التنبؤ بأماكن تواجد الهيدروجين الطبيعي (الأبيض) في ليبيا

أ. د. النوري المبروك رمضان[1]، أ. صديق أحمد اجبوده[1] ، د.الهادي شيوه[2]، أ.عماد الأشخم[2]

[1] قسم الجيولوجيا، كلية العلوم، جامعة الزاوية، ليبيا

[2] قسم الهندسة الجيولوجية و الجيوفيزيائية، كلية هندسة النفط والغاز والطاقة المتجددة، جامعة الزاوية، ليبيا

Email: elnuri66@yahoo.com

الملخص

تم من خلال هذه الدراسة التطرق إلى أحد أهم مصادر الطاقات الجديدة، ألا وهو غاز الهيدروجين الأبيـض (الطبيعي أو كما يطلق عليه بالهيدروجين الجيولوجي)، وذلك في ظل احتمالية نضوب احتياطات النفط والغاز عالميا، كما إن التطور في التغير المناخي المتزايد مع الزمن، والشروط الصارمة للتقليل من الملوثات البيئية والغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري، أثار اهتماما لكثير من المختصين إلى دراسة هذا الغاز الذي تنتجه الطبيعة كمصدر بديل عن الطاقة.

حضي موضوع الهيدروجين الطبيعي بأهمية كبيرة كمصدر محتمل للطاقة النظيفة والمتجددة مستقبلا، والتي نفتقدها في وقتنا الحاضر، حيث يشكل الهيدروجين الطبيعي مصدرا واعدا للاستخدام التجاري، إذ أن وفرة هذا العنصر كبيرة جدا في الأرض، والذي من الممكن أن يحدث نقلة نوعية في نظام الطاقة العالمي إذا تم استثماره بالشكل الصحيح.

ومن هذا المنطلق وفي ظل زيادة الاهتمام بالطاقة الهيدروجينية، وجب الإشارة إلى هذا النوع من الوقود وإمكانية تواجد مكامن لغاز الهيدروجين الطبيعي في ليبيا، واعتمدت هذه الدراسة على جمع وتحليل أحدث البيانات والمعلومات من المراجع والأبحاث العلمية عن جيولوجيا وجيوكيمياء الهيدروجين والاقتصاد الهيدروجيني. وكذلك مواكبة التقدم في الدراسات الحديثة حول الهيدروجين الأبيض كمصدر مستقبلي للطاقة النظيفة والتي تتجه لها الكثير من دول العالم، وتوجيه صناع القرار لوجود مصدرا بديلا للطاقة المستقبلية الصديقة للبيئة.

تهدف هذه الدراسة إلى التنبؤ بأماكن تواجد مكامن الهيدروجين الأبيض (الطبيعي) في ليبيا، وذلك من خلال تحليل الخرائط التكتونية لليبيا وتحديد الصدوع الإقليمية (وخاصة في أماكن تقاطعها) وهي مناطق ضعف في القشرة الأرضية، وكذلك بعض التراكيب الدائرية كما في شرق ليبيا والتي يمكن أن تكون بيئة ملائمة لتواجد الهيدروجين الأبيض.

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

تم في هذه الدراسة تحديد ستة (6) مناطق (أماكن الضعف) في ليبيا التي يحتمل أن يكون بها الهيدروجين الأبيض وكذلك العديد من التوصيات الواجب اتخاذها للبدء في عملية البحث والاستكشاف عن مكامن الهيدروجين الأبيض بالمناطق المحددة.

الكلمات المفتاحية: الهيدروجين الأبيض، ثاني أكسيد الكربون، التراكيب الدائرية.

Predicting the locations of the natural hydrogen (white) in Libya

Elnuri M . Ramadan[1]; Sedeg A. Jbouda[1]
Alhadi M.A. Shiwa[2] ; Emad Y. Alshkham[2]

[1] Department of Geology, Faculty of Science, University of Zawia, Libya.
[2]Department of Geological and Geophysical Engineering, Faculty of Oil, Gas and Renewable Energy Engineering, University of Zawia, Libya.

Abstract:

This study addresses one of the most important new energy sources: white hydrogen gas (natural or as it is called geological hydrogen). Given the potential depletion of global oil and gas reserves, the exacerbation of climate change over time, and the stringent regulations to reduce environmental pollutants and greenhouse gases, this naturally occurring gas has garnered significant attention from specialists as a promising alternative energy source.

The topic of natural hydrogen has been given great importance as a potential future source of clean and renewable energy, which we are missing for the time being. Natural hydrogen is a promising source of commercial use. The hydrogen is one the most abundance Earth's elements, which could be the largest accomplishment in the global energy system if properly invested.

In this context, with the growing interest in hydrogen energy, it is crucial to focus on this type of fuel and the potential presence of natural hydrogen gas reservoirs in Libya. This study was based on the collection and analysis of the most up-to-date data and information from scientific references and research on the geology and geochemistry of hydrogen and the hydrogen economy, and also keep up with the progress of recent studies on white hydrogen as a future source of clean energy, which many of the world's countries are headed for and Instruct decision makers to create an alternative source of environmentally friendly future energy.

The purpose of this study is to predict the location of the (natural) white hydrogen reservoirs in Libya by analyzing tectonic maps of Libya and identifying regional faults (especially at their intersections), these are weak areas in the Earth's crust, as

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

well as some circular structures in the eastern part of Libya, that could be a suitable environment for the presence of white hydrogen.
In this study, six (6) areas (weak areas) were identified in Libya where white hydrogen is likely to be found. Addintionally, it provides several recommendations that must be taken to initiate the exploration search process for white hydrogen reservoirs in these designated areas.

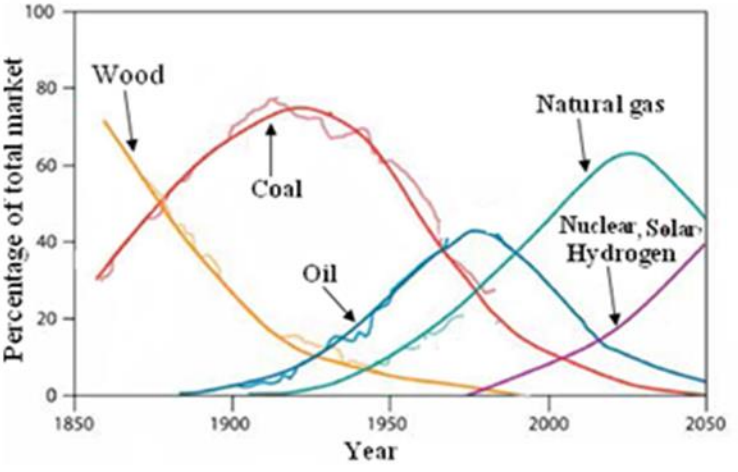
Keywords : White hydrogen, carbon dioxide, ring structures.

المقدمة

شهد العالم خلال السنوات الأخيرة سياسات صارمة للتخفيف من حدة آثار تغير المناخ، الأمر الذي اجبر الدول للخوض إلى مساعي جادة للتقليل من انبعاث الغازات الدفيئة (وخاصة ثاني أكسيد الكربون) المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري، وتشير البيانات الحديثة إلى أن 16٪ من إجمالي انبعاثات الغازات الدفيئة العالمية تفرض عليها ضرائب (ضريبة الكربون) [1]، حيث كان متوسط السعر الدولي للكربون (ضريبة الكربون) في عام 2020 حوالي 3دولار للطن من ثاني أكسيد الكربون، في حين كان هذا السعر 2 دولار للطن من ثاني أكسيد الكربون بالمقارنة في عام 2019 [2]، ولذلك أصبح الهيدروجين أحد الحلول المستقبلية الواعدة لخفض الانبعاثات الكربونية، حيث أنه يعد من مصادر الطاقة المميزة لأنه الحل المثالي لطاقة المستقبل في التخزين والإنتاج للطاقة النظيفة وتقليلا للتلوث البيئي والحد من الاحتباس الحراري للوصول إلى الصفر الكربوني كهدف دولي منشود بحلول عام 2050.

إن الانتقال إلى مصدر جديد من الطاقة هو مسار تحول طبيعي في تاريخ تطور البشرية، حيث كان الإنسان يستعمل الخشب للحصول على الطاقة ثم انتقل إلى الفحم ثم النفط والغاز، ووقتنا الحاضر يمثل بداية العصر الهيدروجيني كمصدر جديد للطاقة، ويوضح الشكل (1) مراحل تطور مصادر الطاقة [3].

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر



الشكل (1): يوضح مراحل تطور اعتماد البشرية على مصادر الطاقة[3].

زاد الطلب العالمي على الهيدروجين عدة أضعاف من 18.2 مليون طن في عام 1975 إلى 94 مليون طن في عام 2021، ومن المتوقع أن يرتفع إلى 530 مليون طن بحلول عام 2050 (الوكالة الدولية للطاقة IEA، 2021) [4]. يتم إنتاج أكثر من 95% من الهيدروجين باستخدام الوقود الأحفوري، ولم تحقق أي من هذه العمليات تكافؤًا في الأسعار مع الغاز الطبيعي، وبالتالي لا يزال الهيدروجين المُصنع وقودًا باهظ الثمن.

توجد عدة أنواع (مسميات أو ألوان) للهيدروجين [7,6,5]:

- **الأخضر**: يُطلق على الهيدروجين الذي يتم الحصول عليه من خلال التحليل الكهربائي للمياه العذبة باستخدام الكهرباء المتجددة (مثل طاقة الرياح و الطاقة الشمسية)، لا ينتج عنه أي ملوثات للبيئة. يشكل الهيدروجين الأخضر حاليا نسبة بسيطة من إجمالي الهيدروجين، لأن الإنتاج بهذه الطريقة مكلف جدا.
- **الهيدروجين الأسود أو البني (حسب نوع الفحم المستخدم)**: يعتمد على الفحم الحجري باستخدام الطاقة الحرارية. يعتبر هذا النوع الأكثر تلوثا للبيئة.
- **الهيدروجين الرمادي**: يعتمد على الغاز الطبيعي باستخدام الطاقة الحرارية. تعتبر الطريقة الصناعية الأكثر انتشارا وأقل تكلفة و ملوثا نسبيا للبيئة. يمثل هذا المنتج حوالي 90% من إنتاج الهيدروجين في العالم.
- **الهيدروجين الأزرق**: يعتمد على الوقود الأحفوري باستخدام الطاقة الحرارية ويعتبر نسخة متطورة من النوع الرمادي، ولكن يتطلب احتجاز الكربون وتخزينه وغير ملوث نسبيا للبيئة.
- **الهيدروجين الأصفر**: يعتمد على فصل مكونات الماء من ناتج الطاقة النووية بالمحطات الكهرباء.

Copyright reserved for the conference
حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

- **الهيدروجين الأبيض:** أو كما يطلق عليه الهيدروجين الجيولوجي– ويشير مصطلح الهيدروجين الجيولوجي أو الأبيض إلى غاز الهيدروجين المتواجد تحت سطح الأرض في صورته الطبيعية.

تعتمد الأفكار حول طبيعة انبعاث الهيدروجين الطبيعي من باطن الأرض، والتي عبر عنها لأول مرة في العقد الثاني من القرن العشرين (فيرنادسكي Vernadsky V. I)، الذي اقترح أن باطن الأرض يحتوي على كميات هائلة من الهيدروجين [9،8]. وقدم الباحث لارين Larine في أواخر الثمانينيات من في باطن الأرض، والتي تكونت مع بداية نشأة الأرض [10].

هنالك العديد من الأبحاث التي تشير إلى علاقة تواجد الهيدروجين في باطن الأرض وتفسير نشأة الكثير من التراكيب الجيولوجية وبعض ظواهر القرن العشرين كل البراهين والأدلة القاطعة التي تثبت وجود كميات ضخمة من الهيدروجين الطبيعية [16,15,14,13,12,11].

جدول رقم (1): أنواع الهيدروجين حسب طريقة الإنتاج والمادة الخام ومصدر الطاقة [7,6,5]

اللون	المادة الخام / مصدر الطاقة	طريقة الإنتاج	الأثر البيئي
الهيدروجين الأخضر	الماء/ الكهرباء المتجددة	التحليل الكهربائي للماء	صديق للبيئة، لا ينتج عنه أي ملوثات، مكلف جدا
الهيدروجين الأسود/البني	الفحم/ الطاقة الحرارية	تحويل الفحم إلى غاز	الأكثر تلوثا للبيئة (يطلق حوالي 19 كجم من ثاني أكسيد الكربون/كجم هيدروجين)
الهيدروجين الرمادي	الغاز الطبيعي/ الطاقة الحرارية	يستخرج من الغاز الطبيعي بفصل الهيدروجين عن الكربون	يعتبر ملوثا نسبيا للبيئة (يطلق حوالي 10 كجم ثاني أكسيد الكربون /كجم هيدروجين، الأكثر انتشارا وأقل تكلفة
الهيدروجين الأزرق	الغاز الطبيعي أو الفحم/ الطاقة الحرارية	يستخرج من الغاز الطبيعي بفصل الهيدروجين عن الكربون	غير ملوث نسبيا للبيئة، ويعتبر نسخة متطورة من النوع الرمادي، ولكن يتطلب احتجاز الكربون وتخزينه
الهيدروجين الأصفر	الماء/ الطاقة النووية	التحليل الكهربائي للماء	صديق للبيئة لا ينتج عنه أي ملوثات،
الهيدروجين الأبيض	غاز هيدروجين طبيعي	يوجد بشكل طبيعي في باطن الأرض	لا توجد دراسات

تهدف هذه الدراسة إلى التنبؤ بأماكن تواجد مكامن الهيدروجين الأبيض (الطبيعي) في ليبيا، وذلك من خلال تحديد الصدوع الإقليمية (وخاصة في أماكن تقاطعها) وهي مناطق ضعف في القشرة الأرضية والتي يمكن أن تكون بيئة ملامة لتواجد الهيدروجين الأبيض. وكذلك مواكبة التقدم في الدراسات الحديثة حول الهيدروجين

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

الأبيض كمصدر مستقبلي للطاقة النظيفة والتي تتجه لها الكثير من دول العالم، وتوجيه صناع القرار لوجود مصدرا بديلا للطاقة المستقبلية الصديقة للبيئة.

شواهد وظواهر انبعاثات الهيدروجين الطبيعي

لوحظ في العديد من الأماكن في العالم ظاهرة انبعاث غاز الهيدروجين الطبيعي (والغازات الأخرى) من باطن الأرض من خلال أماكن الضعف داخل القشرة الأرضية في الصدوع والتشققات والبراكين ومناطق الحيود الوسط محيطية (Mid-Oceanic Ridges)، والتي أكدتها عدة مصادر مستقلة [19,18,17].

توجد حالياً عشرات الشواهد والمكامن الموثقة في العديد من دول العالم، من بينها حقل نبراسكا في أميركا [22،21،20]، وكندا وفليندا [23]، والفيليبين [24]، واستراليا [25]، والبرازيل [28،27،26]، وسلطنة عمان [31،30،29]، وروسيا [33،32]، والصين [34] ومناطق أخرى عديدة في العالم.

يوضح الشكل (2) مناطق انبعاثات الهيدروجين التي تمت دراستها وتوثيقها في العديد من الأبحاث والكتب العلمية (أكثر من 330 بحثا و20 كتابا) في جامعات ومراكز بحثية مختلفة من دول العالم [35].

شكل (2): يوضح أماكن انبعاثات (تصاعد) غاز الهيدروجين الطبيعي بتركيز أكبر من 10% [35].

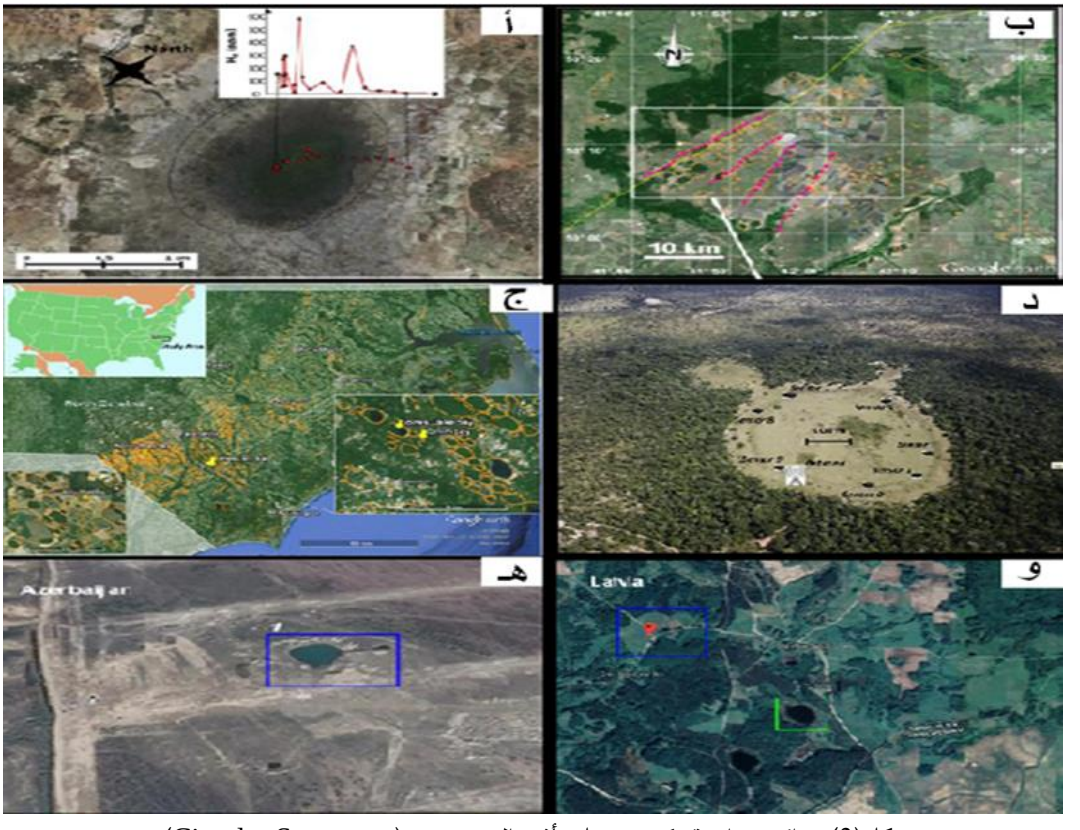
هناك شواهد كثيرة جدا على وجود انبعاثات للهيدروجين الطبيعي في مناطق مختلفة من العالم، ومنها ما هو ظاهر للعيان منذ مئات السنين، على شكل لهب متصاعد من شقوق الأرض، وربما يكون أكثرها شهرة تلك

Copyright reserved for the conference
حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

الموجودة في منطقة يانارتاس في جنوب تركيا بجبل كيميرا، حيث جسدت الأساطير اليونانية القديمة ذلك اللهب على شكل "وحش كيميرا" الشهير الذي ينفث النار، فإن أهل المنطقة يستخدمونه اليوم لتسخين الشاي وطهي الطعام خلال رحلات التنزه، حيث تصل نسبة تركيز الهيدروجين إلى 15% [36].

يعتبر بئر قرية بوراكيبوغو في مالي هو البئر الأكثر شهرة، والذي تم اكتشافه صدفة في ثمانينيات القرن الماضي خلال حفر آبار للمياه [37]. وقد تم إهماله حتى العام 2012 حين قررت شركة هايدروما الكندية إعادة فتح البئر وتقييمه، حيث بلغت نسبة غاز الهيدروجين فيه ما يقارب 98%، فقامت بعد ذلك ببناء محطة صغيرة لتوليد الكهرباء بالهيدروجين الطبيعي، والتي لا تزال تعمل حتى اليوم.

يوضح الشكل (3) تراكيب دائرية (Ring structures) تكونت نتيجة تفاعل الهيدروجين مع الطبقات الصخرية المختلفة، والتي تعتبر من أحد الدلائل على وجود الهيدروجين [40,39,38].



شكل(3): تراكيب دائرية تكونت بفعل تأثير الهيدروجين (Circular Structures)

Copyright reserved for the conference
حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

ومن الجدير بالذكر أن ليبيا من المناطق النشطة تكتونيا والمتأثرة بالحركات الإقليمية بقارة أفريقيا مخلفة مجموعة من الصدوع الرئيسية المتقاطعة من ليبيا. كما يوجد بعض التراكيب الجيولوجية في شرق ليبيا (والمسماة بالهواء)، حيث تعتبر كل هذه المناطق بيئة ملائمة لتواجد مكامن غاز الهيدروجين الطبيعي.

أ- بنية تركيبية دائرية (في مالي) ويوضح تراكيز عالية من غاز الهيدروجين تصل إلى 600 ppm .

ب- تراكيب دائرية مختلفة الأبعاد في روسيا والتي ينبعث من خلالها غاز الهيدروجين.

ج- تراكيب دائرية مختلفة الأبعاد في أمريكا (ولاية كارولينا) والتي ينبعث من خلالها غاز الهيدروجين.

د- بنية تركيبية دائرية في ساو فرانسيسكو (البرازيل).

هـ ، و- تراكيب دائرية في أذربيجان و لاتفيا. تكونت نتيجة انبعاث غاز الهيدروجين من خلال صخور البازلت. [40,39,38]

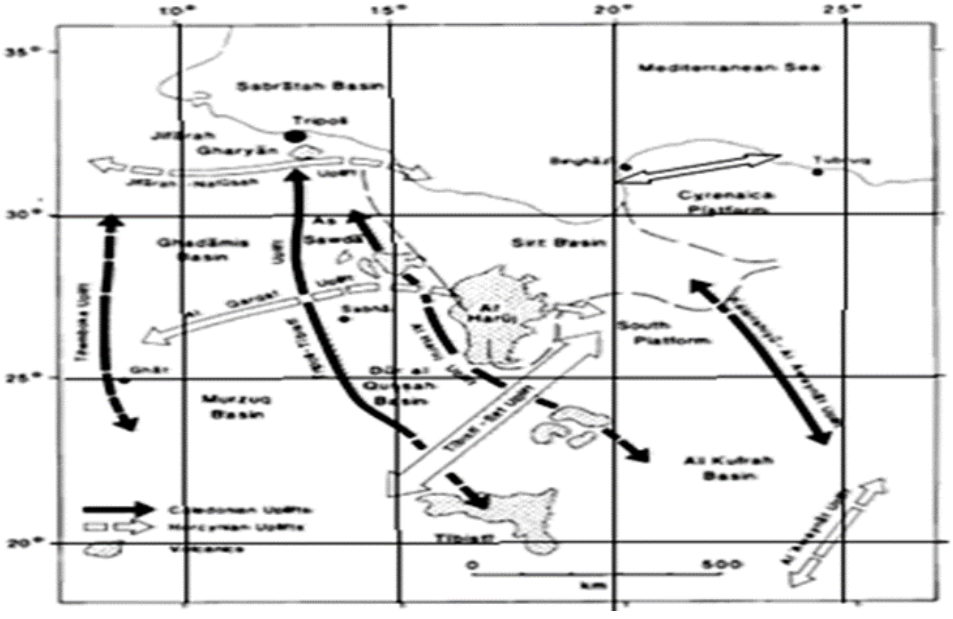
النتائج والمناقشة

يمكن التنبؤ بتواجد مكامن الهيدروجين الطبيعي في ليبيا أولا عن طريق تحديد أماكن الصدوع العميقة (أو الإقليمية أو الرئيسية) وخاصة التي تتقاطع مع بعضها، حيث تنشأ مناطق ضعف وتشققات كثيرة يصعد منها غاز الهيدروجين من أعماق الأرض، وهذا يمكن أن يتحقق عن طريق تحليل الخرائط التكتونية لليبيا. ثانيا عن طريق تحديد أماكن التراكيب الدائرية (Ring structures) التي تنشأ نتيجة تفاعل الغازات وخاصة الهيدروجين مع الطبقات الصخرية المختلفة، وتكون واضحة أكثر في الغابات (حيث يتفاعل الهيدروجين بشدة مع الغطاء النباتي).

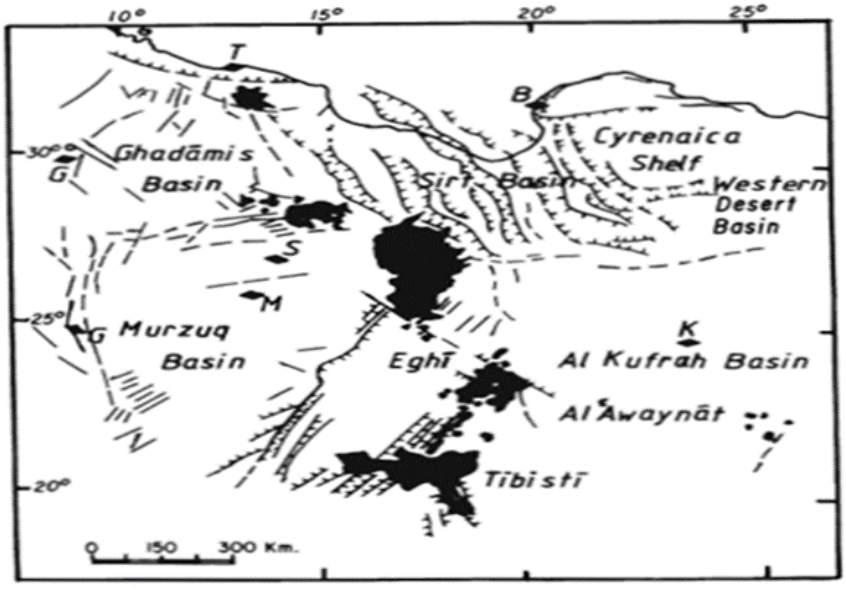
تنقسم الصدوع الرئيسية في ليبيا إلى قسمين: الأولى تكونت نتيجة الحركة الكاليدونية في بداية الباليوزويك والتي لها اتجاه شمال غرب- جنوب شرق (NW-SE)، والثانية تكونت نتيجة الحركة الهرسينية في نهاية الباليوزويك ولها اتجاه شمال شرق – جنوب غرب (NE-SW).

من خلال تحليل الخرائط التكتونية (شكل 4،5،6،7) لليبيا يمكن تحديد المناطق التي يمكن أن يتواجد بها مكامن الهيدروجين (شكل8)، وهي عبارة عن أماكن تقاطع الصدوع الإقليمية العميقة التي تعتبر مسارات جيدة لانبعاثات غاز الهيدروجين، والمناطق هي:

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر



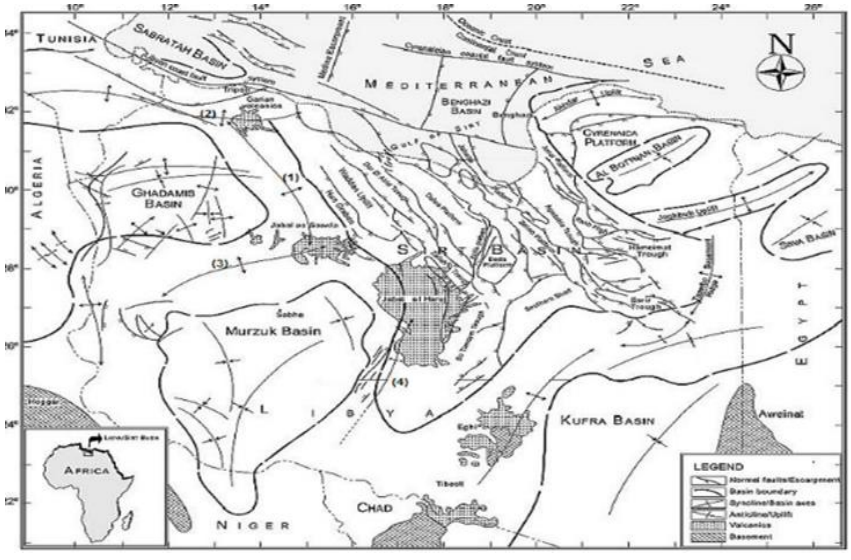
شكل (4): خريطة توضح أهم التراكيب التكتونية في ليبيا [41]



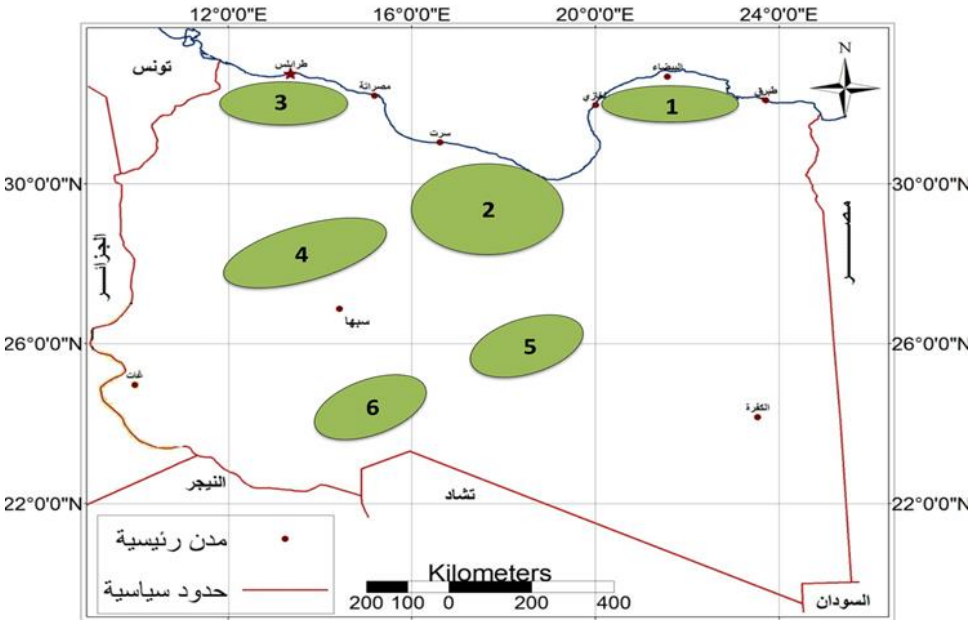
شكل (5): خريطة ليبيا التكتونية توضح أهم الصدوع الرئيسية وتوضعات الصخور النارية الحديثة [42]

Copyright reserved for the conference
حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

شكل (6): البنية التركيبية والتكتونية العامة في ليبيا[43].



شكل (7):المظاهر التركيبية و التكتونية العامة في ليبيا [43]



شكل (8): خريطة التنبؤ بأماكن تواجد الهيدروجين في ليبيا (عمل الفريق البحثي)

1- **منطقة الجبل الأخضر** وتتكون أساسا من عدة صدوع رئيسية ذات اتجاه شرق–غرب والتي تتقاطع مع صدوع ثانوية ذات اتجاه عمودي أو شبه عمودي معها مكونة بذلك شبكة من الكسور والتشققات في المنطقة. تتميز منطقة الجبل الأخضر بوجود العديد من الكهوف والمغارات التي تكونت نتيجة ظاهرة الكارست. كما توجد التراكيب الدائرية (أو كما تسمى بالهواء) مثل هواء حجري وهواء هيتيني (أو هيتينا) وغيرها. تكونت هذه التراكيب الدائرية (الهواء) في فترة زمنية قصيرة مقارنة بعملية الكارست (ألاف أو عشرات ألاف السنين)، حيث أن غاز الهيدروجين (أو مركباته الحمضية مثل كبريتيد الهيدروجين و حمض الهيدروكلوريك) تتفاعل بشدة وبسرعة مع الصخور مكونة هذه التراكيب الغريبة. تدل هذه التراكيب على وجود كميات كبيرة من الهيدروجين في الأعماق.

2- **منطقة سرت** وهي عبارة عن مجموعة كبيرة من الصدوع ذات اتجاه شمال غرب – جنوب شرق تتقاطع معها عموديا أو شبه عموديا صدوع ثانوية.

3- **منطقة شمال غرب ليبيا** وهي عبارة عن منطقة تقاطع تراكيب إقليمية (Nafusha Uplift-Tripoli Tibisti Uplift)، والذي نتج عنها صدوع وتشققات مختلفة، والتي نتج منها بعض الينابيع الحرمائية مثل حمام العجيلات وتاجوراء، وغيرها.

Copyright reserved for the conference
حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

4- **منطقة سبها- أوباري** وهي عبارة عن تقاطع التراكيب الإقليمية (Al Qarqaf- Tripoli Tibisti Uplift) و (Al Qarqaf- Tinmboka Uplift) ونتيجة لصعود الهيدروجين تكونت التراكيب الدائرية التي امتلأت بالمياه مثل بحيرات قبرعون ومافو وتنقزران وام الماء وغيرها.

5- **منطقة وسط ليبيا** عبارة عن تقاطع التراكيب الإقليمية (Sirt Arch- HarujUplift).

6- **منطقة مرزق**عبارة عن تقاطع التراكيب الإقليمية (Sirt Arch- Tripoli Tibisti Uplift).

الاستنتاجات:

من خلال تحليل الخرائط التكتونية لليبيا تم تحديد ستة (6) مناطق، والتي من المحتمل أن يتواجد بها مكامن الهيدروجين الأبيض.

التوصيات

- يجب العمل على تعديل (أو إضافة) قانون التعدين لتصنيف الهيدروجين الأبيض (الطبيعي) كنوع من أنواع الوقود (مثل النفط والغاز الطبيعي) لأنه في معظم البلدان (و ليبيا أيضا) لا يندرج بعد تحت أي مسمى، بحيث يسمح بالتقدم بطلب للحصول على تصريح (أو امتياز) استكشاف أو إنتاج بشكل عام.
- استحداث فريق أو (لجنة أو مجلس) من الجيولوجيين و الجيوفيزيائيين لدراسة الهيدروجين الطبيعي في ليبيا.
- تجميع و تحليل الأبحاث والدراسات حول الهيدروجين الطبيعي في مختلف دول العالم.
- استخدام احدث الأجهزة لقياس الهيدروجين في أبار النفط والغاز الموجودة في ليبيا.
- القيام بعملية المسح الجيوكيميائي لغازات التربة في المناطق المحددة والمتوقع تواجد الهيدروجين الأبيض فيها.
- إجراء المزيد من الدراسات الجيوفيزيائية وخاصة الزلزالية لمعرفة وتحديد التراكيب الجيولوجية المختلفة التي يصعد منها الهيدروجين.
- القيام بإجراء دراسات الاستشعار عن بعد و تقنية نظم المعلومات الجغرافية **(GIS)** لتحديد التراكيب الدائرية **(Ring structures)** في ليبيا، التي تكونت نتيجة تفاعل الهيدروجين مع الطبقات الصخرية المختلفة (أو مع الغلاف النباتي).
- يجب على الجهات الحكومية العمل على وضع عدة سيناريوهات جديدة للانتقال إلى مصادر الطاقة الصديقة للبيئة، والتي من أهمها الهيدروجين الأبيض.

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

References

[1] World Bank Group, State and Trends of Carbon Pricing. Washington DC: World Bank. June (2020).
[2] Goldman Sachs, Carbonomics: The Green Engine of Economic Recovery. (2020).
[3] N.Nakicenovic, Energy Strategies for Mitigating Global Change. IIASA. January (1992) .http://pure.iiasa.ac.at/3694/.
[4] IEA (2021), Net Zero by 2050, IEA, Paris. https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050, License: CC BY 4.0.
[5] https://Attaqa.net. منصة الطاقة
[6] https://library.fes.de. الهيدروجين كمصدر طاقة خضراء في منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا
[7] S.Sen, M. Bansal, S.Razavi, A.Khan, The Color Palette of the Colorless Hydrogen,June (2022). https://jpt.spe.org/twa/the-color-palette-of-the-colorless-hydrogen.
[8] V.Shestopalov, A.Makarenko, On some research results developing Vernadsky's idea of "gas breathing of the Earth". Article 1. Surface and near-surface manifestations of abnormal degassing. Geological journal, Issue 3 (2013), pp.7–25. (In Russ).
[9] V.Shestopalov, A.Makarenko, On some research results developing Vernadsky's idea of "gas breathing of the Earth". Article 2. Deep processes of subsoil degassing]. Geological Journal,Issue 3 (2014), pp.7–28. (In Russ.).
[10] V.Larin, Hydridic Earth: the New Geology of Our Primordially Hydrogen-Rich Planet, (C.Hunt, Ed., on translation), Canada: Polar Publishing, Calgary Alberta, (1993).
[11] W.Quentin, J.Russell, Hydrogen in the Earth. Annu. Rev. Earth Planet Sci, 29 (2001), pp.365-418.
[12] L.Riko, Y.Takehiko, G.Hirotada, O.Takuo, H.Takanori, S.Asami, Hydrogenation of iron in the early stage of Earth's evolution. Jour. Nat.comm., Jan (2017),pp.1-7. DOI:10.1038/ncomms14096.
[13] Y.Hua, M.Joshua, Z.Feiwu, Iron Hydride in the Earth's Inner Core. Research Square, Nov (2021), pp.1-19. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1030566/v1.
[14] E.Angino,R.Coveney, E. Goebel, E.Zeller, G.Dreschhoff, Hydrogen and nitrogen-origin, distribution and abundance a follow up. Oil and gas journal 82 (1984),pp.142-146.

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

[15] V.Antonov, M Baier, B.Dorner, V.Fedotov, G.Grosse, A Kolesnikov, E.Ponyatovsky, G. Schneider, F.Wagner, High-pressure hydrides of iron and its alloys. Jour. Phys. Condens. Matter 14 (2002), pp. 6427-6445.

[16] J.Apps, P.Van De Kamp, Energy gases of abiogenic origin in the Earth's crust. Future energy gases, USGS Professional Paper, 1570 (1993), pp.81-132.

[17] V.Syvorotkin, Deep degassing of the Earth and global catastrophes. Moscow: Publishing house of LLC Geoinform.center, (2002). (In Russ).

[18] V.Epifanov, Explosive funnel-wells and the urgency of studying the role of subsoil degassing in climatic events and landscape transformations of the Quaternary period. Bull. ofcom. for study of the Quarternary 76 (2018), pp.5-40.

[19] N.Larin, Constitution of Earth and Hydrogen Energy. Jour. Environmental Earth and Energy Study (JEEES) 3 (2021), pp.43-61. https://10.5281/zenodo.5547009.

[20] V.Zgonnik, V.Beaumont, E.Deville, N.Larin, D.Pillot, K.Farrell, Evidences for natural hydrogen seepages associated with rounded subsident structures: the Carolina bays (Northern Carolina, USA). Prog.EarthPlanet.Sci, (2015). https://doi.org/10.1186/s40645-015-0062-5.

[21] K.Newell, J.Doveton, D.Merriam, B.Lollar, W.Waggoner, L.Magnuson, H_2-rich and hydrocarbon gas recovered in a deep precambrian well in North-eastern Kansas. Natural Resources Research, 16 (2007), pp.277–292.

[22] J.Guelard, V. Beaumont, V.Rouchon, F.Guyot, D.Pillot, D.Jezequel, M.Ader, K.Newell, E.Deville, Natural H_2 in Kansas: Deep or shallow origin?, Geochem.Geophys. Geosyst.,18 (2017), pp.1841–1865. doi:10.1002/ 2016GC006544.

[23] B.Sherwood-Lollar,K.Voglesonger, L.Lin, G.Lacrampe-Couloume, J.Telling, T.Abrajano, T.Onstott, L.Pratt, Hydrogeologic controls on episodic H_2 release from precarmbrian fractured rocks – Energy for deep subsurface life on Earth and Mars. Astrobiology, 6 (2007). DOI: 10.1089/ast.2006.0096.

[24] T.Abranjano, N.Sturchio, J.Bohlke, G.Lyon, R.Poreda, C.Stevens, Methane-hydrogen gas seeps, Zambales ophiolite, Philippines: Deep or shallow origin? Chemical Geology, 71 (1988), pp.211-222.

[25] C.Boreham, D.Edwards, K.Czado, N.Rollet, L.Wang, S.van der Wielen, D.Champion, R.Blewett, A.Feitz,P.Henson, Hydrogen in Australian natural

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

gas: Occurrences, sources, and resources. The APPEA Jour, 61 (2021),pp.163-191. https://doi.org/10.1071/AJ20044.

[26] A.Prinzhofer, I.Moretti, J.Francolin, C.Pacheco, A.D'Agostino, J.Werly, F.Rupin, Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H_2-emitting structure. Int. Jour. of Hydrogen Energy, 44, (2019), pp.5676-5685. doi:10.1016/j.ijhydene.2019.01.119

[27] F.Donze, L.Truche, P.SherakiNamin, N.Lefeuvre, E.Bazarkina, Migration of natural hydrogen from deep-seated sources in the Sao Francisco basin, Brazil. Geosciences 10 (2020), 346. DOI: 10.3390/geosciences10090346.

[28] A.Prinzhofer, C.Rigollet, N.Lefeuvre, J.Françolin, P.EmilioValad˜ao de Miranda, Marica (Brazil), the new natural hydrogen play which change the paradigm of hydrogen exploration. Int.Jou. of Hydrogen Energy, Elsevier,62 (2024), pp.91-98. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.02.263.

[29] J.Leong, M.Nielsen, N.Mcqueen, R.Karolytė, D.Hillegonds, C.Ballentine, T.Darrah, W.Mcgillis, P.Kelemen, H_2 and CH_4 outgassing rates in the Samail ophiolite, Oman: Implications for low-temperature, continental serpentinization rates, Geochimica et CosmochimicaActa, 347 (2023). doi:10.1016/j.gca.2023.02.008.

[30] C.Neal, G, Stanger, Hydrogen generation from mantle source rock in Oman. Earth and Planetary Science Letters, 66 (1983), pp.315-320. doi:10.1016/0012-821X(83)90144-9

[31] V.Zgonnik, V.Beaumont,N.Larin,D.Pillot, E.Deville, Diffused flow of molecular hydrogen through the Western Hajar mountains, Northern Oman. Arabian Journal of Geosciences, Vol. 12, N 71 (2019). https://doi.org/10.1007/s12517-019-4242-2.

[32] N.Larin, V.Zgonnik, S.Rodina, E.Deville, A.Prinzhofer, V.Larin, Natural molecular hydrogen seepages associated with surficial, rounded depression on the European craton in Russia. Nat. Resour. Res, 24 (2014), pp.369-383. https://doi.org/10.1007/s11053-014-9257-5.

[33] V.Nenakhov, V.Polevanov, A.Zhabin, S.Bondarenko, G.Zolotareva, Prospects for the discovery of natural hydrogen in the Voronezh anteclise. Journal of gen. and reg. geology, 2 (2022),pp.4-18, (In Russ). https://doi.org/10.17308/geology.2022.2/9275.

[34] L.Wang, Z.Jin, Q.Liu, K.Liu, Q.Meng,X.Huang, Y. Su, Q.Zhang, The occurrence pattern of natural hydrogen in the Songliao Basin, P.R. China:

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر

Insights on natural hydrogen exploration, International Journal of Hydrogen Energy, (2023), https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.237.

[35] V.Zgonnik, The occurrence and geosciences of natural hydrogen: A comprehensive review. Earth Science Reviews, (2020). https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103140.

[36] H.Hosg, G.Etiope, M.Yalcin, New evidence for a mixed inorganic and organic origin of the Olympic Chimaera fire (Turkey). Geofluids, 4 (2008),pp.263-273.

[37] A.Prinzhofer, C.Cisse, A.Diallo, Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali). Int.Jour. Hydrogen Energy, October Vol 43, (Iss 42) (2018), pp.19315-19326. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.193.

[38] R.Reza, Natural hydrogen System in Western Australia, (2020), https://doi:10.20944/preprints202010.0589.v1

[39] M.Yakymchuk, I.Korchagin, Application of frequency-resonance technology of satellite images and photographs processing for the hydrogen accumulations searching. EAGE-Geoinformatics, May (2020).

[40] N.Larin, V.Larin, A.Gorbatikov, Ring structures caused by deep hydrogen flows in [Degassing of the Earth: geotectonics, geodynamics, geofluids; oil and gas; hydrocarbons and life. Mater. All-Russian conf. with internat. participation, Moscow, GEOS publ., (2010), pp.284–287. (In Russ.).

[41] E.Klitzch, Basalt volcanism of Djebel Haroudj, east Fezzan (Libya). Geol.Rundsch., 57 (1967), pp.585-601..

[42] E.Bellini, D.Massa, A stratigraphic contribution to the Palaeozoic of the southern basins of Libya. Second Symposium on the Geology of Libya.vol. 1 (eds. M.J. Salem and M.T. Busrewil),Academic Press, London. (1980), pp. 3-56.

[43] A.Abadi, J.Van Wees, P.VanDijk, S.Cloetingh, Tectonics and subsidence evolution of the Sirt basin, Libya. AAPGBull., vol. 92 (8), (2008), pp. 993–1027.

[44] J.Anketell, Structural history of the Sirt Basin and its relationship to the Sabratah Basin and Cyrenaica Platform, northern Libya. First Symposium on the Sedimentary Basins of Libya, Geology of the Sirt Basin, vol. 3. (eds.) M.J. Salem, M.T. Busrewil, A.A. Misallati, and M.A. Sola, Amsterdam, (1996), pp. 57-89.

Copyright reserved for the conference حقوق الطبع محفوظة للمؤتمر