelkefi, A., 2021. Airfoil type and blade size effects on the aerodynamic performance of small-scale wind turbines: Computational fluid dynamics investigation. *Energy*, 229, p.120739.
6- Debbache M, Hazmoune M, Derfouf S, Ciupageanu D-A, Lazaroiu G. Wind Blade Twist Correction for Enhanced Annual Energy Production of Wind Turbines. *Sustainability*. 2021; 13(12):6931. https://doi.org/10.3390/su13126931
7- Zalewska, J., Damaziak, K. and Malachowski, J., 2021. An energy efficiency estimation procedure for small wind turbines at chosen locations in Poland. *Energies*, 14(12), p.3706. https://doi.org/10.3390/en14123706,
8- M. Hazmoune, G. Lazaroiu, D.-A. Ciupageanu and M. Debbache, "Comparative study of airfoil profile effect on the aerodynamic performance of small scale wind turbines," *2021 12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, Bucharest, Romania, 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/ATEE52255.2021.9425211.
9- Qblade software: https://qblade.org/.
10- Burton, T., Sharpe, D., Jenkins, N., &Bossanyi, E. (2001). *Wind energy handbook*. Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119992714
11- L.A. Viterna, R.D. Corrigan, Fixed Pitch Rotor Performance of Large Horizontal Axis Wind Turbines, in: DOE Workshop on Large Horizontal Axis Wind Turbines, OH, 1981.
12- Serban, A., Paraschiv, L.S. and Paraschiv, S., 2020. Assessment of wind energy potential based on Weibull and Rayleigh distribution models. *Energy Reports*, 6(Suppl. 6), pp.250-267. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.08.048

شطوط وسباخ الصحراء الجزائرية ثروة اقتصادية مهملة

Chotts and sebkhats of the Algerian desert: aneglectedeconomicresource.

حسيني مسعود [1]، وحسيني محمد العلمي[2]

[1] جامعة قاصدي مرباح ورقلة مخبر جيولوجيا الصحراء ، (الجزائر) ، hacini.messaoud@univ-ouargla.dz

[2] المدرسة الوطنية للمهندسين صفاقس ، مخبر أبحاث المياه والطاقة والبيئة ، (تونس) ، mohammed-elemihacini@enis.tn

تاريخ الإرسال: 2024/11/04 تاريخ القبول:2024/12/18 تاريخ النشر: ديسمبر /2024

ملخص

تعد المسطحات المائية الملحية (السباخ والشطوط) من الأوساط المائية القارية التي تتميز بمناخ صحراوي شديد الحرارة صيفا أين تصل درجات الحرارة إلى ما يقارب الخمسين وتنخفض إلى مادون الصفر في شهر ديسمبر و جانفي. تبدأ عمليات ملء الشط في شهر أكتوبر إلى نوفمبر لتصل إلى ذروتها خلال شهر جانفي ، ومنه و مع ازدياد درجة الحرارة في شهر مارس تمر المياه الملحية بعمليات تبخر تشتد بازدياد درجة الحرارة إلى أن يتبخر أكثر من 80% بالمائة منها وتترشح البقية داخل الفراغات البينية في طبقات قعر البحيرة. تنتج عن عمليات التبخر سلاسل من الأملاح ويغلب عليها عموما ملح كلوريد الصوديوم كما يترسب الجبس، أملاح المغنسيوم، السيلفاتات، ملح البوتاسيوم ، وفي نهاية الدورة تترسب بعض أملاح اللثيوم الذي يبقى في الحالة السائلة إلى مراحل متقدمة من التبخر.

تعد هذه الأملاح ثروة اقتصادية واعدة يتطلب التكفل بها كونها ثروة متجددة وصديقة للبيئة وكذلك لا يتطلب استخراجها طاقة.

تعد السباخ والشطوط أوساط هشة ومهددة من الناحية البيئية حيث تستقطب كميات كبيرة من المياه الملوثة والمواد الصلبة لذا وجب التكفل بها ودراستها بشكل عميق من اجل إيجاد البدائل الاقتصادية بعد نضوب الثروة الاحفورية.

تعد هذه الدراسة ملخص لمجموعة من الدرسات قمنا بيها في الصحراء الشمالية الشرقية خلال سنوات الماضية، باستعمال الطرق الميدانية والمخبرية المعتادة في مثل هذه الدراسات، حيث أثبتنا وجود ثروة ملحية كبيرة واعدة لاقتصاد بديل. حيث إن ملح الطعام فقط يمكن ان نستخلص أكثر من 2 مليون طن سنويا باعتبار الحصيلة الكتلية في شط مروان.

الكلمات المفتاحية : جيوكيمياء، الاملاح التبخرية ، الحصيلة المائية الليثيوم

المؤلف المرسل: حسيني مسعود ، الإيميل المهني : hacini.messaoud@univ-ouargla.dz

Abstract

Salt-water bodies are (Sebkhas and chotts) from continental aquatic realm located in desert climate with very hot summer where temperature can reach 50°c and can drop below zero in December and January. The Lake filling process starts from October till November to reach its maximum in January. With increasing temperature during the month of March, Salt water undergoes evaporation, which increases towards high temperatures until more than 80% of it evaporates while the remaining infiltrates through the interspaces in the layers of the bottom of the lake producing evaporate series. It is generally dominated by sodium chloride salt; gypsum is also deposited magnesium salts, sulfate, and potassium salt... At the end of the cycle, some lithium salts are precipitated, which remains in the liquid state until the advanced stages of evaporation.

These salts are economically promising and they need to be taken into account because they are environmentally friendly and renewable resource as well as it does not require energy for its extraction.

Sabkhas and chotts are fragile environment and environmentally endangered because these lakes which attracts large amounts of polluted water and solids, Therefore, it must be taken care of and deeply studied in order to find economic alternatives after the depletion of fossil wealth.

This study is a summary of a series of research conducted in the northeastern Sahara over the past years, using the usual field and laboratory methods applied in such studies. We have proven the presence of a significant and promising salt wealth for an alternative economy. For instance, table salt alone can yield more than 2 million tons annually, based on the mass output in ChottMarouane.

Key words: geochemistry, evaporiticsalt, water balance, lithium

مدخل: Introduction

تمتد الشطوط والسباخ على مساحات شاسعة في شمال أفريقيا الصحراء الجزائرية وهي أحواض مائية مغلقة طبيعية تميز عموما المناطق الجافة وهي امتداد طبيعي متناغم مع اتجاه جريان المياه السطحية مما يسمح لها بتلقي كميات كبيرة من المياه والمواد المنحلة وذلك ما يجعلها ذات أهمية خاصة (Hacini, M.2006).

تصنف هذه البحيرات الملحية إلى أحواض داخلية قارية مغلقة أي ليست لها علاقة بالبحر وتصنف السباخ الآخرة بالأحواض المفتوحة والتي تكون مع علاقة بالبحر كبحيرات القالة و ام الطبول بولاية الطارف. كما تصنف هذه البحيرات المالحة في غالب الأحيان كمناطق رطبة، وبدورها تصنف البحيرات الملحية ب دائمة(Yan et al 2002) والتي تغطى طوال السنة بالمياه وعادتا ما تكون مياهها عميقة قد تصل إلى عدة أمتار أم المؤقتة فتملئ في فترة الشتاء وتفقد كل مياهها أثناء فترات التبخر الشديدة في فصل الصيف أين تفقد وترسب كل محمولاتها في قعر الحوض وتتميز عموما بمياه ضحلة لا تتعدى في غالب الأحيان الثلاث أمتار (3م).

تؤدي البحيرات المالحة أدوارا طبيعية مميزة منها العلمية،البيئية الاقتصادية والسياحية.

- إن الدراسة العلمية لهذه الأوساط تسمح بتتبع آليات تبلور المعادن وترسبها من خلال عمليات التبخر حيث في فترة الشتاء تكون البحيرة مملوءة خلال شهر جانفي و فيفري وفي منتصف شهر مارس ومع ازدياد درجة الحرارة تبدأ عمليات التبخر حيث تتشكل لنا السلاسل البخارية من الكلس وملح الطعام الجبس .... إلى إن نصل إلى شهر جوان أين يفقد الوسط مياهه كلها ويذلك يمكن محكاه ذلك بما يتم في أعماق الأرضوفي الغرف المغماتية. كما يمكن حساب سرع ترسب المعادن في الميدان وتعتبر هذه الأوساط مخبر جيوكيميائي في الهواء الطلق.
- كما تلعب هذه السباخ والشطوط دورا بيئيا هاما ذلك أنها تساعد على ضمان التنوع البيئي النباتي والحيواني كما تعد مناطق راحة للطيور المهاجرة حيث تعد الجزائر من أكبر 5 دول في العالم استقطابا للطيور المهاجرة.
- أما البعد الاقتصادي فان هذه الأوساط تعد بديل اقتصادي متميز حيث أنها تتميز بحمولة ملحية كبيرة وخاصة ملح الطعام حيث توفر هذه الأوساط ملايين الأطنان والجزائر تعد من اكبر الدول المصدرة لهذه المادة ويصل سعر الطن في السوق العالمية إلى 20 دولار وهذا في حد ذاته بديل اقتصادي محلي مهم فشط مروان لوحده والواقع بالمغير له قدرة إنتاج تفوق مليوني طن سنويا، كما أن شط عين البيضاء بورقلة كان مصدر مادة الملح إلى دول افريقية. كما يعتبر البوتاسيوم من أهم العناصر ذات التراكيز العالية ويدخل في تكوين (NPK) وهو أهم الأسمدة الزراعية. أما الليثيوم فهو عنصر استراتيجي وهو ضرورة ملحة في الثورة الصناعية الرابعة الواعدة فعنصر الليثيوم (Zatout et al 2020) الذي هو المركب الأساسي لصناعة (Hacini, et al 2010) البطاريات الطاقة الشمسية رفقة الرمل والمتوفر بكميات كبيرة ويحتاج إلى تقنيات التنقية العالية الجودة من اجل صناعات الألواح الشمسية إضافة إلى فترات التشمس الكبيرة التي تملكها المناطق الصحراوية جديرة بإنتاج طاقة بديلة عن الطاقة الأحفورية وصديقة للبيئة. كما أن هناك عدد كبير من العناصر الاستراتيجية) (Hacini et al 2011 والتي تدخل في عدة صناعات هامة كالسيلفتتات و المغنسيوم ....
- ضف إلى ذلك إمكانية استغلال هذه المناطق الصحراوية كأماكن سياحية حيث في فصل الصيف وذروة الحر هناك فارق حراري كبير في حيز ضيق قد تصل إلى عشر درجات مئوية، بإمكان السلطات تهيئة حواف هذه الأوساط من اجل التمتع بالبرودة في أوقات الحر الشديد.

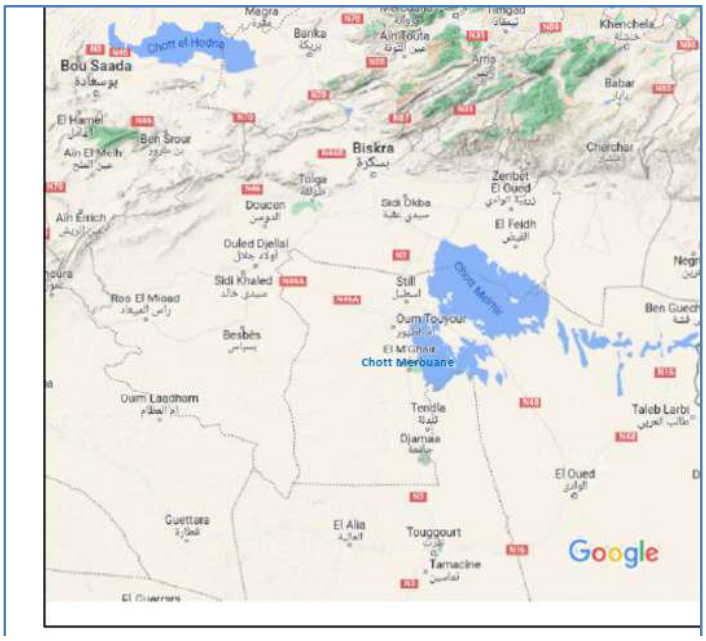
تعد هذه الدراسة ملخص لمجموعة من الدراسات السابقة حول شطوط وسباخ الصحراء الشمالية وتهدف إلى محاولة التحسيس بالأهمية الاقتصادية والبيئية لهذه الأوساط وإبراز بعض النتائج

التي تحصلنا عليه من خلال هذه الدراسات من اجل دراستها دراسة مستفيضة المحافظة عليها و حمايتها من التلوث

2.الخصائص العامة لسباخ والشطوط

أ.الموقع الجغرافي

تقع السباخ والشطوط في الصحراء الشمالية الجزائرية على امتداد حوالي 700 كم من المنيعة جنوب غرب إلى شط ملغيق شمال شرق (شكل.1) حيث نميز عدة شطوط وسباخ على امتداد هذا الخط نذكر من بحيرة المنيعة، شط عين البيضاء ورقلة، شط بغداد بمدينة الحجيرة ، شط مروان، شط ملغيق.



شكل 1.السباخ والشطوط في الصحراء الشمالية

ب.الخصائص المناخية

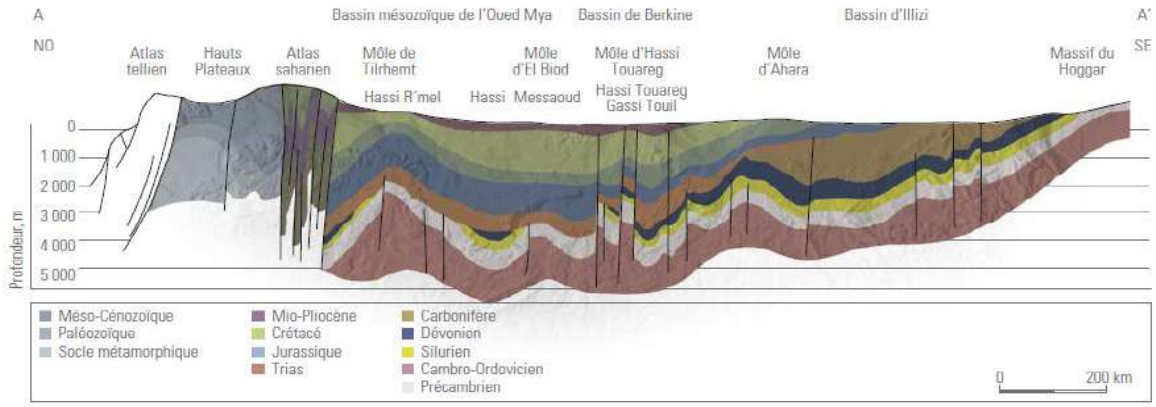
تتميز الصحراء الشمالية الشرقية بمناخ صحراوي حاد حيث تتراوح درجات الحرارة من الصفر في فصل الشتاء إلى 48 درجة مئوية في فصل الصيف، كما إن التساقطات تكون نادرة جدا حيث لا تعدد التساقطات السنوية 70مم أما التبخر فتسجل هذه المناطق اكبر معدل للتبخر في شهر جويلية لتعدى 450 مم (Hacini et al 2008).

تتميز هذه الأوساط بخضوعها لظروف مناخية خاصة حيث دراجات الحرارة عالية صيفا تتعدى في بعض الأحيان الخمسين درجة مئوية (50°م) في شهر جويلية وتنخفض إلى مادون الصفر في شهر جافي. وبذلك تمر هذه الأحواض المغلقة بفترة ملء في فصل الشتاء حيث تكون تراكيز المواد المنحلة ضعيفة وفي نهاية شهر مارس تنطلق عمليات التبخر بازدياد درجة الحرارة التدريجي مما يساعد على عملية التبخر لتدخل البحيرة المليحة في آليات متتابعة من تحلل وترسب للمواد الملحية لتفقد البحرية

الملحية أكثر من 80 المائة من مياهها في فصل الصيف ونهاية شهر جوان وبداية شهر جويلية وتترشح الكمية الباقية في الفراغات البينية لسرير الحوض.

ج.الخصائص الجيولجية و الهيدروجيولوجية

تنتمي السباخ والشطوط إلى الحوض الرسوبي لصحراء حيث يتميز بقشرة رسوبية يصل سمكها في بعض المناطق إلى 6000م(شكل.2) ينقص السمك فس الحواف الجنوبية ليزداد في وسط الصحراء حيث تتابع الترسبات البحرية والقارية من الأسفل إلى أعلى وهي عبارة عن رسوبيات غضارية ، رسوبيات كلسيه وكذا رسوبيات رملية.



شكل.2.مقطع جيولوجي شمل- غرب جنوب- شرق للحوض الرسوبي لصحراء الجزائرية(Hacini et al 2010)

ترتكز جميع هذه الأحواض المغلقة في رسوبيات الحقب الرباعي و تحتلف النظريات الجيولوجية في كيفية تشكلها يحث تذهب بعض الآراء الجيولوجية على أن السباخ والشطوط هي بقايا بحر الميوسن أما الفرضية الثانية فهي تشكلها في الحقبة المطرية قبل حوالي 12 ألف سنة.

تحتوي منطقة الدراسة على تجمعات مائية هائلة تعد من أكبر(Guendouz et al 2003) التجمعات المائية في العالم وهما طبقتي التداخل القاري والقاري النهائي كما إن الطبقة المائية الحرة السطحية تنتشر في معظم المناطق.

المتداخل القاري (CI)

يطلق على المتداخل القاري مجموعة الطبقات الرسوبية المحصورة بين فترتين بحريتين بين حقب الحياة القديمة والعصر الطباشيري الأعلى وهي عبارة عن ترسبات رملية و غضارية وكذا رسوبيات بخرية من مختلف الأملاح كالجبس وملح الطعام و الابسومايت... تحتوي هذه الرسوبيات على تجمع مائي يتربع على مساحة 600000 كم^2 ويشترك فيه الدول الثلاثة الجزائر وليبيا وتونس والجزء الأكبر من موجود في الجزائر يختلف سمك هذه الطبقة المائية من منطقة إلى أخر حيث يكون كبير في مركز حوض الصحراء الشمالية في منطقة ورقلة وتقرت ووادي ريغ عموما حيث يستغل في منطقة ورقلة على

عمق 1200م في يصل في منطقة بسكرة إلى 2400م وينخفض عمقه وسمكه في حواف الحوض ليجري على سطح الأرض في منطقة ادرار (الفقارة) ونصل له في منطقة المنيعة على عمق 80م ، أما عن نوعية المياه فهي جيدة عموما حيث تنخفض الملوحة في منطقة المنيعة إلى 0.3غ/ل وتزداد باتجاه مركز الحوض لتصل إلى أقصى حد 2غ/ل.

القاري النهائي (CT)

يطلق على القاري النهائي تلك الرسوبيات القارية بعد انحصار بحر الميوسن وهي رسوبيات رملية و غضارية و رسوبياتبحيرية بخرية والسلاسل الملحية وتحتوي على تتابع عدة طبقات مائية كطبقة التيرونية (Turonien) والسينونية الكربوناتية (Sénonien carbonaté) وأخير طبقة الميوبليوسان (Miopliocène)

تتربع هذه الطبقة المائية على مساحة 350000م^2 ممتدة بين الجزائر وتونس أما عن نوعية المياه فهي عموما سيئة قد تصل في بعض المناطق 4غ/ل.

الطبقة المائية السطحية

وتنتشر في كل المناطق وهي غير عميقة وتتأثر بشدة التبخر حيث تكون مياهها شديدة الملوحة.

جدير بالذكر أن القاري نهائي يساهم بشكل مستمر في تغذية السباخ والشطوط عن طريق الخاصة الشعرية

3. المواد والطرائق:Materials and methos

تعتبر هذه الدراسة ملخص عام لمجموعة من الدراسات أجريت على بعض سباخ وشطوط الصحراء الشمالية وذلك لمدة 22 سنة حيث قمنا بتتبع التطور الجيوكميائي للمياه المالحة.

وتعد دراسة المياه المالحة للسباخ والشطوط معقدة جدا ونظرا لخصوصيتها وذلك بفعل التراكيز الملحية العالية حيث تتطلب عمليات تمديد المياه المالحة وذلك من أجل تقريب التراكيز من التراكيز الحدية للأجهزة المستعملة في مختلف التحاليل، إن تمرير المياه عالية الملوح في هذه الأجهزة الحساسة من شأنه تشكيل انسدادا تكبيرة عبر قنوات أجهزة التحليل مما يؤدي إلى إحداث أضرار كبيرة في بعض الأحيان على هاته الأجهزة - نتكلم هنا أحيانا عن أجهزة باهظة الثمن.

أما عن النهج المتبع في دراسة هته الأوساط فيعتمد على عدة نقاط أخذ عينات دورية من المياه ابتدأ من فترة الملأ إلى التبخر الكلي لمياه البحرية أو الشط, كذلك أخذ عينات الملح المترسب أثناء عملية التبخر، كما يمكن إجراء عملية التبخر باستعمال دراجات حرارة ثابت و نتابع ترسب الأملاح بدلالة اختلاف التركيز.

كما نستعمل بعض البرامج من أجل محاكة عملية التبخر وإيجاد المسار النظري لعملية التبخر وكذلك التنبؤ بتتابع المعادن البخارية وأيضا ترسب المعادن وحساب سرعة ترسبها

أما عن الأجهزة المستعمل في تحليل العينات فهناك عدة طرق:

الطريقة الحجمية و هي عمليات تحليل المياه المالحة بالطرق الحجمية البسيطة كتحليل الكلوريداتو السيلفاتات والكروبونات .....

كما يمكن استعمال بعض الأجهزة لتحليل عينات المياه المالحة استعمال بعض الأجهزة:

جهاز الامتصاص الذري atomic Absorption جاهز السائل الفاصل اللون عالي الكفاية HPLC مطياف كتلة البلازما المقترنة حثيا ICP-MS كما نحلل العيبات الملحية في:

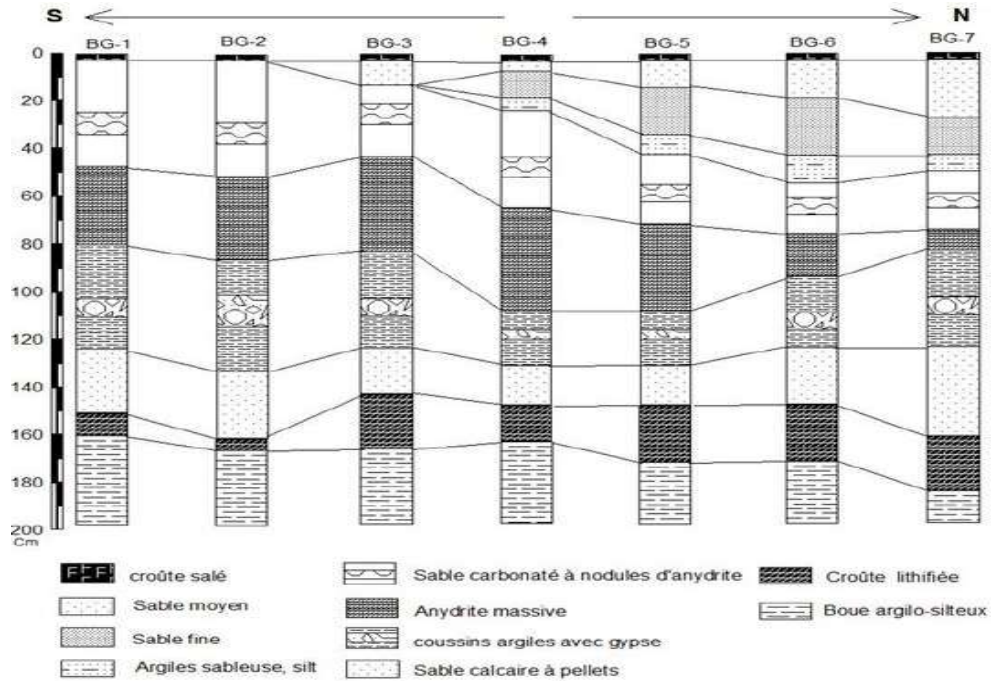
جهاز جهاز حيود الاشعة السينية المجهر الالكتروني MEB

اما عن تحليل تراكيز الليثيوم في المياه فيتطلب ذلك عناية خاصة. كون هذا العنصر يتداخل مع العناصر الغالبة كالصوديوم و المغنيسيوم , مما يتطلب ازالت التراكيز العالية للمغنيسيوم و السيلفتات حيث اعتمدنا على البرتوكول المتبع من طرف مخبر علوم المواد لمركز البحث برج السدرية بتونس (Hamzaoui et al 2006)

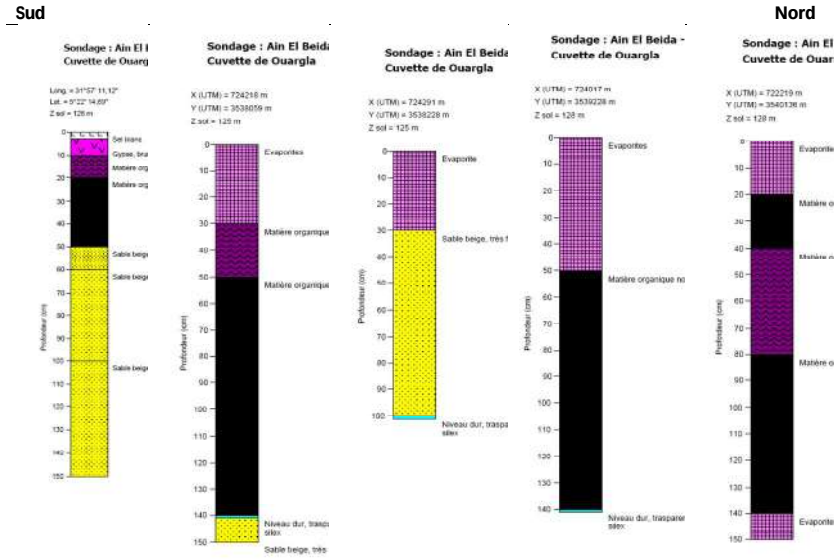
4.النتائج والمناقشة: Résulta et Discussion

أ.الخصائص الجيولوجية والهيدرولوجية لسباخ وشطوط لصحراء الشمال الشرقي

تعد السباخ والشطوط أحواض قارية مغلقة تتميز بوجود طبقة غير نفوذة تسمح بالاحتفاظ بالماء وتكون غضارية أو غضارية رملية داخل الحوض وعموما تتخلل هذه الطبقات الكتيمة شبكة من الفوالق والشقوق تسمح بتغذية الحوض بالمياه الجوفية، فمنا خلال دراستنا بانجاز (Zatout,M. 2018) مقاطع جيولوجية لتعرف على المكونات الجيولوجية لقعر الحوض فكانت النتائج هي تتابع لترسبات رملية و غضارية بسمك لا يتجاوز ال50سم وتتخلل هذه الترسبات طبقات ملحية من تكون من الجبس بسمك متوسط 20سم، وقد لاحضنا وجود طبقتين من الصخور الملحية ومما يدل على تتابع فترتين رطبتين خلال الحقب الرباعي حيث تتوافق مع ماهو مبين في دراسة سبخة ملالة غرب مدينة ورقلة الصحراء الجزائرية مرت بفترات رطوبة وفترات جفاف واثبت ذلك بدراسة رسوبيات سبخت ملالة و اثبت التنقيب الذي قمنا به في هذه الأوساط وعلى عمق 1متر نجد طبقة من 20 إلى 30 سم من المواد العضوية السوداء اللون حيث تشكل السباخ وسط يحفظ المواد العضوية من التحلل بفعل تعطل النشاط البيولوجي نظرا للملوحة العالية (Lamini et Al 2017, Haddanel 2020) الشكل 03،04.



الشكل رقم3: يمثل مقطع جيولوجي انجز في حوض شط بغداد ببلدية الحجيرة(LAMINI ; 2020)



الشكل 04: يمثل مقطع جيولوجي أنجزا في حوض شط عين البيضاء ورقلة (ZATOUT 2018).

إما عن الحصيلة المائية لهذه الأوساط فان تغذية هذه الأحواض تتم أما عن طريق المياه السطحية كالإمطار ومياه السقي الزراعي و بواسطة الخاصة الشعرية من الطبقات الجوفية ففي شط مروان في منطقة المغير فقد اثبت الدراسات انه يتغذى من مياه قناة الصرف وادي ريغ بمعدل 180 مليون متر

مكعب سنويا و62 مليون متر مكعب من طبقة الميوبليوسان العليا أما مياه الأمطار فتمثل كمية قليلة سنويا نظرا لندرة الأمطار في هذه المناطق (Hacini et al 2006).

ب.الخصائص الجيوكيميائية والمعدنية للمياه السباخ والشطوط

أن القياسات الفزيوكيمائية للمياه الملحية في الأحواض المغلقة لصحراء الشمالية الشرقية أثبتت إن معظم هذه المياه تكون متعادلة أين يكون الرقم الهيدروجيني(pH) يدور حول 7 وقد يصل في بعض الفترات خاصة في منتصف النهار إلى 8 خاصة بجانب غابات النخيل. تصل درجة حرارة المياه إلى 35 درجة مئوية في فصل الصيف .تتميز المياه الملحية في هذه المناطق والأحواض بملوحة عالية جدا حيث تصل في بعض الأحيان كشط مروان شملا إلى أكثر 350 غ/ل في حين تصل في شط بغداد بمدينة الحجيرة إلى 250 غ/ل(Haddane et al 2020)حيث تزداد الملوحة باتجاه الشمال الشرقي وتتبع في ذلك اتجاه جريان المياه وحيث تتحمل بالأملاح خلال مرورها على التكشفات الجيولوجية.إن التحليل الكيميائية التي أجريت على مياه بعض الشطوط والسباخ فهي تتميز بمياه يغلب عيها الصوديوم و الكلوريد حيث تصل نسبة هاذين العنصرين إلى 75-95 بالمائة من الحمولة الملحية الكلية كما يصل المغنسيوم إلى حوالي 3 بالمائة كما يشكل البوتاسيوم حوالي 0.5 الى 1 بالمائة وتصل نسبة السيلفاتات إلى 3-4 بالمائة. أما عن سحنة المياه فهي كلوريدية صودية إلى سيلفاتية صودية. كما تتميز بنسبة قليلة من الكالسيوم وعموما و تترتفع تراكيز البوتاسيوم في بعض الشطوط الى 50غ/ل(شط بغداد بالحجيرة) وهي تراكيز جد معتبرة من الناحية الاقتصادية و ضف الى ذلك تركيز المغنسيوم.

إن تحليل العينات الملحية بأشعة X تثبت انتشار كبير لكلوريد الصديوم(NaCl) Halite أي ملح الطعام في تقريب كل الانظمية الجيوكيميائية لهذه الأوساط المائية وكذا الجبس الذي ينتشر(Gypse($CaSO_4$) بشكل كبير في معظم العينات المدروسة، كما نجد كميات معتبرة من ملح البيشوفيت(Bischovite($MgCl_2$)، وأملاح أخرى متعددة : الهيكسايدريت(Hexaydrite)، البلوديت(Bloeidite)، الابسومايت(Epsomite), التناريديت(Thénardite) أو الميرابيلت(Merabilite)...

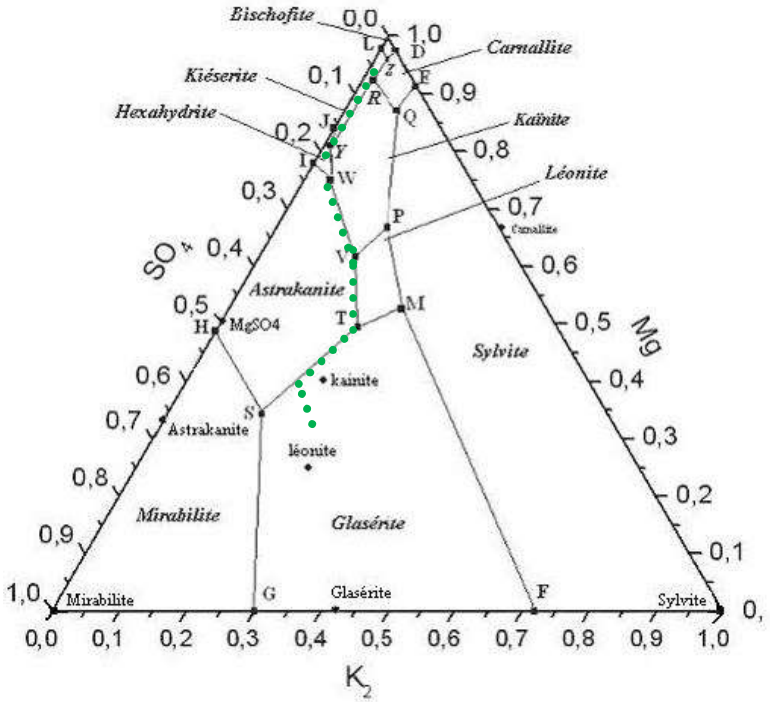
ج.تتطور المياه المالحة أثناء عملية التبخر

تعد دراسة تتطور المياه الملحية أثناء عملية التبخر من أهم الدراسات التي تبين لنا الآليات الجيوكيميائية المتحكمة في تطور وكذا استخلاص المتتابعة المعدنية التي تترسب أثناء عمليات التبخر و ماهي الظروف الترمودناميكية المتحكمة فيها، هناك طريقتين لتتبع عملية تبخر المياه والتفاعلات الكيميائية المصاحبة لها وكذا نوعية الأملاح المترسبة:

- التتبع الميداني وهو اخذ عينات من المياه انطلاقا من نهاية ملء البحيرة إلى غاية التبخر الكلي لمياه الوسط وكذلك اخذ عينات من الملح المترسب في كل مرة،
- أما الطريقة الثانية وهي عملية التبخر بدراجة حرارة ثابتة (25درجة أو 35 درجة) في المخبر.

وهناك عدة البرامج لمحكأة التبخر تستعمل في توقع الأملاح المترسبة أثناء عملية التبخر وذلك انطلاقا من التركيبة الكيميائية الابتدائية للمياه.

نسقط هذه النتائج على مخطط جنكي أو المخطط الخماسي الذي يستعمل خمس عناصر لرسمه و هي الصوديوم، الكلوريد، البوتاسيوم، السيلفاتات وكذا المغنسيوم وفيه يفترض أن الوسط فوق مشبع بالهاليت أي ملح الطعام ويتكون هذا المخطط من مجموعة من مجالات التوازن لبعض الأملاح وعليه نستطيع معرفة المعادن الاقتصادية الممكن الحصول عليها(Zatout.M 2017) (شكل05) الذي يعطينا مثلا عن مسار تطور مياه شط بغداد حيث تبين النتائج إن نهاية التبخر تنتهي بالحصول على ملح ثنائي كرناليت وهو سيلفاتات المغنسيوم والبوتاسيوم.



الشكل 05: المخطط المحيطي جنكي الخماسي(Na^+, K^+, Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}//H_2O à 35°C)الذين يبين المسار النظري والحقيقي لتطور مياه شط بغداد بالحجيرة.

د.بعض المؤشرات الاقتصادية لسباخ وشطوط شمال شرق الصحراء الجزائرية

إن الدراسات الأولية التي قمنا بها في عدة شطوط وسباخ في الصحراء الجزائرية تثبت وجود ثروة اقتصادية منسية حيث إن حساب الحصيلة الكتلية الملحية لشط مروان مثلا تثبت إمكانية إنتاج كميات كبيرة من ملح الطعام حيث انه من بين المواد المطلوبة في السوق العالمية وقد يصل إلى أكثر مليوني طن سنويا، وحاليا لا ستغل من شط مروان إلا ما يقارب 300000الف طن سنويا. كما اثبت الدارسات

تراكيز جد معتبرة من البوتاسيوم قد تصل في بعض الشطوط إلى ما فوق 40 غ/ل وهو رقم اقتصادي واعد ولا ننسى المغنسيوم والسيلفتات.

أما عن عنصر الليثيوم (Zatout et al 2020) وهو عنصر استراتيجي واعد في الصناعات الحديثة حيث يعد اللاعب الأساسي في صناعة السيارات الكهربائية والهواتف النقالة وبطاريات تخزين الطاقة الشمسية، إن الدراسات التي قمنا بها تشير إلى تراكيز عالية واعدة حيث يصل في شط مروان و ملغيق إلى 50-60 ملغ/ل ويصل أثناء التبخر متساوي درجة الحرارة إلى 600 ملغ/ل وهذه الأرقام تدل على إمكانية استخلاص كميات اقتصادية من هذه الأوساط. و هناك عدة عناصر قد يكون لها دورا اقتصاديا واعد.

الخاتمة :Conclusion

تعد السباخ و الشطوط في الصحراء الجزائرية أحواضا داخلية مغلقة , و تتميز مياهها بنسب ملوحة عالية مما يجعلها تجمعات معدنية هامة حيث أثبتت الدراسات التي أجريتها في هذا الأوساط أنها ذات إنتاجية عالية لعدة أملاح , منها ملح الطعام الذي وجدنا أن الحصيلة الكتلية لشط مروان لوحده تفوق ثلاث ملايين طن سنويا و هذا في حد ذاته بديل اقتصادي هام مع العلم أن هذه الثروات متجدد ,بالإضافة إلى ملح الطعام هناك ملح البوتاسيوم ,المغنسيوم وكذا السلفاتات و ضف إلى ذلك ملح الليثيوم الذي يعد عنصر أساسي في الصناعات الحديث كسيارات الكهربائية و الطاقة الشمسية ,,,,

و يجب التنويه أن هاته الأوساط مهددة من الناحية البيئية حيث أنها تصل إليها أنواع عدة من المياه الملوثة التي تؤدي إلى تدهورها لذا وجب الحفاظ هذه المسطحات المائية من التلوث.

المراجع: Références

1-Guendouz,A., Moulla ,A. S., Edmunds,W. M., Zouari,K., Shand,P. & A. Mamou. (2003) Hydrogeochemical and isotopicevolution of water in the Complexe Terminal aquifer in the Algerian Sahara. *Hydrogeology Journal* volume 11, pages483–495 (2003).

2-Haddane, A.,Hacini, M.,Bellaoueur, A., Hamzaoui, A. H., et M'nif, A. (2017). Effect of evaporitepaleo- lacustrine facies on the brinesgeochemistry, economy implication. Case of chott Bagdad El Hadjira Ouargla, South-EasternAlgeria. *EnergyProcedia* Volume 119, Pages 228-235

3-HADDAN Abdennour (2020) Contribution à l'étude des potentialités miniers des Sebkhas et chotts en Algérie. Thèse de Doctorat en géologie pp198. Université d'Ouargla..

4- HACINI, M.(2006). Géochimie des sels et des saumures du Chott Merouane et calcul des vitesse de précipitation de quelques minéraux évaporitiques. Thèse de doctorat , Université Badji Mokhtar Annaba 200p.

5- Hacini, M., Oelkers, E.H. Geochemistry and Behavior of Trace Elements During the Complete Evaporation of the Merouane Chott EphemeralLake: Southeast Algeria. *Aquat Geochem* 17, 51–70 (2011). https://doi.org/10.1007/s10498-010-9106-z

6-Hichem Hamzaoui,Adel M'nif ∗, Ridha Rokban(2006). Mineralsaltsremoval and lithium traces determination in highlyconcentrated solutions and naturalbrines. *Talanta 70 (2006) pp 847–851* doi:10.1016/j.talanta.2006.02.011

7-Lamini , A., et Hacini, M. (2018). Geology and geochemistry of endoroique basin case of Baghdad chott southern of Algeria. - *AIP Conference Proceedings*,

8-Merzouk,Z., Romina ,L.L., Steinmetz ,b., Hacini,M., DaShao, B.F., M'nif, A., Hamzaoui, A.H., Lorena, C.L.(2020) Saharan lithium: Brinechemistry of chotts fromeastern Algeria. *AppliedGeochemistry*. Volume 115, April 2020, 104566

9- Yan, S.P., Hindirer, M., Einsele, G.(2002). Geochemicalevolution of closed basin lakes : general model and application to takesQunghai and Tarkana, *sedem, geol*. 148.105.122.

10-Zatout, M. (2017) : Géochimie et potentiel minier du Lithium dans les chotts Sud Algériens: Cuvette de Ouargla, Melghir et Merouane, *thèse doctorat*, Université Kasdi Merbah Ouargla 167p

مساهمة التأثير الشمسي في مصابيح LEDs والاستجابة في مجال القياسات الطيفية

Contribution of the solar effect in LEDs and spectral responses

كمال رميدي [1]، جمال قنديل [2]، مراد حدادي [3]

[1] المدرسة العليا الأساتذة بالقبة، قسم الفيزياء (الجزائر)، kamel.remidi@g.ens-kouba.dz

[2] المدرسة العليا الأساتذة بالقبة (الجزائر)، djamel.kendil@g.ens-kouba.dz

[3] المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات، قسم الإلكترونيات (الجزائر)، Mourad . haddadi @ enp . edu.dz

تاريخ الإرسال: 2024/10/09 تاريخ القبول:2024/12/01 تاريخ النشر: ديسمبر 2024

ملخص :

يصف هذا العمل التجريبي في مجال القياسات الطيفية (الاستجابات الطيفية)، وقياس حساسية الإشعاع الشمسي- عن طريق محاكاة الطاقة الشمسية لمصباح يعمل بالطاقة- مبدأ عمل الثنائيات الباعثة للضوء التجارية ذات الألوان المختلفة (LEDs) وقد كان قسم الإلكترونيات بجامعة USTHB باب الزوار (مختبر الطبقات الرقيقة couches minces)، والذي يحتوي على ناضد قياس يسمح بالتمثيل الطيفي النسبي لصورة الكاشف المعين(λ)Vphot، حيث هو موقع التجربة الأولى.

بالإضافة إلى ذلك، سمح لنا العمل الثاني أيضًا، في مخبر LSIC الموجود بالمدرسة العليا الأساتذة بالقبة (ENS Kouba بإعداد جهاز يقيس حساسية مصابيح) LEDs المختلفة، التي يشعها المصباح كدالة لشدة الإضاءة لمصدر الضوء، باستخدام مقياس لوكسميتر (luxmeter)، وفقًا للجهد عبر الثنائيات الباعثة للضوء (LEDs).

يلاحظ أنه ظهرت فرص جديدة لمصادر إضاءة طويلة الأمد وفعالة للغاية في شكل مصابيح (LEDs) ثنائيات باعثة للضوء، لإضاءة البيوت الزجاجية نتيجة للاختراقات الحديثة في مجال تقنيات مصادر الضوء. وعليه يمكن خفض تكاليف إنتاج الخضروات على المدى الطويل (بضع سنوات) بفضل استخدام مصابيحLEDs وذلك بفضل كفاءة استخدام الطاقة العالية لمصابيح (LEDs)، وانخفاض تكلفة صيانتها.

الكلمات المفتاحية: كاشف؛ تأثير؛ الطيفية؛ إشعاع؛ حساسية

Abstract:

This experimental work describes our work on spectrometric measurements (spectral responses) and measurement of the sensitivity of solar radiation by simulating the solar radiation from a powered lamp on commercial light-emitting diodes of different colors (LEDs). The first experiment was carried out at the electronics department in University of

المؤلف المرسل: كمال رميدي ، الإيميل المهني: kamel.remidi@g.ens-kouba.dz

USTHB Bab Ezzouar (Laboratory of thin layers), which has a measurement bench allowing the relative spectral representation of the photo of the detector noted Vphot (λ) .

In addition, at ENS Kouba in the LSIC laboratory, a second work has also allowed us to set up a device which measures the sensitivity of different LEDs radiated by the lamp as a function of the illumination power of a light source by using a luxmeter according to the voltage across the light emitting diodes (LEDs).

Recent developments in the field of light source technologies have opened up new perspectives for durable and highly efficient light sources in the form of LEDs (Light Emitting Diodes) for lighting greenhouses.

The introduction of LEDs makes it possible to reduce the cost of producing vegetables in the long term (several years), thanks to the high-energy efficiency of LEDs, their low cost of maintenance

Key words: LEDs; Detector ; Effect; Spectral; Radiation; Sensibility

مدخل :Introduction

إن البديل المثير للاهتمام للغاية، للمصادر التقليدية مثل مصابيح الفلورسنت أو مصابيح التوهج أو مصابيح التفريغ، هي مصابيح (LEDs) التقليدية المنخفضة الطاقة.

إنها توفر العديد من المزايا: استهلاك منخفض للطاقة، وعمر افتراضي طويل جدًا، وإمكانية اختيار لون دقيق، من بين ألوان اخرى كثيرة. وهذا ما جعل تطبيق مصابيح (LEDs) معروفة لدى عامة الناس لذلك تقود في الواقع مصابيح(LEDs) البيضاء سوق المصابيح، وبفضل تطوير مصابيح (LEDs) الزرقاء أثبتت العديد من الدراسات، من حيث البحث العلمي، إمكانات مصابيح LEDs كمصدر ضوء فعال لتطوير ونمو النباتات في البيئات الخاضعة للرقابة [1، 2]. وتعدّ القدرة على إعادة التشكيل إحدى الفوائد الرئيسة لمصابيح (LEDs). كما يعتمد الطيف المثالي وتعديل شدة الضوء اللازمة لعملية التمثيل الضوئي على مستوى النبات، على كفاءة هذه المصابيح في استخدام الطاقة.

بالإضافة إلى ذلك، فإن انبعاث(LEDs) ليس أحادي اللون تمامًا [3]، ويعتمد عرضه على كل من فجوة الطاقة ودرجة الحرارة. يتضاعف أداء مصابيح (LEDs) كل ثلاث سنوات، وكل عشر سنوات، ويتم تقسيم الأسعار على 10 [4]. إن الثنائيات الباعثة للضوء، هي مصادر صغيرة جدًا، ينبعث منها تدفق كبير بزاوية صلبة منخفضة [5].

تمثل إضاءة الحالة الصلبة باستخدام تقنية الصمام الثنائي الباعث للضوء(LEDs) نهجًا مختلفًا تمامًا وموفرًا للطاقة لصناعة البيوت الزجاجية، التي تتمتع بمزايا مختصة مقارنة بمصابيح تفريغ الغاز (مصابيح الصوديوم عالية الضغط). يومنا هذا. جميع الدفيئات الزراعية تقريبًا [6,7]. وتشهد مصابيح LEDs الزرقاء تطورا كبيرا، وقد حصل الباحثون على هذا الاكتشاف على جائزة نوبل في عام 2014 [8].

باستخدام مصابيح LEDs ، يمكننا أيضًا تقليل تكلفة الطاقة من خلال الإضاءة المتقطعة عالية التردد دون التأثير على عمر مصدر الإضاءة أو فعالية عملية التمثيل الضوئي. يعزز استخدام الإضاءة المتقطعة تراكم المواد الكيميائية الضوئية والنمو في زراعة العديد من النباتات ويعتبر وسيلة لتوفير الطاقة الإضافية.

تُعدّ مصابيح (LEDs) نوعا من الصمام الثنائي شبه الموصل، الذي يسمح بالتحكم في تكوين الطيف وتكييف شدة الضوء، لتتناسب مع المستقبلات الضوئية للنبات لتوفير نمو أفضل والتأثير على مورفولوجية النبات، وكذلك العمليات الفسيولوجية المختلفة، مثل التزهير وكفاءة التمثيل الضوئي. [9]. وقد يتم وضع مصابيح (LEDs) بالقرب من الصناعات، بسبب انخفاض ناتج الحرارة الإشعاعية، ويمكن إعدادها لإصدار تدفقات ضوئية عالية، حتى عند شدة الإضاءة العالية [10،11].

اعتمادًا على صناعة مصابيح (LEDs) ، يمكن أن ينبعث منها إشعاع ضوئي عريض النطاق (أبيض) أو أطوال موجية ضيقة الطيف (ملونة) محددة وفقًا للتطبيقات المرغوبة، مثل استجابات النباتات [12]. يتم نقل الحرارة في مصابيح LEDs المتبقية بشكل منفصل عن الأسطح الباعثة للضوء من خلال المشتتات الحرارية النشطة. يقع مصدر الضوء بالقرب من سطح الزراعة، لذلك لا يسخّن النباتات، ولا يوجد خطر الإجهاد، لمصابيح (LEDs) العالية الكثافة [13]، أما بالنسبة لتأثيرها الشمسي، فلم يتم القيام إلا بالقليل من الأعمال في هذا الاتجاه.

من المتوقع أن تكون مصابيح (LEDs) في المستقبل القريب (2024)، هي مصادر الإضاءة الأكثر كفاءة و موثوقية في السوق. كما تفتح مصابيح (LEDs) هذه، مجالًا استثنائيًا للابتكار المحتمل. ووفقا لـ جيه. نيلسون (G.Nelson) من مختبرات ساندیا، فإنه يرى "إذا تم استبدال جميع المصابيح المتوهجة في العالم بمصابيح LEDs، فيمكننا إنقاذ حوالي 38 محطة للطاقة النووية" [14]. وتتجلى أهمية هذا البحث أصلي جديد نتائجه جد مهمة في المستقبل من خلال وجهة النظري إلا أنه لم يتم القيام إلا بالقليل من الأعمال عن تأثير الإشعاع الشمسي والعمل التجريبي نادر جدا في هذا الميدان وبعض التطبقات كانت تستعمل الثنائيات الباعثة للضوء العضوية Light Emiting Diodes Organique(OLEDS)

ولذا لم تكن هناك مقارنة مع أعمال السابقة هذا عمل جديد جرب و أعط نتائج جيدة كما سيتم عرض العمل التجريبي فيما يأتي :

1 المواد والطرائق:Materials and methos

1.1 القياسات الطيفية على مصابيح LEDs ذات الألوان المختلفة: (الأحمر، الأخضر، الأصفر):

تشمل المواد المستخدمة في هذا العمل التجريبي، ما يلي:

1- يمكن استخدام جهاز أحادي اللون، كمحلل لمعلمات أشباه الموصلات لمرشح عرض النطاق الترددي القابل للتعديل.

2- صورة كاشف يتم وضعها خلف فتحة الإخراج، ويتم تسجيل الكثافة المرسلة كدالة للطول الموجي ويتم تعديلها عن طريق دوران الشبكة.

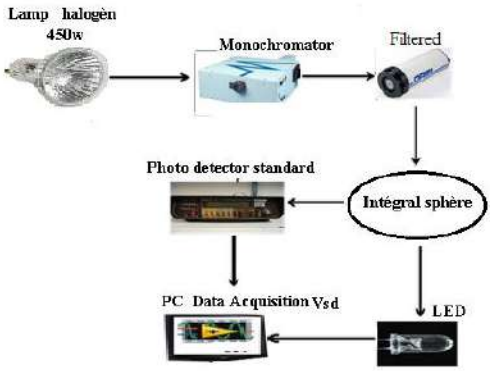
3- طيفي المصباح الذي، يكون لديه درجة حرارة منخفضة، في نطاق معين من الإصابة، إلى حد ما للخيوط (في حدود 2300 كلفن).

4- مرشح مضاد للسعرات الحرارية عن طريق الحد من نفسه، يحدد مساحة من الطول الموجي، حيث يعمل الكل تقريبًا في أحادي اللون (monochromator).

5- جهاز كمبيوتر للمعالجة والحصول على الجهد عند أطراف صورة كاشف Vsd.

2.1 الطرق

يعتمد تشغيل وحدة اللون الأحادي على نفس مبدأ مطياف CCD، فيما عدا ذلك، يتم استبدال مستشعر CCD بفتحة إخراج، ويتم تركيب الشبكة على برج، يمكن تغيير زاويته يدويًا أو عن طريق محرك. ولفهم نظام التشغيل هذا، كما يبين ذلك الشكل 1، يمكننا فتح غطاء الجهاز، واختيار صورة الكاشف، الذي سوف تمليه معايير مختلفة أهمها بلا شك حساسيتها، وبالفعل، فقد ظهر تطور كبير في العشريات الأخيرة. أي منذ نحو ثلاثين سنة.



الشكل 1: رسم تخطيطي سينوبتيكي لجهاز قياس الطيف بمصابيح LED ذات الألوان المختلفة: (الأحمر، الأخضر، الأصفر).

3.1. قياسات حساسية مصابيحLEDsالمختلفة باللون الأخضر والأصفر والأحمر وفقاً لشدة إضاءة المصدر:1

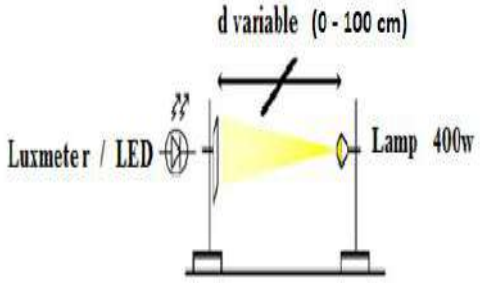
يظهر من الشكل 2 الجهاز المقترح لقياس الإضاءة كدالة لتيار (LEDs)

تتكون المواد المستخدمة من:

* المصباح: يتطلب ممنبع جهد مستمر ثابت 12 فولت وتيار قيمته4 أمبير.

* مقياس ضوء واحد لقياس الإضاءة

* جهاز رقمي متعدد القياسات دقيق: سيستعمل لقياس التيار عند أطراف (LEDs) (الأصفر والأخضر والأحمر)، ويستخدم في مقياس التيار الكهربائي.



الشكل 2: يوضح الرسم التخطيطي المقترح لقياس الإضاءة شدة الضوء (Luxmeter)

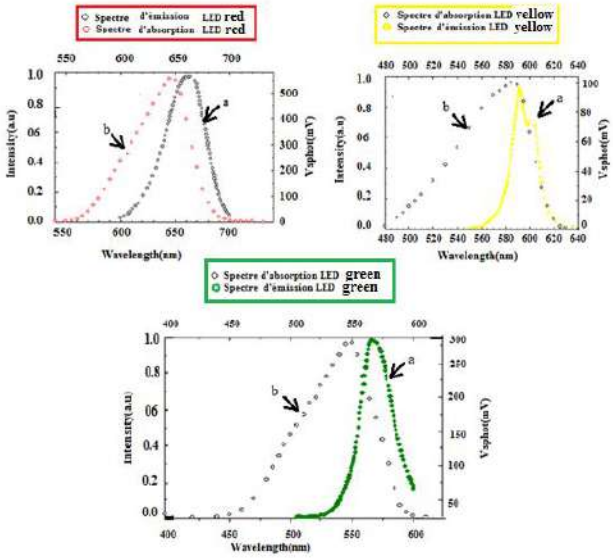
2. النتائج و المناقشة Results et Discussion

1.2.قياس أطياف الامتصاص/ الانبعاث في التزامن

إن الطيف الذي تم الحصول عليه لمصابيح LEDs المختلفة باللون الأحمر والأصفر والأخضر، هو كما يلي:

باستخدام وحدات موحدة (au) للكثافة، وباستخدام برنامجنا، حصلنا على الاستجابة الطيفية لمصابيح LEDs الخاصة بنا.

وتظهر النتائج في الشكل 3أدناه: باستخدام المنحنيات، يمكن تحديد الطول الموجي للانبعاث والامتصاص لكل من مصابيح LEDs المختلفة باللون.



الشكل 3: رسم بياني لأطياف القياس لمصابيح LEDs

أ) عند الامتصاص I (au) = f(λ)

ب) عند الانبعاث Vs phot (mV) =f(λ)

المصابيح الحمراء:

بالنسبة الي المجال المحصور بين 600 و700 نانومتر، هو النطاق النموذجي للإرسال والاستقبال المشترك، ولكن نطاق الامتصاص أوسع من نطاق الانبعاث.

*تصل الشدة إلى الحد الأقصى عند الامتصاص aui=1I عندλ =640nm

*تصل الكثافة إلى الحد الأقصى عند الانبعاثVs670mV =عند λ =670nm

المصابيح الصفراء:

بالنسبة الي المجال المحصور،هو بين 550 و630 نانومتر، ويكون نطاق الامتصاص أوسع منه عند الانبعاث،

*تصل الشدة إلى الحد الأقصى عند الامتصاص aui=1I عندλ = 570nm

*تصل الكثافة إلى الحد الأقصى عند الانبعاث Vs100mV =عند λ =590nm

المصابيح الخضراء:

بالنسبة إلي المجال المحصور نتائج مؤشر LED الأخضر متشابهة، وهي كما يلي:

لنطاق النموذجي، هو 520 إلى 610 نانومتر المشترك.

- نطاق الامتصاص أوسع منه عند الانبعاث كما هو موضح في الشكل 16.III

*تصل الشدة إلى الحد الأقصى عند الامتصاص 1I=1au عند λ =550nm

*تصل الكثافة إلى الحد الأقصى عند الانبعاث Vs=300mV عند λ =570nm.

يلاحظ أن منحنيات الاستجابة الطيفية التي تم الحصول عليها في الشكل 3، لها نفس الخصائص تقريبًا، مثل تلك التي قدمتها الشركة المصنعة. وترد القيم في الجدول 2 أدناه، سمح لنا في إطار هذا العمل بوضع ميزانية مقارنة عمومية. تعتبر النتائج التي تم الحصول عليها من أطياف البث (الانبعاث) والاستقبال المختلفة، مثيرة للاهتمام للغاية، كما هو موضّح في الجدول

المصابيح	احمر	اصفر	اخضر
عند الامتصاص الطول الموجي(nm)λ يتوافق Imax (au)	640 1	590 1	570 1
الطول λ(nm) عند الانبعاث الموجييتوافق مع Vsmax (mV)	670 600	570 100	550 300

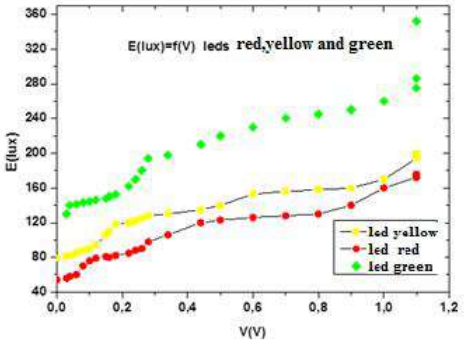
الجدول 1: مقارنة بين مصابيح LEDs المختلفة ذات الأطياف المختلفة عند الانبعاث والاستقبال

u.a: تمثل الوحدة التعسفية النسبة النسبية لشدة الضوء

Imax (au) يتوافق عند الامتصاص مع λ (nm) الطول الموجي

2-2. قياس حساسية مصابيح LEDs المختلفة باللون الأخضر والأصفر والأحمر بالنسبة لقدرة إضاءة المصباح:

استخدمنا التركيب الموضح في الشكل 2 السابق. نعلق مصباح LED على قضيب ونضيء بمصباح موضوع على بعد مائة سنتيمتر، يتم إنارة LED بواسطة المصباح ذو استطاعة قيمتها العظمي 400w ثمنغيير المسافة بين LED والمصباح المضاء في كل مرة بجهد قدره V= 12 وتيار I = 4A في نفس الوقت، نوصل مقياس متعدد الخدماترقمي دقيق يستعمل لقياس الجهد عند أطراف LED المضاءة في كل مسافة، ويتم قياس ضوء المصباح باستخدام مقياس لوكس ميتر. وتظهر النتائج التي تم الحصول عليها في الشكل 4.



الشكل 4 يبين خاصية الاضاءة باليكسمتر بدلالة الجهد بين طرفي المصباح
E(lux) =f (V)

لاحظنا أن الرسم البياني للإضاءة $E(lux)=f(V_{led})$ يعطي استجابة الليد (LED) لكل إضاءة للمصباح، كما نلاحظ اختلاف في الحساسية، الليد (LED) الأخضر بإضاءة 135lux ثم الأصفر 80lux وأخيراً الأحمر 50 lux. وتتفق هذه النتائج مع نتائج القياسات التي تم إجراؤها على الجزء (القياسات الإشعاعية باستخدام البيرانومتر). تؤكد نتيجة عملنا على تأثير ضوء المصباح أو التأثير الكهروضوئي للشمس.

وتتفق هذه النتائج مع نتائج القياسات التي تم إجراؤها على الجزء (القياسات الإشعاعية باستخدام البيرانومتر). تؤكد نتيجة عملنا على تأثير ضوء المصباح أو التأثير الكهروضوئي للشمس.

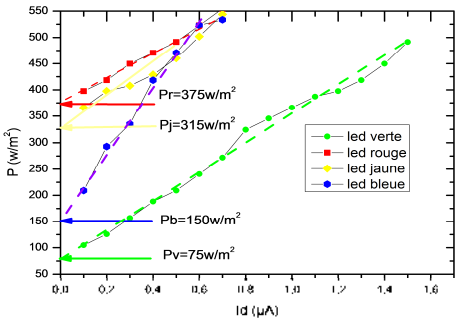
- تؤكد النتائج، التي تم الحصول عليها بالطبع فرضيتنا، التي تم وضعها بالفعل، وسنجعل من الممكن أيضًا تقييم إمكانات مصابيح LED في المجال الكهروضوئي.

بالإضافة إلى ذلك، تم إجراء تجربة نهائية في مختبر LSIC بالمدرسة العليا للأساتذة بالقبة، باستخدام مصباح الطيف لتكرار أشعة الشمس على طاولة القياس، حيث لاحظنا أن الإضاءة تتناسب تقريبًا مع الجهد عند أطراف مصابيح LED المختلفة.

تهدف هذه التجربة إلى إبراز، أن هناك تأثيرا لضوء المصباح على مصابيح LED هذه، وأن نفس جهد إضاءة LED مختلف، فإن LED الأخضر هو الأكثر حساسية، ثم الأصفر، فالأقل حساسية هو الأحمر.

لا تعتبر القيم المكتوبة بواسطة مقياس اللوكسميتر، في إطار القيم المطلقة المعطاة، قيمًا مكتوبة بشكل صحيح. وتتوافق هذه النتائج مع تلك المأخوذة في قياسات الإشعاع السابقة باستخدام مقياس البيرانومتر [15]، والذي يقيس شدة الضوء الفعلية الموضحة بالفعل في الشكل 5،مما يؤكد صحة استنتاجنا عن تأثير الضوء على الثنائيات الباعثة لضوء.

والهدف من هذه التجربة هو إثبات تأثير ضوء المصباح على هذه المصابيح وإبراز أن جهد إضاءة المصابيح يختلف ؛ فالضوء الأخضر هو الأكثر حساسية ، يليه الضوء الأصفر،والضوء الأحمر هو الأقل حساسية.



الشكل 5 خاصية شدة الضوء بالواط على متر مربع و التيار الذي يمر في LED
P(w/m2) =f (Id(µA)) [16]

- تؤكد النتائج، التي تم الحصول عليها بالطبع فرضيتنا، التي تم وضعها بالفعل، وسنجعل من الممكن أيضًا تقييم إمكانات مصابيح LED في المجال الكهروضوئي.

الخلاصة:Conclusion

- فيما يتعلق بكفاءة الطاقة والتمثيل الضوئي، توفر مصابيح LEDs فوائد كبيرة لنمو النبات.
- بالإضافة إلى ذلك، بفضل عمرها الطويل، فهي قادرة على ضمان الربحية الاقتصادية للمنتجين
- ثم في هذا العمل تركيب جهازي قياس لقياس الاستجابات الطيفية لثلاثة صمامات ثنائية مختلفة في الانبعاث والامتصاص.
- بالإضافة إلى تجربة أخرى باستخدام نضد القياس لمحاكاة ضوء الشمس باستخدام المصباح الطيفي.
- تُظهر قياسات حساسية مصابيح LED المختلفة، كدالة لإضاءة الطاقة لمصدر الضوء، أن الإضاءة تتناسب تقريبًا مع الجهد عبرها. تختلف إضاءة LED لنفس الجهد وأن LED الأخضر هو الأكثر حساسية، ثم الأصفر، والأقل حساسية هو الأحمر.
- تم إجراء القياسات على هذه المصابيح وتم تحديد الأطوال الموجية للانبعاث والامتصاص وكذلك الحد الأقصى لكثافة Imax والجهد Vsmax لكل LED. وهذا يوضح أن ضوء المصباح له تاثير على هذه مصابيح LEDs
- سمح لنا هذا العمل بإجراء تقييم مقارن. تعتبر النتائج التي تم الحصول عليها من أطياف الانبعاث والامتصاص المختلفة مثيرة للاهتمام للغاية.
- لاحظنا أن الرسم البياني للإضاءة E) lux (= $V(f)_{LED}$- تؤكد النتائج، التي تم الحصول عليها بالطبع فرضيتنا، التي تم وضعها بالفعل، وسنجعل من الممكن أيضًا تقييم إمكانات مصابيح LED في المجال الكهروضوئي.

References: المراجع

1-R. C. Morrow, « LED lighting in horticulture », HortScience, vol. 43, no 7, p. 1947–1950, 2008.
2-M. Olle et A. Viršile « The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality », Agric. Food Sci., vol. 22, no 2, p. 223–234, 2013.
3-, B.Damilano, J.Brault, A.Dussaigne et J.Massies : « Diodes électroluminescentes blanches pour l'éclairage », Images de la Physique, p. 28, 2002
4-Haitz's law. Nature Photonics, vol. 1, no 1, 2007, p. 23 (DOI 10.1038/nphoton.2006.78, Bibcode 2007NaPho...1...23
5-Métrologies des diodes éléctroluminescent
N. Pusset, A. Razet, G. Obein, A. Richard et J. BastieLNE - INM / Cnam 61 rue du Landy, 93210 La Plaine - Saint Denis, 8 Feb 2010
6-Mitchell CA, A, Bourget CM, Kuboto C, Lopez RG, Morrow RC & Runkle S. LEDs: The future of greenhouse lighting. Chronica Horticulture. 2012; 55:6-12.
7-IDRIS, Toucherift et HAMID, Taieb. Contrôle des paramètres climatiques d'une serre agricole. 2018. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.
8-Patel, N.V., Nobel shocker: RCA had the first blues LED in 1972. IEEE Spectrum, 2014.
9-Yeh N & Chung JP. High-brightness LEDs – energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation. Renew Sust Energ Rev. 2009; 13:2175–2180.
10-Tennessen DJ, Singsaas EL & Sharkey TD. Light-emitting diodes as a light source for photosynthesis research. Photosynth Res. 1994; 39:85–92.
11-Barta DJ, Tibbits TW, Bula RJ & Morrow, RC. Evaluation of light emitting diode characteristics for a space-based plant irradiation source. Adv Space Res.1992;12:141–9
12-, Nanya K, Ishigami Y, Hikosaka S & Goto E. Effets de la lumière bleue et rouge sur l'allongement de latige et la floraison des plants de tomates. Acta Hort. 2012;956:261-266.
13-Bourget CM. Introduction aux diodes électroluminescentes. Hort Science. 2008 ; 43 : 1944-1946.
14-G.Wantz, thèse doctorat : « Elaboration, caractérisation et optimisation de diodes électroluminescentes à base de polymère conjugués », Université de Bordeaux I, 2008
15-K.Remidi, thèse doctorat : «Effet photovoltaïque sur les diodes LEDs : caractérisations expérimentales »University de Laghouat, September, 2020.
16-Investigation of the Experimental Characterization of the Different Inorganic Light Emitting Diodes (LEDs) and the Photovoltaic Effect on LED (IJPEDS) Vol. 9, No. 3, September 2018, pp. 1408 ISSN: 2088-8694, DOI: 10.11591/

شفاء الجروح والتأثيرات المسكنة للألم لزيت نبات القرطوفة Brocchia cinerea في الحيوانات التجريبية

Evaluation Of Wound Healing And Analgesic Properties Of Essential Oil From *Brocchia Cinerea*

كاملي عبد الكريم [1]، زرقاط احسان امينة [2]، فقيري مريم [3]، لكاش زينب [4]

[1] المدرسة العليا للأساتذة البشير الإبراهيمي-القبة- (الجزائر)، مخبر النباتات المستعملة شعبيا والمواد الطبيعية، abdelkrim.kameli@g.ens-kouba.dz

[2] المدرسة العليا للأساتذة البشير الإبراهيمي-القبة- (الجزائر)، zerkat.amina@g.ens-kouba.dz

[3] المدرسة العليا للأساتذة البشير الإبراهيمي-القبة- (الجزائر)، meryem.fekiri@g.ens-kouba.dz

[4] المدرسة العليا للأساتذة البشير الإبراهيمي-القبة- (الجزائر)، zineb.lakache@g.ens-kouba.dz

تاريخ الإرسال: 2024/12/08 تاريخ القبول:2024/12/12 تاريخ النشر: ديسمبر/2024

الملخص:

تهدف هذه الدراسة إلى تحديد المكونات الرئيسية للزيت العطري المستخرج من نبات القرطوفة *Brocchia cinerea* من خلال التقطير المائي واختبار إمكانياته في شفاء الجروح وتخفيف الألم في حيوانات التجربة.

وُجد أن الزيت العطري يحتوي على عدة مركبات، بما في ذلك الثوجون، السانتولينا الثلاثي، الكافور، و1، 8 سينول. الفئران التي تم إحداث الجروح فيها تم علاجها باستخدام الزيت العطري من خلال التطبيق الموضعي، مما أدى إلى تسريع ملحوظ في معدل شفاء الجروح والتئامها بنسبة 88.1 ± 1.1%. بالإضافة إلى ذلك، تم تقييم النشاط المسكن للألم للزيت العطري من خلال حقن الفئران بحمض الأسيتيك داخل الصفاق.

أظهرت النتائج أن الزيت الأساسي لنبات بروكشيا، الذي تم إعطاؤه بجرعة 400 ملغ/كغ، قد ساهم كمثبط بشكل قوي للألم بنسبة تثبيط للألم بلغت 98.78%. تشير هذه النتائج إلى أن زيت بروكشيا يحتوي على مركبات حيوية قد تكون لها تأثيرات تآزرية، مما يجعله مصدراً واعداً للأغراض العلاجية في تخفيف الألم وشفاء الجروح. من الممكن أن يكون نبات بروكشيا بديلاً عن المركبات المسكنة الاصطناعية وأدوية معالجة الجروح في المستقبل .

الكلمات المفتاحية: شفاء الجروح، مسكن للألم، نبات القرطوفة ، زيت أساسي.

المؤلف المرسل :كاملي عبد الكريم ، الإيميل المهني: abdelkrim.kameli@g.ens-kouba.dz

Abstract

The objective of this study was to determine the main constituents of the essential oil extracted from *Brocchia cinerea* through hydrodistillation and explore its potential for wound healing and pain relief in living organisms. The essential oil was found to contain several compounds, including thujone, santolina triene, camphor, and 1,8 cineol. Mice with induced wounds were treated with the essential oil through topical application, which led to a significantly accelerated wound healing and repair rate of 88.1 ± 1.1%. In addition, the analgesic activity of the essential oil was evaluated by administering intraperitoneal injections of acetic acid to mice. The results demonstrated that the *Brocchia cinerea* essential oil, administered at a dosage of 400 mg/kg, strongly inhibited pain, with a pain inhibition percentage of 98.78%. These findings suggest that the essential oil of *Brocchia cinerea* contains bioactive compounds that may have synergistic effects, making it a promising source for therapeutic purposes in pain relief and wound healing. It is possible that *Brocchia cinerea* could serve as a substitute for synthetic analgesic compounds and wound treatment medications in the future.

Keywords: wound healing, analgesic, Brocchia cinerea, essential oil.

مدخل :Introduction

تتميز منطقة جنوب شرق الجزائر بغناها بالنباتات الطبية، بما في ذلك النمو التلقائي لنبات بروكشيا والذي يعرف محليا باسم القرطوفة الذي ينتمي إلى العائلة النجمية [1].

Brocchia cinerea هو نبات متكيف جيدًا مع البيئات الجافة، وغالبًا ما يوجد في المناطق الرملية والصحراوية. بروكيا سينيريا هو نبات يتكيف جيدًا مع البيئات الجافة، وغالبًا ما يُوجد في المناطق الرملية والصحراوية. [3,2] تحتوي بروكيا سينيريا على مجموعة متنوعة من مواد الأيض الثانوية، مما يجعلها مصدرًا قيمًا للمركبات الطبيعية في الطب التقليدي. أظهرت الدراسات أن هذه النبتة تتمتع بأنشطة بيولوجية مثيرة للاهتمام، بما في ذلك التأثيرات المضادة للالتهابات، المسكنة، المطهرة، المضادة للبكتيريا، المخفضة للحرارة، والتأثيرات المبيدة ليرقات أنوفيليس لابرانشيا.

نباتات بروكشيا ذات قيمة عالية في الطب التقليدي بفضل خصائصها الطبية المتنوعة، بما في ذلك علاج مشاكل الجهاز الهضمي، والروماتيزم، والالتهابات البولية والرئوية. [13,6,1] بالإضافة إلى ذلك، يُستخدم عادةً لإضافة نكهة إلى الشاي التقليدي والحفاظ على زبدة الماعز [3].

الطرق والوسائل

المادة النباتية

تم جمع الأجزاء الهوائية من نبات *B. cinerea* خلال موسم الإزهار في شهر فيفري 2023 من منطقة غرداية في جنوب شرق الجزائر. تم تجفيف المادة النباتية في الهواء الطلق وتم حفظها في منطقة

مظلمة عند درجة حرارة الغرفة.

الاستخلاص بالتقطير المائي

تم الحصول على الزيت العطري لنبتة *B. cinerea* عن طريق التقطير المائي باستخدام طريقة كل يفنجر. تم خلط المادة النباتية بالماء في دورق وتركها لمدة ساعتين. بعد ذلك، تم فصل الزيت الناتج عن الماء بواسطة الترسيب البسيط دون استخدام أي مذيبات عضوية. تم تخزين الزيت المستخلص في مكان مظلم وبارد عند درجة حرارة 4 °C في قارورة بنية مغلقة بإحكام.

المكونات الكيمائية:

الكروماتوغرافيا الغازية / مطيافية الكتلة (GC/MS) :

تم تحديد التركيب الكيميائي للزيت الأساسي لنبات بروكشيا بواسطة الكروماتوغرافيا الغازية المرتبطة بمطياف الكتلة (GC/MS) وتم تحديد المكونات الكيميائية من خلال مقارنة أنماط التحلل الطيفي الكتلي مع تلك المخزنة في قاعدة بيانات Adams 2017 و NIST 2014 وWiley، ومن خلال مقارنة أرقام الاحتفاظ لمكونات المستخلص المتطاير مع تلك الموجودة في قواعد البيانات المنشورة.

حيوانات التجربة

تم الحصول على فئران ألبينو بوزن يتراوح بين 20-25 غرام من معهد باستور في الجزائر وتم وضعها في أقفاص مناسبة مع ظروف بيئية متحكم فيها عند 25 ± 1 درجة مئوية ودورة ضوء-ظلام لمدة 12 ساعة .

تحضير المستحضر الموضعي

تم تحضير مستحضر موضعي عن طريق تسخين خليط مكون من 5 غ من شمع العسل و10 مل من زيت الصويا باستخدام تقنية الحمام المائي للحصول على قاعدة كريم سائلة. ثم تمت إضافة الزيت العطري إلى الكريم بنسبة 6% (وزن/حجم). تم حفظ المستحضر في درجة حرارة 4 درجات مئوية حتى الاستخدام..

تم اختيار تركيز 6% بناءً على دراسات سابقة أجريت داخل المخبر، حيث اختبرت هذه الدراسات تراكيز مختلفة وأظهرت النتائج أن تركيز 6% كان الأكثر فعالية في تعزيز التئام الجروح وإظهار خصائص مسكنة للألم. بناءً على هذه النتائج الواعدة، تم اختيار هذا التركيز كجرعة مثالية للدراسة.

تقييم التئام الجروح

تم تخدير الفئران المستخدمة في هذه الدراسة بمادة الكيتامين (100 ملغ/كغ) والزايلازين (10 ملغ/كغ) عن طريق الحقن داخل الصفاق لإحداث الجروح. تم حلق المنطقة الظهرية لكل فأر وإنشاء أربعة جروح باستخدام أداة ثقب بقطر 5 ملم، مع ترك مسافة حوالي 1 سم بين كل جرح وآخر. بعد الجراحة، وُضعت الفئران بشكل فردي لمنع أي تدخل قد يؤثر على عملية التئام الجروح.[7]

تم توزيع 24 فأرًا عشوائيًا على أربع مجموعات تضم كل منها ستة إلى ثمانية فئران. كانت المجموعة الأولى (المجموعة الشاهدة) بدون علاج، بينما تلقت المجموعة الثانية مرهمًا تجاريًا يحتوي على كريم فيوسيدين. المجموعة الثالثة تلقت كريمًا يحتوي على زيت عطري بتركيز 6% من نبات B. cinerea، والمجموعة الرابعة تلقت كريمًا يحتوي على شمع العسل وزيت الصويا.

خضعت جميع الفئران لعلاج موضعي يومي باستخدام مسحات معقمة لمدة 12 يومًا، وتم تقييم التئام الجروح عن طريق قياس انغلاق الجروح خلال هذه الفترة. تم قياس تقدم التئام الجروح باستخدام برنامج ImageJ، وتم حساب نسبة انغلاق الجروح باستخدام الصيغة التالية

$$\text{النسبة المئوية لانغلاق الجروح} = \frac{\text{(المساحة الابتدائية للجرح – المساحة الحالية للجرح)}}{\text{المساحة الابتدائية للجرح}} \times 100$$

السمية الحادة

تم اختبار جرعات مختلفة من الزيت العطري لنبات **B. cinerea** عن طريق تخفيفها في محلول ملحي فسيولوجي (NaCl.0.9 %) شملت التجربة خمس مجموعات، تضم كل مجموعة ستة فئران. تم إعطاء الجرعات عن طريق الفم باستخدام أنبوب معدي .[8]

المجموعة الأولى (المجموعة الشاهدة) تلقت فقط المحلول الملحي الفسيولوجي عن طريق الفم، بينما تلقت المجموعات الأخرى جرعات مختلفة من الزيت العطري (400، 600، و1000 ملغ/كغ). تمت مراقبة الفئران لمدة 72 ساعة لرصد أي علامات للسمية أو حالات وفاة.

النشاط المسكن للألم (اختبار التواء البطن)

تم تقييم النشاط المسكن للألم للزيت العطري لنبات B. cinerea باستخدام الطريقة التي وصفها Collier et al ، [9] والتي تعتمد على قياس قدرة المادة المسكنة على تقليل الألم الناتج عن مادة مهيجة تسبب حركات التواء في الفئران.

شملت الدراسة خمس مجموعات من الفئران، تضم كل مجموعة ستة فئران، وتم إعطاء الجرعات عن طريق الفم باستخدام أنبوب معدي. الجرعات المستخدمة كانت:

- مجموعة شاهدة تلقت محلولًا مائيًا فسيولوجيًا.
- مجموعة مرجعية تلقت محلول الأسبرين بتركيز 100 ملغ/كغ.
- مجموعتان معالجتان تلقتا الزيت العطري بجرعات 200 ملغ/كغ و400 ملغ/كغ على التوالي.

بعد مرور ساعة من تلقي الجرعات الفموية، تم حقن كل فأر داخل الصفاق بـ 0.2 مل من محلول حمض الأسيتيك بنسبة 3%، وتم تسجيل عدد حركات الالتواء لكل فأر بعد عشر دقائق من الحقن ولمدة عشر دقائق.

تم حساب نسبة تقليل الألم باستخدام الصيغة التالية:

$$\text{النسبة المئوية لتخفيف الألم} = \frac{\Delta T - \Delta E}{\Delta T} \times 100$$

حيث **ΔT** هو عدد الإلتواءات في المجموعة الشاهدة المعاملة بمحلول فيزيولوجي 0.9 % NaCl و **ΔE** عدد الإلتواءات في المجموعة المعاملة بالزيت الأساسي أو الشاهد الموجب (positive control)

الدراسة الإحصائية

تم تقديم النتائج في شكل معدلات مع الانحراف المعياري(S.D) .

النتائج :Results

التركيب الكيميائي

الكروماتوغرافيا الغازية / مطيافية الكتلة (GC/MS)

تم الحصول على الزيت العطري من الأجزاء الهوائية لنبات Brocchia cinerea عن طريق التقطير المائي وتم تحليله باستخدام تقنية الكروماتوغرافيا الغازية- مطياف الكتلة (GC-MS) .

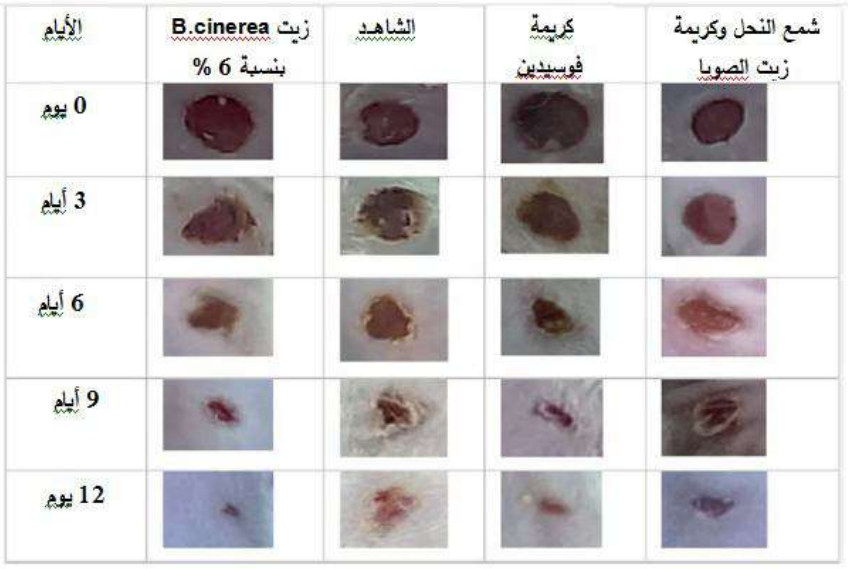
أظهرت النتائج وجود 29 مكوًنا، والتي شكلت 98.57% من إجمالي الزيت. احتوى الزيت العطري على كمية كبيرة من المركب الرئيسي، الثوجون، يليه السانتولين ثلاثي التيرين والكافور .

تقييم التئام الجروح

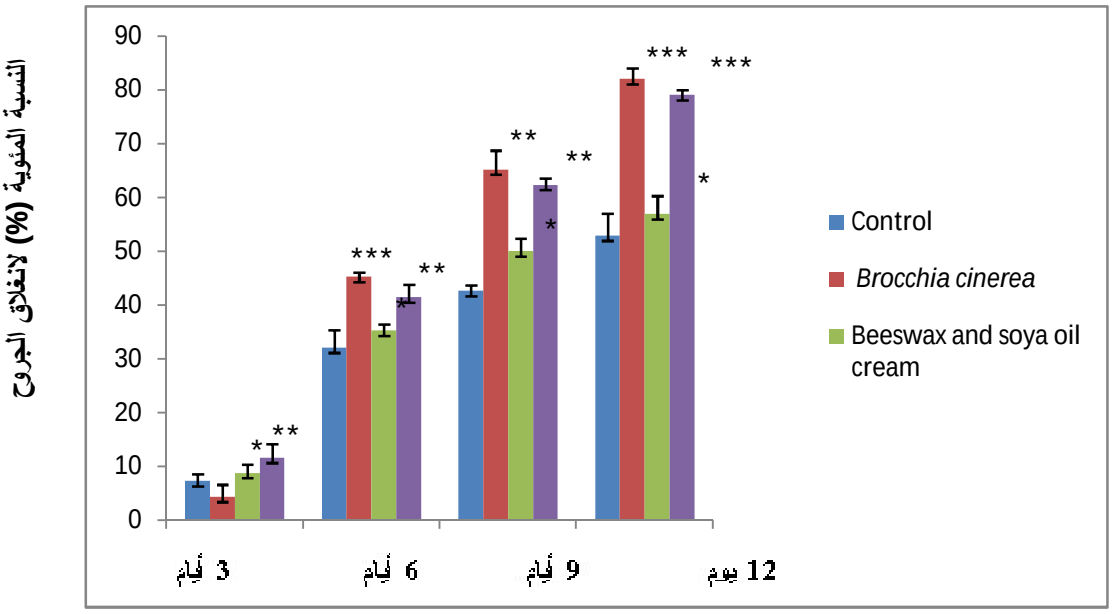
يمكن قياس تقدم التئام الجروح من خلال انغلاق الجرح، الذي يمثل النسبة المئوية لتقليل مساحة الجرح بمرور الوقت. في هذه الدراسة، تمت مقارنة التئام الجروح بين المجموعات التجريبية على مدى فترة علاج استمرت 12 يومًا، كما هو موضح في الشكل 1.

في اليوم السادس، أظهرت المجموعتان الثانية (المعالجة بكريم Fucidin) والرابعة (المعالجة بكريم يحتوي على 6% من زيت B. cinerea) نسبًا أعلى بشكل ملحوظ ($p<0.001$) من انغلاق الجروح مقارنة بالمجموعة الأولى (المجموعة الشاهدة) والمجموعة الثالثة (كريم شمع العسل وزيت الصويا).

أظهرت الجروح المعالجة بزيت B. cinerea انغلاقًا متسارعًا بعد 6 أيام من العلاج (الشكل 1 والشكل 2). وبحلول اليوم التاسع، حققت الجروح المعالجة بكريم يحتوي على 6% من زيت B. cinerea نسبة انغلاق أعلى بـ 88.1% مقارنة بالمجموعة الضابطة التي قدرت نسبتها بـ 64.2% والمجموعة المعالجة بكريم شمع العسل وزيت الصويا بـ 68.5% .



شكل 1. صورة لمنطقة الجرح بعد تطبيق كريمة الزيت الأساسي لنبات بريشيا سينيريا أو كريمة فوسيدين أو شمع النحل مع كريمة زيت الصويا عند فئران التجربة.



الشكل 2. نسبة إغلاق الجروح في المجموعات التجريبية خلال أيام العلاج بكريم زيت البذور منB.cinerea ، وكريمFucidin ، والمجموعة الشاهدة، وكريم شمع النحل وزيت الصويا في الفئران$p < 0.05$ *.، $p < 0.01$ **، و $p < 0.001$ ***تعتبر ذات دلالة إحصائية، مقارنةً بالمجموعة الشاهدة

السُمية الحادة:

أشارت النتائج إلى أن الزيت الأساسي لنبات بروكشيا لم يسبب أي علامات للتسمم أو الوفاة في الفئران خلال التجارب المختلفة، حتى عند إعطائه عن طريق الفم بتراكيز 400 و600 و1000 ملغ/كغ .

النشاط المسكن للألم:

تم تقييم النشاط المسكن لزيت بروكشيا باستخدام الطريقة التي وصفها كولييه وآخرون، والتي تتضمن تقييم قدرة مادة مسكنة على تقليل الألم الناتج عن مادة مهيجة تسبب حركات التواء في الفئران. تم تقييم التأثير المسكن للألم للزيت لأساسي عن طريق حساب عدد التواءات البطن التي تعرضت لها الفئران لمدة 30 دقيقة بعد تلقيها العامل المسبب للألم. أظهرت النتائج أنه بجرعة 400 ملغ/كغ، أظهر زيت نبات بروكشيا تأثيرًا مثبطًا قويًا على الألم .

جدول 1. تأثير الزيت الأساسي لنبات بريشيا على الإلتواءات الناتجة من حقن حمض الأسيتيك عند فئران التجربة.

المعاملة	الجرعة (ملغ/كلغ)	عدد الإلتواءات	% التثبيط
الشاهد	-	98±	-
الأسبيرين	100	28±2.6***	68.53
B. cinerea	200	38±2.6***	57.3
B. cinerea	400	4±2.7***	95.5

المناقشة : Discussion

كشفت نتائجنا أن الزيت العطري المستخلص من الأجزاء الهوائية لب. سينيريا بلغ نسبة 0.42%. في المقابل، أظهرت دراسات أخرى أجريت على الأجزاء الهوائية المجففة لنبات سينيريا التي تم جمعها من منطقتي زاغورة وسمارة في جنوب المغرب نتائج استخراج بنسبة 0.87% و0.64% على التوالي. يمكن إرجاع هذا التفاوت في مردود الاستخلاص إلى عوامل مختلفة، بما في ذلك درجة نضج النبات، الظروف المناخية، تكوين التربة، وقت الحصاد، طريقة الاستخراج، والموقع الجغرافي لنوع النبات. [11،12]

تم تحليل الزيت العطري لأجزاء B.cinerea الهوائية باستخدام جهاز كروماتوغرافيا الغازية المرتبط بمطياف الكتلة . (GC-MS) . أظهرت نتائجنا وجود 29 مكونًا في الزيت العطري، والتي شكلت 98.57% من التركيبة الكلية للزيت. كان المركب الرئيسي المحدد في الزيت العطري هو الثوجون، الذي شكل 34.02% من الزيت. من بين المركبات الهامة الأخرى كانت السانتولينا تراين، الكافور، و1,8-سينيول. تتوافق هذه النتائج مع أبحاث سابقة أجراها غوتي وآخرون [14] التي حددت أيضًا α-ثوجون كمركب رئيسي (32.35%) في Cotula cinerea Delile، وهو مرادف لـ *B. cinerea*

من المهم أن نلاحظ أن التركيبة الكيميائية للزيت العطري والنشاط المضاد للأكسدة يمكن أن يتأثرا بعوامل مختلفة مثل طريقة الاستخراج، مثل التحليل المائي بالبخار، الذي قد يؤدي إلى تحلل المركبات

النشطة بيولوجيًا. في عملية التحليل المائي بالبخار، قد تحدث تحللات حرارية، التحلل المائي، وذوبان المركبات النشطة بيولوجيًا في الماء، مما يؤدي إلى تغييرات في قدرة الزيت المضادة للأكسدة[15]

آليات عمل زيت *B. cinerea* في شفاء الجروح تشمل النشاط المضاد للبكتيريا، الذي يعوق تصنيع الـ RNA والبروتينات في الكائنات الدقيقة، والنشاط المضاد للالتهابات، الذي يقلل من إنتاج الإنترلوكين 6-(IL) و عامل نخر الورم α-(TNF) في خلايا القاعدة، ويمنع إفراز لوكوترين C4 (LTC4)، ويؤثر على إفراز ثرومبوكسان .(TxB2) B2 كما يمتلك الزيت خصائص مضادة للأكسدة، مما يوفر تأثيرات واقية ضد الأشعة فوق البنفسجية ويمنع إنتاج الجذور الحرة الناجمة عن الأشعة فوق البنفسجية. كما تتميز المركبات النشطة بسمية منخفضة ولها تأثيرات على عوامل تثبيط هجرة البلعميات وعوامل نمو الخلايا الليفية [16] .

المركبات المختلفة الموجودة في الزيت العطري لعبت دورًا في قدرته على إظهار تأثيرات مضادة للأكسدة ومضادة للالتهابات، وكذلك تعزيز شفاء الجروح. من الجدير بالذكر أنه قد تكون هناك مكونات أخرى محددة في هذه المقالة قد تكون أيضًا لها دور في الأنشطة النباتية المعروضة .نبتة بروكشيا غنية بالمركبات الفينولية وتمتلك قدرة ملحوظة كمضادات الالتهاب، والتي ترتبط بخصائصها في شفاء الجروح.

أظهرت الدراسة الحالية أن نشاط شفاء الجروح في نبات بروكشيا يُعزى إلى خصائصه المضادة للالتهابات والمحفزة لتكوين الأوعية الدموية، بالإضافة إلى تأثيره على المادة بين الخلوية الخلوية من خلال زيادة إنتاج الكولاجين[4,5]

يؤدي الحقن داخل الصفاق لحمض الأسيتيك إلى تلف الأنسجة، مما يحفز إفراز وسطاء كيميائيين مختلفين مثل البراديكينين،الهيستامين،السيروتونين، الأستيل كولين، والبروستاغلاندينات.

البروستاغلاندينات، على وجه الخصوص، تجعل مستقبلات الألم أكثر حساسية للمؤثرات المؤلمة، مما يؤدي إلى ألم لاحق ومنتشر. يتم إظهار هذا الألم في الفئران من خلال تمدد الأطراف الخلفية والتواء العضلات الظهرية البطنية [17]. تم التوصل إلى أن الزيت العطري لنبات بروكشيا يثبط التقلصات البطنية بطريقة تعتمد على التركيز، مما يشير إلى تأثيره المحتمل كمسكن للألم.يمكن أن يُعزى هذا التأثير إلى تثبيط إفراز الوسائط الكيميائية.

الخاتمة: Conclusion

تشير هذه النتائج إلى أن الزيت العطري لنبات بروكشيا يحتوي على مركبات حيوية قد تكون لها تأثيراتتآزرية، مما يجعله مصدراً واعداً للأغراض العلاجية في تخفيف الألم وشفاء الجروح. من الممكن أن يكن نبات بروكشيا بديلاً للمركبات المسكنة الاصطناعية وأدوية علاج الجروح في المستقبل.

المراجع:References

1- Jamila F, Mostafa E. Ethnobotanical survey of medicinal plants used by people in Oriental Morocco to manage various ailments. J Ethnopharmacol 2014;154:76-87.
2- Markouk M, Redwane A, Lazrek HB, et al. Antibacterial activity of Cotula cinerea extracts. Fitoterapia 1999;70:314-16.
3-Djellouli M, Benmehdi H, Mammeri S, et al. Chemical constituents in the essential oil of the endemic plant Cotula cinerea (Del.) from the southwest of Algeria. Asian Pac J Trop Biomed 2015;5:870-3.
4- Lakhdar M. Traditional uses, phytochemistry and biological activities of Cotula cinerea Del: A review. Trop J Pharm Res 2018;17:365-73.
5- Ghouti D, Lazouni HA, Moussaoui A, Chabane Sari D. Chemical profile, in vitro antibacterial and antioxidant activities of Juniperus phoenicea L. and Cotula cinerea (Del.) essential oils from Southwestern Algeria. Phytothérapie 2018,16: S74-S83.
6- Djellouli M, Benmehdi H, Mammeri S, et al. Chemical constituents in the essential oil of the endemic plant Cotula cinerea (Del.) from the southwest of Algeria. Asian Pac J Trop Biomed 2015;5:870-3.
7-De Moura FBR, Ferreira BA, Deconte SR, et al. Wound healing activity of the hydroethanolic extract of the leaves of Maytenus ilicifolia Mart. Ex Reis. J Tradit Complement Med2021;11: 446-56.
8- Hilan C, Bouaoun D, Aoun J, et al. Antimicrobial properties and toxicity by LD50 determination of an essential oil of Prangosa sperula Boissier. Phytothérapie 2009;7:8-14.
9- Collier HO, Dinneen LC, Johnson CA, Schneider C. The abdominal construction response and its suppression by analgesic drugs in the mouse. Br J Pharmacol Chemother 1968;32: 295-310.
10- Ekhlil B, Mohamed G, Satrani B, et al. Chemical quality, antibacterial and antifungal activities of Cotula cinerea essential oil from South Morocco. Environ Sci An Indian J 2016;12:209-16.
11-El Bouzidi L, Abbad A, Fattarsi K, et al. Chemical composition and anticandidal properties of the essential oil isolated from aerial parts of Cotula cinerea: A rare and threatened medicinal plant in Morocco. Nat Prod Commun 2011;6:1491-4.
12- Elsharkawy ER, Ed-Dra A, Alghanem S, Abdallah EM. Comparative studies of chemical compostion, antimicrobial and antioxidant activity of essential oil of some species from genus Artemisia. J Nat Remedies 2018;18:10-20.
13-Ramos YJ, Machado D de B, Queiroz GA de, et al. Chemical composition of the essential oils of circadian rhythm and of different vegetative parts from Piper mollicomum Kunth - A medicinal plant from Brazil. Biochem Syst Ecol 2020;92:104-16.
14-Ghouti D, Lazouni HA, Moussaoui A, Chabane Sari D. Chemical profile, in vitro antibacterial and antioxidant activities of Juniperus phoenicea L. and Cotula cinerea (Del.) essential oils from Southwestern Algeria. Phytothérapie 2018,16: S74-S83.
15- Harkat-Madouri L, Asma B, Madani K, et al. Chemical composition, antibacterial and antioxidant activities of essential oil of Eucalyptus globulus from Algeria. Ind Crops Prod 2015;78: 148-53.
16- Barreto RS, Albuquerque-Júnior RL, Araújo AA, et al. A systematic review of the wound-healing effects of monoterpenes and iridoid derivatives. Molecules 2014;19:846-62.
17- Prabhu VV, Nalini G, Chidambaranathan N, Kisan NS. Evaluation of anti-inflammatory and analgesic activity of Tridax procumbens Linn against formalin, acetic acid and CFA induced pain models. Int J Pharm Pharm Sci 2011;3:126-30.

حول وجود حلول لمسألة حدية كسرية حدية متعلقة بالمشتق الكسري بمفهوم كابيتوو باستخدام طريقة التغاير

On the existence solution for fractional boundary value problem with Caputo derivative using variational method

أمينة بوسنة[1]،

[1]**المدرسة العليا للأساتذة، قسم الرياضيات – القبة – (الجزائر)،** amina.boucenna@g.ens-kouba.dz

تاريخ الإرسال: 2024/12/17 تاريخ القبول:2024/12/23 تاريخ النشر: ديسمبر/2024

ملخص:

يهدف هذا العمل إلى دراسة وجود حلول لمسألة حدية و التي تظم مشتقا كسريا من نوع –كابيتو– حيث الطرف الثاني لهذه المعادلة التفاضلية الكسرية غير خطي، مع هذا الأخير فهو مرفق بشروط ابتدائية ملائمة و التي تستخدم فيها طريقة التغاير لضمان وجد الحل على الأقل في فضاءا إنعكاسيا، قابلا للفصل و بناخيا.

الكلمات المفتاحية: معادلة تفاضلية كسرية، طريقة التغاير، المشتق الكسري لكابيتو، الوجود، شروط متجانسة.

Abstract:

The goal of this work is to study the existence of solution to a boundary value problem depends a Caputo fractional derivative, with the second term for this fractional differential equation is non linear, and associated with a suitable condition. Using a variational method , which guarentees a solution of our problem in a reflexive, separable and Banach space.

Key words: Fractional differential equation, Existence, variational method, Caputo's derivative, Existence, homogenous conditions.

مدخل: Introduction

تعد طريقة التغاير من الطرق القوية و المهمة في التحليل غير خطي، و من السبل الناجحة في نظرية النقطة الحرجة. إن لمبدأ التغاير تطبيقات مهمة في عدة مجالات، فعلى سبيل المثال: الحساب التفاضلي العام، و يعد من الوسائل القوية في التحليل التطبيقي و تكنولوجيا التقريبات و الفيزياء لصفة عامة.

المؤلف المرسل: أمينة بوسنة ، الإيميل المهني: amina.boucenna@g.ens-kouba.dz

فنجد العديد من الأعمال و المقالات التي نشرت لوجود حلول لمعادلات تفاضلية ذات مشتقات كسرية متنوعة و هذا باستخدام طريقة النقطة الصامدة. في حين فإن الأعمال أو الجرائد العلمية التي إستخدمت طريقة التغاير وهذا من خلال النفطة الحرجة، فهي قليلة مقارنة بالطريقة السابقة، لوجود حلول لمسائل حدية متعلقة و مرفقة بمشتقات غير طبيعية، أي كسرية، فهو ليس بالسهل دراسة مشكل التصغير و هذا لإيجاد حد أدنى لمسألة حدية كسرية في فضاء بناخي X، أي:

$$\exists u_0 \epsilon X: f'(u_0) = \inf_{u \in x} f(u).$$

و هذا كون التابع f قابلا للمفاضلة و حده الأدنى هو u_0 من الفضاء X، فينتج إنعدام المشتق للتابع f و التي تسمى عندئذ النقطة $u_0 \in X$، بالنقطة الحرجة و نجد أن:

$$\exists u_0 \epsilon X: f'(u_0) = 0.$$

– سنقوم في هذا العمل بدراسة حلول للمسألة الحدية الكسرية التالية:

$$\begin{cases} D_b^{\aleph} - D_{a+}^{\aleph} v(t) = \lambda_1 g\big(t, v(t)\big) + \lambda_2 . h\big(t, v(t)\big), \\ v(b) = v(a) = 0, t \in [a,b], 0 \le a < b < +\infty, 0 < \aleph < 1 \end{cases}$$

حيث $D_{b-}^{\aleph}$ ، $D_{a+}^{\aleph}$المشتقين الكسرين على التوالي من اليمين و اليسار من نوع كابيتو.

– إن التابعين h وgفي المسألة الحدية الكسرية السابقة هما مستمرين على $XIR[a,b]$نحوIR.

تمهيدات

سنتطرق في هذه الفقرة، إلى أهم المفاهيم المعتمدة لحل المسألة الكسرية الحدية و المتعلقة بأحد أنواع المشتقات الكسرية و التي تعد الأقرب نوع إلى المشتق الاعتيادي، ألا وهو الطبيعي.

– سنقوم في هذا الجزء بتقديم ما يلي: التكامل الكسري لريمان– لوفيل، المشتق الكسري لكابيتو، مبدأ التغابر و بالتحديد مبدأ التصغير لتابع: أنظر المراجع التالية ([1،2،3،4،5،6،7،8]).

تعريف 1: (التابع غاما) (Gamma).

نعرف التابع غاما وفق التكامل التالي:

$$\Gamma(\aleph) = \int_0^{+\infty} z^{\gamma-1} e^{-z} dz, \gamma > 0, z \in IR.$$

تعريف 2: (التكامل الكسري لريمان–ليوفيل)

ليكن التابع vالمعرف على المجال $[a,b]$نحو IRو مستمرا (أو كمولا). يعطى التكامل الكسري بمفهوم ريمان–ليوفيل للتابع vمن الرتبة الكسرية $\aleph > 0$ من اليسار و اليمين على التوالي وفق مايلي:

$$1)\ I_{a+}^{\aleph} v(t) = \frac{1}{\Gamma(\aleph)} \int_a^t (t-s)^{\gamma-1}\, v(s) ds, t > a,$$

و

$$2)\ I_{b-}^{\alpha} v(t) = \frac{1}{\Gamma(\aleph)} \int_t^b (t-s)^{\gamma-1}\, v(s) ds, t < b.$$

تعريف 3: (المشتق الكسري لكابيتو)

ليكن التابع v المستمر المجال $[a,b]$من IR نحو IR و قابل للإشتقاق ودالته المشتقة مستمرة أي $f \in C^1([a,b], IR)$. يعرف المشتق الكسري لكابيتو من الرتبة $\aleph$مع $n-1 < \aleph < n$وهدابدلالة التكامل الكسري لريمان ليوفيل، وفق التكاملات التالية:

$$D_{a+}^{\aleph} v(t) = I_{a+}^{n-\aleph} D^n v(t)$$

$$= \frac{1}{\Gamma(n-\aleph)} \int_a^t (t-s)^{n-\aleph-1} v^{(n)}(s) ds, t > a,$$

$$D_{b-}^{\aleph} v(t) = (-1)^n I_{b-}^{n-\aleph} D^n v(s)$$ و

$$= \frac{(-1)^n}{\Gamma(n-\aleph)} \int_t^b (s-t)^{n-\aleph-1} v^{(n)}(s) ds, t < b,$$

مع $n = [\aleph] + 1$.

الآن سنقوم بعرض أهم النتائج الأساسية للمفاهيم السابقة المذكورة.

خواص:

1) إن كل من التكامل الكسري لريمان ليوفيلو المشتق الكسري لكابيتو هي دوال خطية.

2) في حالة $n = \gamma$، فإنه من أجل المتغير t من المجال $[a, b]$:

$$D_{a+}^{\gamma} v(t) = v^{(n)}(t) \text{ و} D_{b-}^{\gamma} v(t) = (-1)^n v^{(n)}(t)$$

3) من أجل التابع v قابلا للاشتقاق بإستمرارو t من المجال $[a, b]$فالدينا:

$$*)\ D_{a+}^{\gamma} I_{a+}^{\gamma} v(t) = v(t)$$

$$*)\ D_{b-}^{\gamma} I_{b-}^{\gamma} v(t) = v(t)$$

$$*) I_{b-}^{n-\gamma} D_{b-}^{\gamma} v(t) = v(t) + \sum_{j=1}^{n} c_j\,(b-t)^j, t < b$$

$$*)\ I_{a+}^{\gamma} D_{a+}^{\gamma} v(t) = v(t) + \sum_{j=1}^{n} d_j\,(t-a)^j, t > a,$$

مع c_j و d_j ثوابت حقيقية، $n = [\gamma] + 1$

تعريف 4:

ليكن التابع vمن الصنف C^1 على $[a, b]$نحو IRلدينا:

$$1)\ D_{a+}^{\gamma} v(t) = d_{a+}^{\gamma} v(t) - \sum_{j=0}^{n-1} b_j\,(t-a)^{j-a}, t > a,$$

$$2)\ D_{b-}^{\gamma} v(t) = d_{b-}^{\gamma} v(t) - \sum_{j=0}^{n-1} k_j\,(b-t)^{j-a}, t < b.$$

حيث $d_{a+}^{\gamma} v$ ، $d_{a+}^{\gamma} v$هما المشتقين الكسرين على التوالي من اليسار و اليمين للتابع vمن نوع ريمان –ليوفيل[1]

تعريف 5: (شرط بالي– سمايل–$(PS)_C$)) [4، 5،6]

ليكن X فضاء نباخيا، و ليكن التابعي $\emptyset$من الصنف $C^1(X, IR)$.

نقول أن التابع$\emptyset$يحقق اشرط بالي–سمايل عند مستوى C ، و الذي نختصره $(PS)_C$، إذا كان

من أجل كل متتالية $(x_n)_n$منXوالتي تحقق:

$$|\varphi(x_n)| \leq C \text{ و } \varphi'(v_n) \to 0 \text{ في } X^*$$

لها متتالية مستخرجة متقاربة.

تعريف 6: (النقطة الحرجة) [7،4]

ليكن X فضاء بناخيا، وليكن Vمجموعة مفتوحة جزئية من X. لنفرض أن التابع $\emptyset$قابلا للمفاضلة على المفتوح Vنحو IR.نسمي النقطة الحرجة للتابعي $\emptyset$، و لتكن u_* من V و التي تحقق: $\emptyset'(u_*) = 0$.

نظرية: [7، 4]

ليكن X فضاء بناخيا، و ليكن التابعي $\emptyset: X \to IR$من الصنف$C^1(X, IR)$ (قابلا للمفاضلة بإستمرار) ومحدود من الأدنى ويحقق شرط بالي –سمايل$c(\boldsymbol{PS})$. إذن الحد الأدنى ل $\emptyset$مدرك عند $u_0 \in X$ و u_0هي نقطة حرجة ل$\emptyset$ أي:

$$1)\ \emptyset(u_0) = \inf_{t \in X} \emptyset(t)$$
$$2)\ \emptyset'(u_0) = 0.$$

البناء التغايري:[5،6،4]

في هذا الجزء سنقدم الدعائم الأساسية للمسألة الحدية الكسرية، والتي تسمح لنا بإيجاد الحل لهذه الأخيرة عن طريق نظرية النقطة الحرجة.

تعريف [5،6،4]

نعرف الفضاء التابعي لسوبولاف من النوع الكسري (المتعلق بالمشتق الكسري لكابيتو) بالفضاء T_0^{γ}مع $0 < \gamma < 1$، بالملاصقة (المجموعة المغلقة) للفضاء التابعي$C^{\infty}([a, b], IR)$ بالمجموعة الموالية:

$$T_0^{\gamma} = \Big\{ v \epsilon L^2([a, b]), D_{0+}^{\gamma} v(t) \in L^2([a, b]) \text{ و}$$
$$v(a) = v(b) = 0\},$$

و المزود بالنظيم الموالي (وفق متراجحة بوانكاري من النوع الكسري):

$$\|v\|_{\gamma} = \|D_{0+}^{\gamma} v\|_{L^2(a,b)} .(\int_a^b |D_{0+}^{\gamma} v(t)|^2 dt)^{\frac{1}{2}} =$$

نتيجة:[5،6]

إن الفضاء T_0^{γ}هو إنعكاسي، قابلا للفصل و بناخيا و هيلبرتيا.

ملاحظة:

يعرف الجداء السلمي و المرفق للنظيم السابق وفق العلاقة التالية:

$$(.\ ,\ .)_{T_0^{\gamma}}: T_0^{\gamma} \times T_0^{\gamma} \to IR$$
$$(u_1, u_2) \to (u_1, u_2)_{T_0^{\gamma}} = (D_{0+}^{\gamma} u_1, D_{0+}^{\gamma} u_2)$$
$$= \int_a^b D_{0+}^{\gamma} u_1(t), D_{0+}^{\gamma} u_2(t).$$

مبرهنة:[5،6،4]

إذا كان: v_1و v_2على التوالي من الفضاءين التابعين T_0^{γ}و $C^{\infty}([a,b], IR)$، فإنه ينتج أن:

$$\int_a^b D_{0+}^{\gamma} v_1(t).v_2(t)dt = \int_a^b v_1(t).D_{T-}^{\gamma} v_2(t)dt.$$

نقدم الآن بإعطاء مفهوم الحل الضعيف للمسألة الحدية الكسرية لهذا العمل.

تعريف:

إن الحل الضعيف للمسألة الحدية ذات مشتق كسري وفق العلاقة التكاملية التالية:

$$\int_a^b [D_{a+}^{\gamma} v_1(t).D_{a+}^{\gamma} u(t) - \lambda_1 g(t, v(t).u(t) - \lambda_2 h(t, v(t).u(t)]dt = 0,$$

وهذا من أجل كل من uوv من الفضاء T_0^{γ}.

توطئة: [5]:

لدينا من أجل و من أجل $0 < \alpha < \frac{1}{2}$، لدينا المتباينات التالية: $v \in T_a^{\gamma}$

$$1)\ \|u\|_{L^2} \le A\|u\|_{\gamma}\ ,A = \frac{b^{\gamma}}{\Gamma(\gamma+1)}$$

$$2)\ \|u\|_{\infty} \le B\|u\|_{\gamma}\ ,B = \frac{b^{\gamma-\frac{1}{2}}}{\Gamma(\gamma)[(\gamma-1).2+1]}$$

توطئة: [5]:

إن الفضاء T_0^{γ}يحقق الإنغماس المستمر و المتراص مع الفضاء $C^{\infty}([a,b], IR)$، أي

$$T_0^{\gamma} \to\to C^{\infty}([a,b], IR)$$

النتيجة الأساسية:

نظرية أساسية:

نفرض أن الشروط التالية محققة:

الشرط 1:

$$\exists \varphi_1 \in \left(0,\frac{1}{2}\right), \exists R_1 > 0 \ ; 0 < G(t,x) \leq \varphi_1 x g(t,x)$$

من أجل xمنIRمع$R_1 \geq |x|$و $t \in (a,b)$

الشرط 2:

$$\exists \varphi_2 \in \left(0,\frac{1}{2}\right), \exists R_2 > 0 \ ; 0 < H(t,x) \leq \varphi_2 x h(t,x)$$

من أجلxمن IR مع$R_2 \geq |x|$ و $t \in (a,b)$

الشرط 3:

$$\exists a_1, b_1, a_2, b_2 \in L^1(a,b), \exists o_1, o_2 \in (0,2):$$

$$\begin{cases} G(t,y) \leq a_1(t)|y|^{o_1} + b_1(t) \text{و} \\ H(t,x) \leq a_2(t)|y|^{o_2} + b_2(t) \end{cases}$$

$$1)\ \frac{1}{2} - \lambda_1 a_1^* B^{o_1} - \lambda_2 a_2^* B^{o_2} > 0 \qquad \text{مع}$$

$$2)\ \frac{1}{2} - \lambda_2 a_2^* B^{o_2} > 0$$

$$3)\ \frac{1}{2} - \lambda_1 a_1^* B^{o_2} > 0$$

و $a_1^* = \|a\|_{L^1}$, $a_2^* = \|a_2\|_{L^1}$, $b_1^* = \|b_1\|_{L^1}$, $b_2^* = \|b\|_{L^1}$

عندئذ المسألة الحدية الكسرية من نوع كابيتو لعملنا هذا تقبل على الأقل حلا ضعيفا، أي الحل من الفضاء $T_0^{\aleph}$و نكتب:

$$\exists u_0 \, \epsilon T_0^{\aleph} : \emptyset'(u_0) = 0.$$

البرهان:

إن البرهان للنتيجة الأساسية لهذا المقال يعتمد على مبدأ التغاير و عليه نقسم البرهان إلى الخطوات التالية:

- لنعرف التابعي $\emptyset : T_0^{\aleph} \to IR$ و التي تعطى عبارته وفق ما يلي:

$$\emptyset(v) = \frac{1}{2}\|v\|_{\aleph}^2 - \lambda_1 \int_a^b G\big(t, v(t)\big)dt - \lambda_2 \int_a^b H\big(t, v(t)\big),$$

مع G و H الدوال الأصلية للدوال fو gعلى التوالي، أي:

$$G(t,v)=\int_a^v g(t,s)ds,\quad H(t,s)=\int_a^v h(t,z)dz.$$

- إن التابعي$\emptyset$ قابل للمفاضلة و تفاضلية تعطى ب:

$$\emptyset'(v)(u)=(\emptyset'(v),u)=$$

$$\int_a^b D_{0+}^{\gamma}v(t).D_{0+}^{\gamma}u(t)dt-\lambda_1\int_a^b g\big(t,v(t)\big).ut)dt-\lambda_2\int_a^b h\big(t,v(t)\big).u(t)dt$$

ملاحظة:

من خلال عبارة المفاضلة ل $\emptyset$، يتضح أن النقطة الحرجة للتابعي $\emptyset$هي الحل الضعيف للمسألة الحدية الكسرية المدروسة في هذا المقال.

الخطوة 1: إثبات أن $\emptyset$ يحقق شرط $(PS)_C$:

سنتبع هنا نفس خطوات و طريقة البرهان في المقال[5].

- لتكن $(x_n)_n$ متتاليةT_0^{γ}والتي تحقق:

$$\emptyset(x_n)\to c\ ,\qquad \text{و}\quad \emptyset'(x_n)\to 0$$

و بإستخدام الشرطين (1) و(2) للنتيجة الأساسية، ينتج أن المتتالية (x_n) محدودة، أي:

$$C\geq\emptyset(x_n)\geq\frac{1}{2}\|x_n\|_{\gamma}^2-\lambda_1\varphi_1\int_a^b g(t,x_n),x_n(t)dt-\lambda_2\varphi_2\int_a^b h\,(t,x_n)x_n dt$$

$$-c_1.b-c_2.b$$

$$\geq\frac{1}{2}\|x_n\|_{\gamma}^2-\lambda_1\varphi_1[\|x_n\|_{\gamma}^2-<\emptyset'(x_n,x_n>]$$

$$-\lambda_2\varphi_2[\|x_n\|_{\gamma}^2-<\emptyset'(x_n,x_n>]-(c_1+c_2).b$$

$$C\geq\left(\frac{1}{2}-\lambda_1\varphi_1-\lambda_2\varphi_2\right)\|x_n\|_{\gamma}^2-(\lambda_1\varphi_1+\lambda_2\varphi_2)\|\emptyset'(x_n)\|(T_a^{\gamma})^*.\|x_n\|_{\gamma}$$

$$-(c_1+c_2).b$$

$$\geq\left(\frac{1}{2}-\lambda_1\varphi_1-\lambda_2\varphi_2\right)\|x_n\|_{\gamma}^2-(\lambda_1\varphi_1+\lambda_2\varphi_2)\|x_n\|_{\gamma}-(c_1+c_2).b,$$

و هذا كون توجد رتبة n_0من IR، بحيث $\|\emptyset'(x_n)\|(T^{\gamma})^* \leq 1$.

- و من جهة كون الفضاء T_0^{γ} إنعكاسي، فإنه توجد متتالية متقاربة بضعف فيه و لدينا من جهة أخرى حسب نظرية الإنغماس المتراص بين الفضاءين T_0^{γ}و $C([a,b],IR)$، فتصبح المتتالية $(x_n)_n$ متقاربة بقوة، أي $\lim_{n\to+\infty}\|x_n - x\|_{\infty} = 0$.
- وبإستخدام التقارب بالهيمنة على التابعين المستمرين gو hينتج أن: x_n متقاربة نحوx في الفضاء T_0^{γ}.

الخطوة 2: إثبات أن $\emptyset$محدود من الأدنى:

من خلال الشرط (3) للنظرية الأساسية لهذا العمل، و من خلال عبارة التابعي$\emptyset$، لدينا:

$$\emptyset(v) = \frac{1}{2}\|v\|_{\gamma}^2 - \lambda_1\int_a^b G\big(t,v(t)\big)dt - \lambda_2\int_a^b H\big(t,v(t)\big)dt$$

$$\geq \frac{1}{2}\|v\|_{\gamma}^2 - \lambda_1\int_a^b [a_1(t).|v(t)|^{o_1} + b_1(t)]dt$$

$$- \lambda_2\int_a^b [a_2(t).|v(t)|^{o_2} + b_2(t)]dt$$

$$\emptyset(v) = \frac{1}{2}\|v\|_{\gamma}^2 - \lambda_1 a_1^*\|v\|_{\infty}^{o_1} - \lambda_1 b_1^* - \lambda_2 a_2^*\|v\|_{\infty}^{o_2} - \lambda_1 b_1^*$$

$$\geq \frac{1}{2}\|v\|_{\gamma}^2 - \lambda_1 a_1^* B^{o_1}\|v\|_{\gamma}^{o_1} - \lambda_1 b_1^* - \lambda_2 a_2^* B^{o_2}\|v\|_{\gamma} - \lambda_1 b_1^*$$

- نميز الحالات التالية:

الحالة 1: لما $o_1 = o_2 = 2$، فتصبح

$$\emptyset(v) = \left(\frac{1}{2} - \lambda_1 a_1^* B_1^{o_2} - \lambda_2 a_2^* B_2^{o_2}\right)\|v\|_{\gamma}^2 - \lambda_1 b_1^* - \lambda_2 b_2^*$$

حيث هذا المقدار الأخير يؤول إلى$(+\infty)$ لما $\|v\|_{\gamma}$تؤول إلى $(+\infty)$و عليه التابعي ناقصي و هذا ما يؤول إلى أنه محدود من الأدنى.

الحالة 2: لما $0 < o_1 < o_2 < 2$ ، فينتج أن:

$$\emptyset(v) \geq \frac{1}{2}\|v\|_{\gamma}^2 - \lambda_1 a_1^* B^{o_1}\|v\|_{\gamma}^{o_1} - \lambda_2 a_2^* B^{o_2}\|v\|_{\gamma}^2 - \lambda_1 b_1^* - \lambda_2 b_2^*$$

فنجد أن: $\lim_{\|v\|\to+\infty} \emptyset(v) = +\infty$ و بالتالي فهو ناقصي و عليه فهو محدود من الأدنى.

الحالة 3:لما $0 < o_1 < o_2 < 2$ فنجد أن:

$$\emptyset(v) \geq (\frac{1}{2} - \lambda_2 a_2^* B^{o_2})\|v\|_\aleph^2 - \lambda_1 a_1^* B^{o_1}\|v\|_\aleph^{o_1} - \lambda_1 b_1^* - \lambda_2 b_2^*$$

حيث العبارة هذه تؤول إلى$(+\infty)$ لما $\|v\|_\aleph$يقترب من $(+\infty)$.

*** ملاحظة:**

فيما يخص الحالتين لما $0 < o_1 < o_2 < 2$ و$o_1 = o_2 = 2$ فتعالج بنفس الحالتين (2) و (3) السابقتين.

خلاصة:Conclusion

حسب نظرية النقطة الحرجة فإن التابعي $\emptyset$ يقبل حد أدنى و الذي بدوره هو نقطة حرجة (كون التفاضلية $\emptyset'$ مستمرة و التابعين g و fمستمرين) و عليه فالنقطة الحرجة هي حل للمسألة الكسرية الحدية من نوع كابيتو.

المراجع:Références

1. A.A. Kilbas (2006): H.M. SRIVASTAVA and J. J. Trujillo, Theory and applications of fractional differential equations, Elsevier science, Amsterdam.
2. S. G. Samko, A. A. Kilbas, O. I. Marchichev (1993): Fractional Integral and Derivatives: theory and applications, Gordon and Break.
3. Podlubny (1999) Fractional differential equations, Academic Press, San Diego.
4. Y. Jabri. The Mountain Press theorem Variants, Generalization and same Applications. Cambridge University Press, New York, 2003.
5. F. Jiao, Y. Zhou -2011): Existence of solutions for a class of fractional boundary value problems via critical point theory, Computers and mathematics with applications, (62), 1199-1181.
6. A. Boucenna ,T. Moussaoui, (2015), Existence results for a fractional boundary value Problem via critical point theory, 54,1,47-64.
7. M. Badiale, E. Serra (2011): Semilinear elliptic equations for beginners, Springer-Verlag, New York.
8. K. Diethlem, (2010), the analysis of fractional differential equations, Springer, New York.