# المعَايير البيئيَّة لتحديدِ أنْسَب المواقع لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر في المَملكة المَغربيَّة باستخدامِ تقنيات الاستشعَار عَن بُعد في بيئةِ نُظم المعلومات الجُغرافيَّة

د. ماهر حامد سعداوي[١]

د. محمود عبد الفتاح محمود عبد اللطيف عنبر[٢]

**المُلخَّص:**

يَتجه العَالَم نحو ثورةٍ جديدةٍ في عَالمِ الطاقة النظيفة والمُستدامة، وذلك باستخدامِ الهيدروجين الأخضر؛ للتوصّلِ إلى وقودٍ خَالٍ مِن الكربون، يُساعدُ على صَوْن البيئة. وقد وَضَعَت أجندة أفريقيا ٢٠٦٣م برنامجًا لتطويرِ الإنتاج مِن الهيدروجين الأخضر، الذي يُعرفُ **بـ"وقود المُستقبل"**. كما اتجهت أوروبا إلى تطبيقِ خُطَّة نحو الاقتصاد الأخضر؛ لِتكونَ أوّل قارة مُحايدة مُناخيًّا بحلولِ عام ٢٠٥٠م.

بَدأت العَديد مِن البلدان الأفريقيَّة في تطويرِ إمكاناتها مِن أجلِ إنتاج الهيدروجين الأخضر. وتُعَدُّ المَملكة المَغربيَّة إقليميًّا مُناسبًا لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر؛ لامتلاكِها إمكانات كبيرة مِن مَصادر الطاقة المُتجدّدة، التي تُساعدُ في إنتاجِ ذلك المَصدر الوليد مِن الطاقةِ النظيفةِ المُستدامةِ.

**تهدفُ** هذه الدراسة إلى التعرُّفِ على مَصادرِ إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة، وتحديد المَعايير البيئيَّة (الطبيعيَّة والبَشريَّة) لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر، وطبقًا لنتائجِ بيانات التحليلات المَكانيَّة، في بيئةِ نُظم المعلومات الجُغرافيَّة، قَامَ الباحثان ببناءِ نموذج معلومات جُغرافي مُقترح لتحديدِ أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المغربيَّة؛ للحَدِّ مِن استهلاك الوقود الأحفوري؛ حيثُ تتجه المَملكة المَغربيَّة إلى خَفضِ انبعاثاتها الكربونيَّة بنسبةِ ٤٠ % بحلولِ عام ٢٠٣٠م.

(١) أستاذ مُساعد الجُغرافيا الاقتصاديَّة ونُظم المعلومات الجُغرافيَّة، قسم الجُغرافيا ونُظم المعلومات الجُغرافيَّة، كُلية الدراسات الأفريقيَّة العُليا – جامعة القاهرة maherhs2005@yahoo.com

(٢) مُدرس المُناخ والبيئة، قسم الجُغرافيا – كُلية الآداب – جامعة القاهرة mahabdfatah@cu.edu.eg

اعتمدت الدراسة في بناءِ النموذج Model Builder على طريقةِ **التحليل المَكاني مُتعدِّد المَعايير** (**S**patial **M**ulti-**C**riteria **A**nalysis (**SMCA**)، باستخدامِ **أداة التركيب الخَطّي الموزون Weighted Overlay Tool**، وذلك لحسابِ المتوسط الموزون لمجموعة مِن مَعايير المُتغيّرات المكانيَّة لمنطقةِ الدراسة. ومِن أَهَمّ هذه المَعايير، المَعايير (المُناخيَّة، والبيئيَّة، والجيولوجيَّة، والتضاريسيَّة، والاقتصاديَّة). كُلُّ هذه المَعايير سَاعَدَت في بناءِ النموذج المُقترح لتحديدِ أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المغربيَّة. وقد أظهرت نتائج الدراسة أن المَواقع الأعلى مُلاءمة، في إمكانيات إنتاج الهيدروجين الأخضر، تتوزَّعُ في وَسَطِ، وشرق، وجنوب شرق المَملكة المَغربيَّة، وكذلك في مناطق تصريف الأنهار.

**الكلمات المِفْتاحيَّة "الدَّالة":** المَعايير البيئيَّة – الهيدروجين الأخضر – الطاقة المُستدامة – الكهرباء – نماذج المُلاءمة المكانيَّة – المَملكة المَغربيَّة.

# Environmental Criteria to Determine the Most Suitable Sites for Green Hydrogen Production in the Kingdom of Morocco Using Remote Sensing Techniques in a Geographic Information Systems Environment

**(1) Dr. Maher Hamed Sadawy.**

**(2) Dr. Mahmoud Abdel-Fattah Mahmoud Abdel-Latif Anbar.**

## Abstract:

The world is heading towards a new revolution in the world of clean and sustainable energy, using green hydrogen; to reach a carbon-free fuel that helps preserve the environment. The Africa Agenda 2063

**(1)Assistant Professor of Economic Geography and Geographic Information Systems - Faculty of African Postgraduate Studies - Cairo University.**
**(2) Lecturer of Climate and Environment, Department of Geography - Faculty of Arts - Cairo University. mahabdfatah@cu.edu.eg**

has set a program to develop the production of green hydrogen, known as the **"fuel of the future"**. Europe has also moved towards implementing a plan towards a green economy; to be the first climate-neutral continent by 2050.

Many African countries have begun to develop their capabilities to produce green hydrogen. the Kingdom of Morocco is considered a suitable regional location to produce green hydrogen; because it has great potential for renewable energy sources, which help in producing this emerging source of clean, sustainable energy.

**This study aims to** identify the sources of electricity production in the Kingdom of Morocco, and to determine the environmental criteria (Physical and Human) to produce green hydrogen. According to the results of spatial analysis data, in a geographic information systems environment, the researchers built a proposed geographic information model to determine the most suitable sites for establishing green hydrogen stations in the Kingdom of Morocco; to reduce the consumption of fossil fuels; as in the Kingdom of Morocco is heading to reduce its carbon emissions by 40% by 2030 AD.

The study relied on the **S**patial **M**ulti-**C**riteria **A**nalysis (**SMCA**) method to build the Model Builder, using **the Weighted Overlay Tool**, to calculate the weighted average of a set of spatial variable criteria for the study area. The most important of these criteria are (climatic, environmental, geological, topographic, and economic). All of these criteria helped in building the proposed model to determine the most suitable sites for establishing green hydrogen stations in the Kingdom of Morocco. The results of the study showed that the most suitable sites, in terms of green hydrogen production potential, are distributed in the center, east, and southeast of the Kingdom of Morocco, as well as in river drainage areas.

**Key Words:** Environmental Criteria – Green Hydrogen – Sustainable Energy – Electricity – Spatial Suitability Models – Kingdom of Morocco.

**مُقَدّمَة:**

**أَخَذَ** إنتاج الهيدروجين الأخضر اهتمامًا كبيرًا لَدى المُنظمات والمُؤسَّسات الدوليَّة المُختصَّة؛ بغرضِ الحَدّ مِن استخدامِ الوقود الأحفوري، غير المُتجدّد، لِما يَترتب عليه مِن كِميَّاتٍ هائلةٍ مِن الملوثات، بكافةِ أشكالها، والسّعي مِن أجلِ الحصول على مَوْرِد طاقة لا يَنضب، وليس له أثرٌ سَلْبيٌّ على البيئةِ. وقد تزايدَ الاهتمام الدولي في الآونةِ الأخيرة بالتوسّعِ في إنتاجِ الكهرباء، مِن مَصادرِ الطاقة المُتجدّدة، وخاصةً مِن طاقات (الشمس، والرياح، والمِياه)، مِمَّا يُساعدُ على التوسّعِ في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر؛ وذلك لتقليلِ الاعتماد على مَصادرِ الطاقة التقليديَّة، ومواجهة التهديدات البيئيَّة للتغيُّرِ المُناخي، وخاصةً مع تزايدِ خُطورة انبعاثات غازات الدفيئة(١).

يَتمُّ إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدامِ الكهرباء المُنتجة مِن مَصادرِ الطاقة المُتجدّدة؛ بواسطةِ التحليل الكهربائي، مِن خِلال فَصل الهيدروجين $H_2$ مِن المَاءِ $H_2O$، وهو يَسمحُ بتخزينِ ونَقل كِميَّات كبيرة مِن الطاقةِ النظيفةِ والمُتجدّدة.

يَحتوي الهيدروجين على نحوِ ثلاثة أضعاف الطاقة التي يَحتويها الوقود الأحفوري، مِمَّا يَجعله أكثر كفاءةً، ويُمْكِنُ كذلك اعتباره مُضاعف للكهرباءِ، فمع بَعض المَاء وقليل مِن الكهرباء، يُمْكِنُ توليدُ المَزيد مِن الكهرباءِ أو الحَرارة(٢).

---

**(١) غازات الدفيئة Greenhouse Gases: يُشارُ إليها أحيانًا بالاختصار (GHG). وهي غازات تُساهم في ظاهرة الاحتباس الحراري Greenhouse Effect, or Global Warming مِن خِلال حَبْس الحَرارة داخل الغلاف الجوي. ومن أهمّ هذه الغازات وأكثرها شيوعًا وانتشارًا وتركّزًا: (ثاني أكسيد الكربون $CO_2$، والميثان $CH_4$، وأكسيد النيتروز $N_2O$). وتزداد تركيزاتها في الغُلاف الجوّي بسببِ الأنشطة البشريَّة، مِمَّا يُؤدّي إلى ارتفاع مُتوسط درجة حرارة الأرض. وقد بلغَ مستويات تركيزها في الغلاف الجوي إلى مُستويات قياسيَّة جديدة في عام ٢٠٢١، وفقًا لتقرير جديد صادر عن المُنظمة العالميَّة للأرصاد الجوية (WMO) . تمّ الاسترجاع في: ١٧ أكتوبر٢٠٢٣-https://wmo.int/ar/media/arbt-mwshrat-ryysyt-ltghyr-almnakh-thtm-alarqam-alqyasyt-fy-am-2021**

**(٢) إنتربرايز *"The State of Nation" Enterprise*، تمّ الاسترجاع في: ٢١ أكتوبر٢٠٢٣ https://enterprise.press/ar/greeneconomys**

تُعدُّ المَملكة المَغربيَّة مِن بين الدول الأفريقيَّة التي تفتقرُ لمَصادرِ الطاقة التقليديَّة، التي تُساعدُ على توليدِ الكهرباء، مِمّا جَعلها تَهتمُّ ببناءِ وتطوير قِطاع الطاقة المُتجدّدة، مِن خِلال زيادة الاستثمار في ذلك القطاع بنسبةٍ بَلغت **٣٢ %**، كَمَا وَرَدَ في تقارير المركز الإقليمي للطاقةِ المُتجددة وكفاءة الطاقة[١]؛ حيثُ تمتلكُ المَغرب إمكانات كبيرة للاستفادةِ مِن الطاقة الشمسيَّة بحُكمِ موقعها الجُغرافي المِثالي، في شمال غرب أفريقيا، المُطل على المُحيط الأطلنطي والبَحر المتوسط، وبمساحتِها البالغة نحو **٧١١ كم**$^{٢}$، مِمَّا سَاعدها في إقامةِ العَديد مِن مشروعات إنتاج الكهرباء.

قَرَّرَ **بنك التنمية الألماني**[٢] **(KfW)** **K**reditanstalt **f**ür **W**iederaufbau تمويل بناء مَصنع لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر، بمبلغِ ٣٠٠ مليون يورو، في المَغرب؛ لِتصبحَ «**الرباط**» (بسببِ قُربها الجُغرافي) مَركزًا إقليميًّا لإنتاج الهيدروجين الأخضر في أفريقيا بحلولِ عام ٢٠٢٥م، وأهم مورد للاتحادِ الأوروبي، الذي يَسعى بدوره إلى تعويض وارداته مِن الغَاز الروسي، مُنذ بداية الحرب في أوكرانيا. كما تَسعى ألمانيا إلى استيرادِ كمِيَّاتٍ كبيرةٍ مِن الهيدروجين الأخضر مِن المَملكةِ المَغربيَّة؛ لتأمين احتياجاتها واحتياجات جيرانها الأوروبيين مِن الطاقةِ، خِلال تَعزيز قُدرات إنتاج المَغرب، والتفاوض لتصدير الفائض عَبْر خَط يَربط شمال المَغرب بجنوبِ إسبانيا، عَبْر مضيق جبل طارق[٣].

---

**(١) صُنّفت المَملكة المَغربيَّة، مُنذ ٢٠١٩م، في المرتبةِ الثانية عالميًّا، بَعد الولايات المُتحدة الأمريكيَّة، مِن حيثُ جاذبيتها للاستثمارات في مَجالِ الطاقة المُتجددة، ويرجع ذلك لوضع المَغرب لبرامج تنمويَّة للاستفادةِ مِن مواردها الطبيعيَّة (Bouchaala. A & et al., 2024, P.121).**

**(٢) بنك التنمية الألماني (KfW) «مؤسسة الائتمان لإعادة الإعمار» هو مُؤسسة مالية تهدفُ إلى تحسين الظروف المعيشية في البلدان النامية والناشئة، عُرف سابقًا باسم KfW Bankengruppe، هو بنك إنمائي مَملوك للحكومةِ الألمانيَّة، ومقره في فرانكفورت. تأسّس في عام ١٩٤٨م، بَعد الحرب العالمية الثانية. وهو معروف بتمويل المشاريع المستدامة، مثل تحسين البنية التحتية ومُحاربة الفقر، وتقديم التعليم، والرعاية الصحيَّة.**

**(٣) "*i24 News*" تمّ الاسترجاع في: ٢٧ أكتوبر ٢٠٢٣ https://www.i24news.tv/ar**

سَعَت المَملكة المَغربيَّة إلى تقليصِ حَجم الوقود الأحفوري، المُستورد مِن الدول العربيَّة؛ لتلبيةِ الطلب المَحلي، وذلك بنسبة ٦٨ **%** مِن القُدرة المُركبة، لِما له مِن تأثيرٍ على البيئةِ، مِن خِلال انبعاثاته للغَازاتِ الدفيئة، مِمَّا يُساعدُ في الاستفادةِ مِن إمكانات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة.

**مُشكلة الدراسة:**

تتمثلُ مُشكلة الدراسة **في التساؤلات والفَرضيَّات الأتية:**

**بالنسبةِ لتساؤلات الدراسة، هي:**

١- هل تمتلكُ المَملكة المَغربيَّة مَعايير إنتاج الهيدروجين الأخضر؟

٢- هل تلعبُ المَعايير البيئيَّة، سواءٌ أكانت طبيعيَّة أو بَشريَّة، دورًا مُهمًّا في زيادةِ وتطوير إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة ؟

٣- هل هناك مناطق لم تُحَدّد بَعد لتوليد الكهرباء مِن الطاقة المُتجدّدة بالمَغرب ؟

٤- ما مَعايير تفضيل أنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة ؟

**أمَّا عن فَرضيَّات الدراسة، فتتمثَّلُ في:**

١- تَلْعبُ مَعايير البيئة الطبيعيَّة، وخاصةً المُناخ والتضاريس دورًا مُهمًّا في توفير الظروف البيئيَّة المُناسبة لإنتاجِ الكهرباء مِن الطاقةِ المُتجدّدة بالمَملكةِ المَغربيَّة.

٢- تُساهم مَعايير البيئة البَشريَّة، بدورٍ كبيرٍ، في توفير مقومات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة.

٣- تَمتلكُ المَملكة المَغربيَّة، بحُكْمِ موقعها الاستراتيجي، دَوْرًا مِحوريًّا في جَذبِ الاستثمارات؛ مِمَّا يَجعلها مَركزًا إقليميًّا للطاقةِ، يَربطُ بين شمال أفريقيا وجنوب أوروبا.

**أهميَّة الدراسة:**

**تَأتي** أهميَّة هذه الدراسة في كَونِها مِن **الدراسات الجُغرافيَّة القَليلة** (في حدود عِلْم ودِراسة البَاحثين) التي تناولت المَعايير البيئيَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر، بصورةٍ عامةٍ، وفي المَملكةِ المَغربيَّة، بصورةٍ خاصةٍ، مِن أجلِ بناء نموذج معلومات جُغرافي مُقترح لتحديدِ أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة.

تَمتلكُ المَغرب العَديد مِن إمكانات إنتاج الكهرباء مِن مَصادر الطاقة المُتجدّدة؛ حيثُ تتميَّزُ بزيادةِ سُرعة الرياح السطحيَّة، وكذلك زيادة عَدد ساعات سطوع الشمس الفِعلي Actual Sunshine مِمَّا يُساعدُ، بصورةٍ كبيرةٍ، في وضع الخلايا الشمسيَّة، وبناء مَزارع الرياح، وبالتالي إنتاج الطاقة الكهربائيَّة المُتجدّدة، وإقامة بيئة مُلائمة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر، بالإضافةِ إلى تَعدُّدِ الأقاليم المُناخيَّة التفصيليَّة Micro Climate بالمَغرب، ووجود مساحات شاسعة بالوسطِ والجنوب، تُساعد على الاستفادةِ مِنها في إنتاجِ الطاقة مِن المَصادر المُتجدّدة.

ثَمَّة **أهميَّة بيئيَّة**؛ حيثُ التوجّه نحو إنتاج الهيدروجين الأخضر، كَوْنه مَصدرًا مِن مَصادر الطاقة النظيفة، وذلك للحَدِّ مِن انبعاثات غازات الاحتباس الحَراري، الناتجة عن استهلاك مصادر الطاقة الأحفوريَّة، مِمَّا يُؤدِّي إلى تلوّث البيئة، ومَا يَشهده العَالم مِن تغيُّراتٍ مُناخيَّةٍ، ومِن ثَمَّ فقد أصبحَ مِن الأهميَّةِ التوجّه نحو إنتاج الطاقة البديلة النظيفة.

كَما توجدُ **أهميَّة اقتصاديَّة**؛ حيثُ امتلاك المغرب الإمكانات التي تُؤهلها للاستثمارِ في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر، مِمَّا يُساعدُ في إنشاءِ مشاريع أكثر استدامة. وكذلك **أهميَّة اجتماعيَّة**، تتمثلُ في الحَدِّ مِن الارتفاعِ المُستمرِ في أسعارِ مُشتقَّات الطاقة. كما يُساعدُ إنتاج الهيدروجين الأخضر على توفر العَديد مِن فُرصِ العَمل.

## أهداف الدراسة:

تتمثلُ أهداف الدراسة **في النقاط التالية:**

١- إظهار المَعايير البيئيَّة التي تُساعدُ على إنتاجِ الهيدروجين الأخضر في المَملكةِ المَغربيَّة، اعتمادًا على الكهرباءِ المُولَّدة مِن الطاقة المُتجدّدة.

٢- تحليلُ الوضع الحالي لتخطيط وتطوير مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَغرب.

٣- الاستفادة مِن تقنيات الاستشعار عن بُعد، وتطبيقات نُظم المعلومات الجُغرافيَّة، ونُظم دَعم القَرار المُرتبطة بالبيانات المَكانيَّة Spatial Decision Support Systems، وذلك استنادًا على بناءِ قواعد بيانات جُغرافيَّة، مِن نوع File Geodatabase، للإمدادِ بالمعلومات الدقيقة في دِراسةِ مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَغرب.

٤- بناء نموذج مُقترح لتحديدِ أنْسَب المَواقع لإنشاء مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَغرب، باستخدامِ تقنيات الاستشعار عن بُعد في بيئةِ نُظم المعلومات الجُغرافيَّة.

## مَناهج وأساليب الدراسة:

بُنِيَت الدراسة على عَدَدٍ مِن المَناهج العِلْميَّة والأساليب البَحثيَّة، بناءً على أهدافِ الدراسة، ومِن هذه المَناهج: **المَنهج المَوضوعي:** يَهتمُّ بدراسةِ المَعايير البيئيَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر، كسلعةٍ لها أهميتها الاستراتيجيَّة، وكذلك دراسة معوقات الإنتاج. **والمَنهج البيئي:** يَعتمدُ على دراسة العَلاقات التبادليَّة والتفاعليَّة بين الإنسان والمَعايير البيئيَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر، كما يُساعدُ على فَهْم كيفيَّة تأثير الإنسان على البيئةِ وتأثير البيئة على الإنسانِ؛ وذلك باعتبارِ الكهرباء المُنتجة مِن الطاقة المُتجدّدة تُمثلُ نظامًا أساسيًّا وفاعّلًا في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة. **والمَنهج الإقليمي:** مُمثلًا في دراسةِ أَنْسَب المَواقع لإمكانات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة. **والمَنهج التاريخي:** يَتمثلُ في

دِراسةِ تطوّر إنتاج الطاقة المُتجدّدة بالمَغرب، حتى عام **٢٠٢٢م**. بالإضافةِ إلى **المَنهج الوصفي التحليلي:** الذي يَسمحُ بوصفِ وتحليل المَعايير البيئيَّة (الطبيعيَّة، والبَشريَّة) كالعَناصرِ المَناخيَّة، ومَظاهر السطح، والسكان، وشَبكات نَقل كهرباء؛ حيثُ التحليل المكاني لتلك المَعايير البيئيَّة، الخاصة بإنتاجِ الهيدروجين الأخضر؛ مِن أجلِ وَضع يَد مُتخذي القَرار على إمكانات إنتاج ذلك المَصدر الوليد مِن الطاقةِ النظيفة المُستدامة.

**أمَّا عن الأساليب والتقنيَّات،** فقد اعتمدت الدراسة على **الأسلوب الكمّي:** في تبويبِ وجَدولة البيانات، مِن أجلِ إبراز الإمكانات البيئيَّة، مع تحليل أثر مَعايير البيئة الطبيعيَّة والبَشريَّة الحَاكمة في إنتاجِ طاقة الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة. **والأسلوب الكارتوجرافي:** في إعدادِ الخرائط والمَرئيَّات الفضائيَّة والأشكال البيانيَّة، التي تَطَلَّبتها الدراسة، وذلك باستخدامِ تطبيقات الاستشعار عن بُعد، **مِثل:** (ENVI V.5.6)، وتطبيقات نُظم المعلومات الجُغرافيَّة، **مِثل:** (ArcGIS Pro V.3.3).

**<u>الدراسات السابقة</u>:**

- **دراسة (Mensour & et al., 2019): ورقة بَحثيَّة** استخدمت تطبيقات نُظم المعلومات الجُغرافيَّة، اعتمادًا على أسلوب مُتعَدِّد المعايير Multi-Criteria Method وطريقة تحليل التسلسل الهرمي؛ لتقييم المَواقع المُناسبة لإنشاءِ مزارع الطاقة الشمسيَّة "الفوتوفولتيَّة"، في منطقة سوس ماسة في جنوب المغرب. وأظْهَرَت النتائج أن حوالي (٢٤ %) مِن مِساحة منطقة الدراسة مُناسبة لإنشاءِ مزارع الطاقة الشمسيَّة. كما تمَّ تحليل الجَدوى الاقتصاديَّة لنظام الطاقة الشمسيَّة المُتصل بالشبكةِ بقُدرة ١٠ ميجاوات باستخدام برنامج HOMER، مِمَّا أَظْهَرَ أن توليد الطاقة بواسطة الخلايا الشمسيَّة تُعَدُّ خِيارًا اقتصاديًّا مَقبولًا على المَدى الطويل.

- **دراسة (Abdel-Basset & et al., 2021): ورقة بَحثيَّة** اهتمَّت بتقييم واختيار أكثر الطُّرق استدامةً لإنتاجِ الهيدروجين، مِثل: تقنيات تحويل الفحم إلى غازٍ، وإنتاج الميثان بالبُخار، وتحويل الكُتلة الحيويَّة إلى غازٍ، والتخليق الحيوي، والتحليل الكهربائي بواسطة استخدام طاقة الرياح، وذلك باستخدامِ نموذج MCDM، الذي أعطى نتائج مُرضيَّة لإنتاج الهيدروجين في تركيا.
- **دراسة (Anas & et al., 2021): ورقة بَحثيَّة** سَعَت إلى تطوير مَنهجيَّة جديدة لتصنيف مَناطق الإشعاع الشمسي بالمَغرب، باستخدامِ تقنيات Machine learning؛ حيثُ تجمَّعُ الدراسة بين التعلُّم المُراقب وغير المُراقب، مع بيانات الأقمار الاصطناعيَّة. قام الباحثون بتقسيم المَغرب إلى أربع مناطق رئيسة للإشعاع الشمسي، وتم تقسيم هذه المناطق إلى ثمانيةِ مناطق فرعيَّة، ذات خصائص مُناخيَّة فريدة؛ حيثُ يُمكنُ أن تكونَ هذه التصنيفات أداةً جيدةً لِدعمِ اتخاذ القرارات في مَجالِ مشاريع الطاقة الشمسيَّة، وبخاصةٍ في المناطقِ التي تفتقرُ إلى سِجِّلاتٍ سابقةٍ عن الإشعاعِ الشمسي.
- **دراسة (Taoufik & et al., 2021): ورقة بَحثيَّة** تناولت تحليل مُلاءمة الأراضي Suitability Analysis في استغلال مَحطات الطاقة الشمسيَّة بالمَغرب، باستخدامِ تطبيقات نُظم المعلومات الجُغرافيَّة، اعتمادًا على طريقة التحليل الهرمي AHP؛ لتحديد المَواقع الأنْسَب لإنشاءِ محطات الطاقة الشمسيَّة. تمَّ تقييم عِدَّة مَعايير رئيسة تُؤثِّرُ في اختيار المواقع الأنْسَب، مِثل: الإشعاع الشمسي، درجة الحرارة، انحدار سطح الأرض، استخدام الأرض، البُعد عن الشبكة الكهربائيَّة، جَوْدَة البنية التحتيَّة. وقد أَظْهَرت نتائج الدراسة عن وجودِ إمكانات هائلة لتطوير الطاقة الشمسيَّة في المغرب؛ حيثُ تُشير البيانات إلى أن (٩٠ %) مِن الأراضي المغربيَّة صالحة لمشاريع الطاقة الشمسيَّة، مع تصنيف الأراضي إلى سِت فئاتٍ مُختلفةٍ، حَسب مُلاءمتها.

- **دراسة (Yakoubi & et al., 2021): ورقة بَحثيَّة** رَبَطَت بين عَلاقة مُؤشِّر الصفاء Clearness Index وتغطية السُّحُب، وذلك لتطوير نماذج التنبُّؤ بالإشعاعِ الشمسي العَالمي اليومي في (١٤)مَدينة بالمغرب. تم إنشاء وتقييم (١٧)نموذجًا جديدًا، ومقارنتها مع (٧)نماذج مُستقاة مِن دِراساتٍ سابقةٍ، وقد أَظْهَرَت النتائج قُدرة عالية للتنبؤ بالإشعاعِ الشمسي باستخدام المُؤشِّرات المُقترحة، مِمَّا يُعزِّز إمكانيَّة استخدامها في تقييم مشروعات الطاقة الشمسيَّة في المَغرب، وكذلك في المناطق ذات الظروف المُناخيَّة المُماثلة.
- **دراسة (Seker & Aydin, 2022): ورقة بَحثيَّة** قَيَّمَت طُرق إنتاج الهيدروجين، باستخدامِ نموذج MCDM المُتكامل، وذلك مِن خِلال التقنيات المُختلفة لتحلل كبريتيد الهيدروجين الموجود في البحر الأسود لتوليد الهيدروجين بشكلٍ مُستدام.
- **دراسة (Mahdavi & Vera, 2023): ورقة بَحثيَّة** رَكَّزت على أهميَّةِ مَصادر الطاقة المُتجدّدة والكُتلة الحيويَّة الزراعيَّة في تلبيةِ الطلب على الطاقةِ الأساسيَّة في المَغرب. وجاء في الدراسةِ أن المَغرب تعتمدُ، بشكلٍ كبيرٍ، على استيرادِ الطاقة؛ حيثُ يُشكِّلُ الوقود الأحفوري حوالي (٩٠ %) من احتياجاتها. ومع ذلك، شَهدت مُساهمة الطاقة المُتجدّدة زيادة ملحوظة؛ وبخاصةٍ الطاقة الشمسيَّة، وطاقة الرياح، فقد بلغت نحو (٩ %) في عام ٢٠١٨م، مع توقعات بزيادةِ هذه النسبة إلى (٥٢ %) بحلول عام ٢٠٣٠م. بالإضافةِ إلى ذلك، تُعَدُّ الطاقة الكهرومائيَّة المَصدر الأكثر أساسيَّة في هذا التحوّل، مِمَّا يُساعد المَغرب في تخفيفِ الاعتماد على استيراد الوقود الأحفوري، وتلبية احتياجات الطاقة المُتزايدة. إذ تسعى المَغرب إلى تعزيزِ استخدام الطاقة النظيفة المُستدامة؛ لتقليل انبعاثات غازات الدفيئة، مِن جهةٍ، ومواجهةِ التحديات الناتجة عن ارتفاع تكاليف استيراد الطاقة، مِن جهةٍ ثانيةٍ، وتغيُّر المُناخ، مِن جهةٍ ثالثةٍ؛ مِمَّا يَجعلها رائدة في استثمارات مَصادر الطاقة النظيفة في شمال أفريقيا.

- **دراسة (Taoufik & Fekri, 2023): ورقة بَحثيَّة** أَبْرَزَت إمكانيَّة استخدام تطبيقات نُظم المعلومات الجُغرافية، اعتمادًا على طريقة التحليل الهرميAHP، في تحديد أنْسَب المَواقع لإنتاجِ الهيدروجين بالطاقةِ الشمسيَّة في منطقةِ سوس ماسة بالمغرب. تمَّ تقييم عَشرة معايير مُختلفة، مُقسَّمَة إلى فِئاتٍ تقنيَّةٍ واقتصاديَّةٍ؛ لتقييم مناطق إنتاج الطاقة الهيدروجينيَّة. وقد أوضَحَت النتائج أن القُربَ مِن مَصادر المِياه، والبنية التحتيَّة مِن العوامل المُهِمَّة، التي يَجبُ أخذها بعينِ الاعتبار في التحليلات السابق، وأن الموقع المُختار يُوفِّرُ تكاليفًا مُنخفضةً لِكُلِّ مِن إنتاج الهيدروجين، وتكلفة الكهرباء؛ مِمَّا يُعزِّز الجَدوى الاقتصاديَّة، والبيئية لإنتاج الهيدروجين المُستدام.
- **دراسة (الكعبية، ٢٠٢٣): رسالة ماجستير** هَدَفَت إلى تحديد وتقييم أفضل المَواقع لمشاريع إنتاج الهيدروجين الأخضر في سَلْطنة عُمان، اعتمادًا على طاقتي الشمس والرياح. واستندَت الدراسة على مجموعة معايير (طبيعيَّة، وبَشريَّة)؛ لتحديد أفضل المَواقع. وقد توصَّلت الدراسة إلى عِدَّة نتائج، أبرزها أن أفضل مُلاءمةً لإقامةِ مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر، تركَّزت في المناطق الساحليَّة، الجنوبيَّة الشرقيَّة، والوسطى مِن سَلْطنة عُمان، وحوالي نِصف مِساحة السلطنة ذات مُلاءمة متوسطة.
- **دراسة (Adeli & et al., 2024): ورقة بَحثيَّة** تَميَّزَت بدَمج مصادر الطاقة المُتجدّدة، وبخاصةٍ الطاقة الشمسيَّة، وطاقة الرياح، مع نماذج الذكاء الاصطناعي؛ لتعزيز إنتاج الهيدروجين المُستدام مِن المناطق الساحليَّة بالمغرب، باستخدام تقنيات الـ Deep Learning، مع إلقاءِ الضوء على المواقع الاستراتيجيَّة، مِثل: العيون، الداخلة، بوجدور، وتارفيت، حيثُ تُقَدَّرُ كميَّة الإنتاج السنويَّة للهيدروجين في تلك المواقع بـ ١٤٧,٤٥طن، و١٧٦,٧١طن، و١٤٢,٢١طن، و١١٥,٦٩طن، بالترتيب؛ مِمَّا يُشجع على تحسين استغلال الموارد الطبيعيَّة لتحقيق مُستقبل أكثر استدامة الطاقة.

- **دراسة (Hajou & et al., 2024): ورقة بَحثيَّة** ناقشت أساليب جديدة لتحليل سُرعة الرياح، على ارتفاع ٥٠ مترًا، وتقدير التكامل بين الطاقة الشمسيَّة وطاقة الرياح؛ مِن أجلِ تحسين الدقة في قياسات سُرعة الرياح، واستخدام أساليب مُبتكرة لتحليلِ مَدى التكامل بين هذين المَصدرين للطاقةِ المُتجدّدة، في جميع مناطق المَغرب، اعتمادًا على البيانات المُستمدَّة مِن الأقمار الاصطناعيَّة؛ مِمَّا يُعزِّز مِن قُدرة المغرب على تلبية احتياجاتها مِن الطاقة، وتنويع مصادر الطاقة المُتاحة.

***يُلاحظُ من الدراسات السابقة، إن مُعظمها غَيْر جُغرافيَّة، وقد تناولت الطُّرق التقنيَّة المُختلفة لإنتاجِ الهيدروجين، بينما هذه الدراسة سوف تَهتمُّ بإنتاجِ الهيدروجين الأخضر، كمصدرٍ للطاقةِ النظيفةِ المُستدامة، من مَنظورٍ جُغرافيّ، من خِلال تحديد المَعايير البيئيَّة (الطبيعيَّة والبشريَّة)، وبناء نموذج مُقترح لتحديد أنْسَب المَواقع لإنشاء مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة، باستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد في بيئة نُظم المعلومات الجُغرافيَّة.***

**في** هذه الورقة البَحثيَّة المعنونة **بـ: المَعايير البيئيَّة لتحديدِ أَنْسَب المَواقع لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر في المَملكةِ المَغربيَّة باستخدامِ تقنيات الاستشعار عن بُعد في بيئةِ نُظم المعلومات الجُغرافيَّة**، سيتم دِراسة **النقاط الأتية**:

- **أولاً**: مَاهيَّة الهيدروجين (التعريف – الأنواع – طُرق الاستخلاص – الخصائص).
- **ثانيًا**: الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة.
- **ثالثًا**: مَعايير البيئة الطبيعيَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة.
- **رابعًا**: مَعايير البيئة البَشريَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة.
- **خامسًا**: بناء نموذج معلومات جُغرافي مُقترح لتحديد أنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة.

## أولاً: مَاهيَّة الهيدروجين (التعريف – الأنواع – طُرق الاستخلاص – الخصائص):

### ١) تعريف الهيدروجين الأخضر:

**الهيدروجين الأخضر Green Hydrogen**: يُعرفُ بـ"**وقود المُستقبل**"، هو وقود خَفيف، عالي التفاعل، يُنتجُ مِن خِلال عمليَّة كيميائيَّة، تُعرف باسم **التحليل الكهربائي Electrolysis**، تَستخدمُ هذه الطريقة تيارًا كهربائيًا ناتج عن الطاقة المُتجددة لِفَصلِ جُزيئات الماء $H_2O$، واستخلاص الهيدروجين $H_2$ **(Adeli & et al., 2024, P.678)**.

**الأمونيا الخضراء Green Ammonia**: تُنتجُ عَن طريق تفاعل الهيدروجين والنيتروجين معًا، عند درجاتِ حرارة مُرتفعة، وضغطٍ عالٍ. ويَنتجُ عن عمليَّة تصنيع الأمونيا الخضراء الماء والنيتروجين، كمُنتجاتٍ ثانويَّةٍ فقط؛ وتُعرف هذه العمليَّة بعمليَّةِ **هابر–بوش Haber-Bosch**. وهي تُعَدُّ الطريقة الرئيسة في إنتاجِ الأمونيا الخضراء، إذ تعتمدُ في المَقامِ الأول على الهيدروجين الأخضر **(Adeli & et al., 2023, P.112)**.

**الحياد الكربوني Carbon Neutrality**: هو الوصول لحالةِ التوازن بين كِميَّة الكربون المُنبعث مع كِميَّة امتصاص أو احتجاز الكربون، حتى لا تحدث زيادة للانبعاثات الضارة بالبيئة، وعندما تكونُ كِميَّة امتصاص أو احتجاز أكبر مِن كِميَّة الانبعاثات فإنّ هذا يُؤدّي إلى خَفضِ كِميَّة الكربون في البيئةِ. ويُطلقُ على عمليَّة امتصاص الكربون مِن الغلاف الجوّي، ومِن ثمَّ تخزينه عمليَّة **عَزل الكربون Carbon Sequestration (El Hafdaoui & et al., 2024, P.254)**.

٢) **أنواع الهيدروجين:** تتعَدَّدُ أنواع الهيدروجين، ولِكُلٍّ مِنها تَسميته اللونيَّة، باختلافِ مَصدر الكهرباء. **الهيدروجين لا لون له، ولكن تُستخدم الألوان للدّلالة على طريقة استخلاصه أو استخراجه، كما يلي:**

**(أ) الهيدروجين الأبيض:** هو النوع الطبيعي للهيدروجين، ويُوجَدُ بشكلٍ حُرٍّ في طبقاتِ الأرض؛ ولذا يُطْلَقُ عليه كذلك «**الهيدروجين الجيولوجي**» ويَتطلَّبُ الحَفْر، ويَعتمدُ في استخراجِه على الطاقةِ الكهربائيَّةِ **(Adeli & et al., 2024, P.679)**. وتتمُّ طريقة استخلاصه مِن خِلال التكسير الهيدروليكي، تحت الأرض، ويَتمثل الأثر البيئي في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون $CO_2$، ولكن بصورةٍ قليلةٍ.

**(ب) الهيدروجين الرمادي:** يَعتمدُ في إنتاجِه على الكهرباءِ المُولَّدة بصورةٍ حراريةٍ مِن الغَاز الطبيعي. ويَتمُّ استخلاصه مِن خِلال فَصل الهيدروجين عن الميثان، وتكونُ عمليَّة الإنتاج الرئيسة هي إعادة تشكيل الميثان بالبخار (SMR)، التي تستهلكُ أوكسجين مِن بُخار الماء، في حُجرةٍ حَراريَّةٍ لِفصل غاز الميثان $CH_4$ وإنتاج غاز الهيدروجين **(Abdel-Basset, 2021, P.4569)**. يَكونُ إنتاج ذلك النوع مِن الهيدروجين أقل تكْلفة. أمَّا عَن الأثر البيئي لهذه العمليَّة فتتسبَّب بقَدرٍ هائلٍ مِن التلوثِ؛ لأنها تنتجُ ما يُعادل نحو **١٠ كيلو جرام** مِن غاز ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ لكُلِّ **١ كيلو جرام** مِن **غاز الهيدروجين** H2 يَتمُّ إنتاجه **(ماتيس، وآخرون، ترجمة: خليفات، ٢٠٢٠، ص٦)**.

**(ج) الهيدروجين البُني أو الأسود:** يَتمُّ إنتاجه اعتمادًا على الكهرباءِ المُولَّدة بصورةٍ حراريةٍ مِن الفحم، كعنصرٍ أساسيّ. ولِهذا النوع أثرٌ ضَارٌ جدًّا على البيئةِ؛ حيثُ يَنبعثُ نحو **٢٠ كيلو جرام** مِن غاز ثاني أكسيد الكربون $CO_2$ لكُلِّ **١ كيلو جرام** مِن **غاز الهيدروجين** $H_2$ يَتمُّ إنتاجه. ويَكونُ إنتاج الهيدروجين البُني أو الأسود أقل تكْلفةً مِن إنتاج الهيدروجين الرمادي **(Acar, 2018, P.18062)**.

**(د) الهيدروجين الأزرق:** يَتمُّ إنتاجه اعتمادًا على الكهرباءِ المُنتجة مِن الغاز الطبيعي أو الفحم. ويَتمُّ استخلاصه مِن بُخارِ المَاء الساخن المُختلط مَع الغاز الطبيعي، في عمليَّةٍ يُطْلَقُ عليها إعادة تشكيل الميثان بالتبخير، وهي طريقة مُتطوَّرة مِن إنتاجِ الهيدروجين الرمادي؛ حيثُ يَحتاجُ الهيدروجين الأزرق لنفسِ عمليَّة إنتاج الهيدروجين الرمادي، لكن الكربون الناتج يَتمُّ جَمْعَه باستخدامِ عمليَّة التقاط الكربون، واستخدامه، وتخزينه CCUS؛ للتقليلِ مِن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبةِ ٧٠ **%**. يُشيرُ الاتحاد الأوروبي إلى أنَّ هذا النوع مِن الهيدروجين ناتجٌ عَن الوقود الأحفوري مَع جَمْع الكربون، ولذا قد يَكونُ إنتاج الهيدروجين الأزرق مُضرًّا بالبيئةِ، وبالتالي المُناخ، بقَدرِ الضَّرر الناتج عن حَرقِ الوقود الأحفوري **(Nikolaidis & Poullikkas, 2017, Pp.601-603)**.

**(هـ) الهيدروجين التركوازي:** يَعتمدُ في إنتاجِه على الكهرباءِ الحَراريَّة، المُنتجة مِن الغاز الطبيعي أو الكُتلة الحيويَّة، خِلال عمليَّة مَاصَّة للحرارةِ، عن طريق التحلُّل الحَراري لتلك المصادر. ويُعَدُّ إنتاج الهيدروجين التركوازي مُنخفض الانبعاثات حَال استخدام الغاز الطبيعي، في حين يَكونُ إنتاجه ضارًّا بالبيئةِ حَال استخدام الكُتلة الحيويَّة؛ حيثُ يَتمُّ الحصول على الكربون الصلب كمُنتجٍ ثانويّ **(Adeli & et al., 2024, P.679)**.

**(و) الهيدروجين الوردي:** يُنتجُ بواسطة الكهرباء المُولَّدة مِن الطاقةِ النوويَّة، التي يَنتجُ عنها مُخلَّفات ونفايات شديدة الخطورة، والتي يَجبُ دَفنها في أماكن آمنة لألافِ السنين. يَتمُّ استخلاصه عن طريق التحليل الكهربائي للمَاءِ، ويَخرجُ معه انبعاثات قليلة مِن غاز ثاني أكسيد الكربون **(Nikolaidis & Poullikkas, 2017, P.601)**.

**(ز) الهيدروجين الأصفر:** يَتمُّ إنتاجه اعتمادًا على الكهرباءِ المُولَّدة مِن محطات الطاقة الشمسيَّة فقط، خِلال التحليل الكهربائي للمِاءِ، وذلك النوع يُعَدُّ مِن أنواع الهيدروجين الصديقة للبيئةِ، مِثل الهيدروجين الأخضر **(Rashid & et al., 2022, P.89)**.

**(ح) الهيدروجين الأخضر**: يُنتجُ الهيدروجين الأخضر مِن خِلال **التحليل الكهربائي للمَاءِ Electrolysis** (ويَنطلقُ الأكسجين في الهواءِ كمُنتجٍ ثانوي) مُعتمدًا على الطاقةِ المُتجددة، خاصةً طاقة الرياح والشمس؛ لذلك فهو طاقةٌ نظيفةٌ ومُستدامةٌ، غير قابلة للنفادِ. وهذا النوع مِن الهيدروجين صديقٌ للبيئةِ، ولكنه عالٍ في تكلفةِ الإنتاج[١]، ولذلك فهو يُشكِّلُ نحو ١ **%** مِن جُملة إنتاج الهيدروجين **(Rashid & et al., 2022, P.89)**.

### ٣) طُرق استخلاص وإنتاج الهيدروجين كمصدرٍ للطاقة:

تَتَجِه المَملكة المَغربيَّة للتحوُّلِ نحو اقتصاد الهيدروجين الأخضر، في الوقتِ الذي يُواجه فيه العَالَم أزمةً، غَيْر مَسبوقةٍ، في مَجالِ صناعة واستخراج الغَاز والنفط، لكن الجانب الإيجابي لذلك هو أن الهيدروجين الأخضر سوف يُعوِّضُ العَجزَ في ذلك القطاع.

يُمْكِنُ استخلاص الهيدروجين خِلال عمليَّات كيميائيَّة مِن الوقود الأحفوري والكُتلة الحيويَّة، أو المِيَاه، أو مَزيج مِن الاثنين مَعًا.

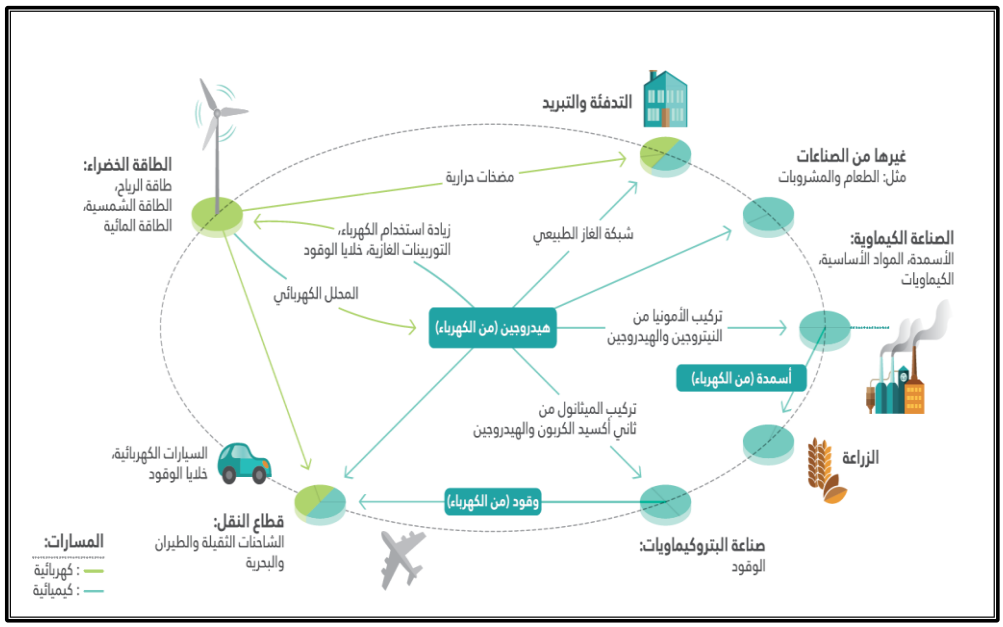
وفقًا لتقرير **وكالة الطاقة الدوليَّة (IEA, 2022)**، يُعَدُّ **الغَاز الطبيعي** هو المَصدر الأساسي لإنتاجِ الهيدروجين؛ حيثُ يَنتجُ ٦ **%** مِن الغَاز الطبيعي العَالمي نحو ٧٠ **مليون طن مِن إنتاج الهيدروجين السنوي (٧٥ %)**. ويَأتي **الفحم** في المَرتبةِ الثانية؛ نظرًا لاستخدامِه بكَثرةٍ في الصين. كَمَا يُنتجُ جُزءٌ صغيرٌ مِن الهيدروجين اعتمادًا على استخدام النفط، والكهرباء الحَراريَّة (الكهرباء المُنتجَة مِن مَصادر الوقود الأحفوري)[٢].

---

**(١) تختلفُ تكلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر؛ حَسب عِدَّة عوامل، مِثل: حَجم المَشروع، والبنية التحتيَّة، والتكنولوجيا المُستخدمة، وتكلفة الكهرباء المُتجددة (الطاقة الشمسيَّة أو طاقة الرياح)؛ حيثُ إن الكهرباء تُمثِّلُ نحو ٦٠-٧٠ % مِن تكلفة الإنتاج. وعمومًا يُمكِنُ تقدير تكلفة الإنتاج بنحو ٢ إلى ٦ دولار لكُلّ ١كجم مِن الهيدروجين الأخضر. مِن المُتوقع أن تنخفضَ التكلفة إلى ١-٢ دولار/كجم، بحلول ٢٠٣٠م؛ بسببِ التطور التكنولوجي، وانخفاض أسعار الطاقة المُتجدّدة، وتحسين كفاءة التحليل الكهربائي Electrolysis.**

**(٢) وكالة الطاقة الدوليَّة *"IEA"* تمّ الاسترجاع في: ٣٠ أكتوبر٢٠٢٣ https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels**

الهيدروجين ليس مَصدرًا للطَّاقةِ فَحسب، بَل بإمكانِه إيصال وتخزين كمِيَّات كبيرة مِن الطاقةِ، لِفتراتٍ طَويلةٍ مِن الزمنِ، وبتكلفةٍ أقلّ مِن تَخزينِ الكهرباء، كما أنه أوّل وأَخف عُنصر كيميائي في الجَدول الدوري. وبصفتِه المَادة الكيميائيَّة الأكثر وفرةً في الطبيعة، يُطْلَقُ على الهيدروجين، كَحَاملٍ للطاقةِ **«الحَلَقَة المَفقودة لإزالة الكربون وانتقال الطاقة»**؛ ويَرجعُ ذلك إلى دوره الرئيس في الربطِ بين القطاعات المُختلفة **(شكل ١)**؛ حيثُ يُمكنُ للهيدروجين، كناقلٍ للطاقةِ، أن يَربطَ بين القطاعات المُستهلكة للطاقةِ كما في المباني (التدفئة والتبريد)، والنقل والصناعة مع قطاعِ صناعة الطاقة وتطويرها **(ماتيس، وآخرون، ترجمة: خليفات، ٢٠٢٠، ص ص ٥ : ٨)**.



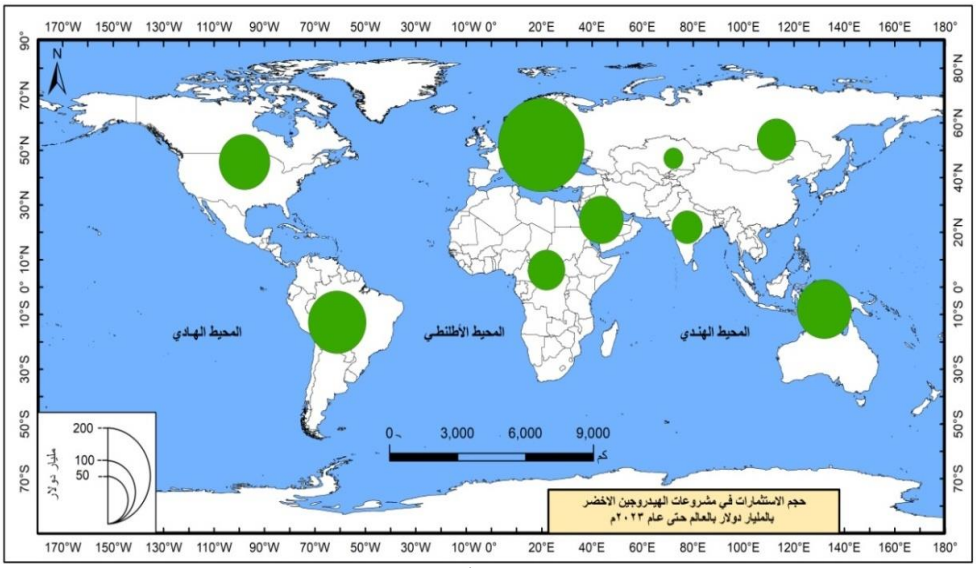

**المصدر: (ماتيس، وآخرون، ترجمة: خليفات، ٢٠٢٠، ص٥).**

**شكل (١) دور الهيدروجين في الربط بين قطاعات النقل والصناعة**

- **<u>الإنتاج العَالمي للهيدروجين الأخضر</u>:**

يَبلُغُ عَدد الدول التي اهتمَّت بإعدادِ استراتيجيَّات وطنيَّة، وخُطط تنمويَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر حوالي **٤٤ دولة**، وبَلغ عدد الدول التي تعملُ على الانتهاءِ مِن

إعداد استراتيجيَّات الهيدروجين الوطنيَّة نحو **١٠ دول**، مِن بينِها المَملكة المَغربيَّة، والتي أعدَّت استراتيجيَّتها الوطنيَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر. وقد وَصَلَ عَدد المشروعات، على مستوى العَالَم، إلى نحوِ أكثر مِن **٧٠٠ مشروع**، بإجمالي حَجم استثمارات بَلغت نحو **٦٠٠ مليار دولار**، مُوجَّهة نحو إنتاج الهيدروجين الأخضر، مُوزَّعَة على أقاليم وقارات العَالَم، كما يَتضحُ في **شكل (٢)**. أمَّا حَجم الإنتاج العَالمي، حَسَب الطاقة التصميميَّة للمشروعات حتى عام **٢٠٣٠م**، فَمِنَ المُقَدَّرِ أن يَصلَ إلى **١١ مليون طن سنويًّا**[١] تقريبًا.




**المصدر: (Adeli & et al., 2024, P.679)، بتصرُّف.**

**شكل (٢) حَجم الاستثمار لمشروعات قائمة وتحت التنفيذ لاستخدام الهيدروجين الأخضر بالمليار دولار على مستوى العَالَم عام ٢٠٢٣م**

تَحظى قارة **أوروبا** بالنصيبِ الأكبر مِن حَجمِ الاستثمارات المُخصَّصة لإنتاجِ طاقة الهيدروجين الأخضر، وذلك بنحوِ **٢٠٠ مليار دولار**، يَليها قارة **أمريكا الجنوبيَّة** بحَجمِ استثماراتٍ بلغت **١٠٠ مليار دولار** تقريبًا، ثُمَّ **الأوقيانوسيا** بنحوِ **٨٠ مليار دولار**، ثُمَّ

(١) المركز المِصري للفِكرِ والدراسات الاستراتيجيَّة "*ECSS*" تمّ الاسترجاع في: ١٠ ديسمبر٢٠٢٣ https://ecss.com.eg/38903

تأتي قارة **أمريكا الشماليَّة** بنحوِ **٧٥ مليار دولار**، وفي **المركز الخامس** يأتي **الشرق الأوسط** بنحوِ **٥٢ مليار دولار**، ثَمَّ **الصين** بـ **٤٢ مليار دولار**، ثُمَّ تأتي قارة **أفريقيا** في **المركز السابع** بحَجمِ استثماراتٍ بَلغت نحو **٣٧ مليار دولار**، ثُمَّ **الهند** بـ **٢٥ مليار دولار**، و**باقي دول قارة أسيا** بنحوِ **١٠ مليار دولار (Adeli & et al., 2024, P.679)**.

يُشَكِّلُ إنتاج الهيدروجين الأخضر أولويَّة كُبْرى للمَملكةِ المَغربيَّة؛ إذ إنه يُعَدُّ جُزءًا مُهِمًّا في استراتيجيَّة الطاقة الوطنيَّة للمَغرب، التي يُجْرَي تطويرها حاليًا، كما تَسْعى المَغرب في اختيار الطريقة المُناسبة لإنتاجِ طاقة الهيدروجين الأخضر، باتباعِ تحليل مُتعدِّد المَعايير لاختيار أفضل طريقة نظيفة ومُتجدّدة لإنتاجِ الهيدروجين على نطاقٍ صناعيّ بالمَملكةِ **(Leonard & et al., 2024,P.351)**.

**في دِراسة (Rashid & et al., 2022)** أَظْهَرَت النتائج أن التحليل الكهربائي للمِياه القَلويَّة، إلى جانب مَصادر الطاقة المُتجددة هي الطريقة الأَنْسَب لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة، وبخاصةٍ الطاقة الشمسيَّة Solar Power.

### ٤) <u>خصائص واستخدامات الهيدروجين الأخضر</u>:

يَلْعبُ الهيدروجين الأخضر، كَحَاملٍ للطاقةِ المُستدامة، بخِلافِ الأنواع الأخرى، دَورًا رَئيسًا في نَقلِ الطاقة، والتخلُّصِ مِن الكربون في القطاعات التي يَصعبُ فيها ذلك؛ نظرًا لِقُدرته على إزالةِ الكربون، والربط بين القطاعات المُختلفة **(شكل ١)**، حيثُ لا يُمكن تخفيفُ ثاني أكسيد الكربون، وخَفض إنتاج الكهرباء، بالإضافةِ إلى ذلك يُمْكِنُ أن يُساعدَ تطوير اقتصاد الهيدروجين الأخضر أيضًا على الاستفادةِ مِن الطاقةِ المُتجدّدة في نِظام الطاقة، وبَدء التخزين الموسمي، والمُساهمة في نموِّ الاقتصاد الأخضر، وتوفير فُرص العَمَل المَحليَّة.

الهيدروجين أكثر عُنصر كيميائي وَفرةً في البيئةِ، كَما يُعَدُّ الأعلى في القيمةِ الحراريَّة، مُقارنةً بالميثان والإيثانول والديزل والبنزين. ويُساعدُ الهيدروجين الأخضر قِطاع الصناعة في تقليلِ الانبعاثات الضارة بالبيئةِ وتَحسُّن المُناخ؛ إذ إنه لا يَنتج عنه أي انبعاثات لثاني أكسيد الكربون، فهو صديقٌ للبيئةِ، ويُستخدمُ كوسيلةٍ لتخزين وتوفير الطاقة المُستدامة **(Abdel-Basset & et al., 2021, P.4571)**.

يُستخدمُ الهيدروجين الأخضر كوقودٍ للسيَّارات والقِطارات[١]. والشاحنات الكهربائيَّة، التي تعملُ بخلايَا الوقود الهيدروجينيَّة، وكذلك كوقودٍ لسفُن الحَاويات، التي تعملُ بالأمونيا السائلة، المُستخرجة مِن الهيدروجين الأخضر، وذلك بديلًا عن الوقود الأحفوري. كما يُستخدمُ لتشغيل توربينات توليد الكهرباء التي تعملُ بالهيدروجين، ومِن ثَمَّ المساعدة في تَثبيت شَبكة الكهرباء في أوقاتِ الذروة **(Nikolaidis & Poullikkas, 2017, P.599)**. بالإضافةِ إلى إمكانيَّة استخدام الهيدروجين الأخضر **(شكل ١)** كبديلٍ للغازِ الطبيعي في الطَّبخِ والتدفئة والتبريد في المنازل، وفي قِطاع صِناعة الصلُب، وصِناعة البتروكيماويَّات.

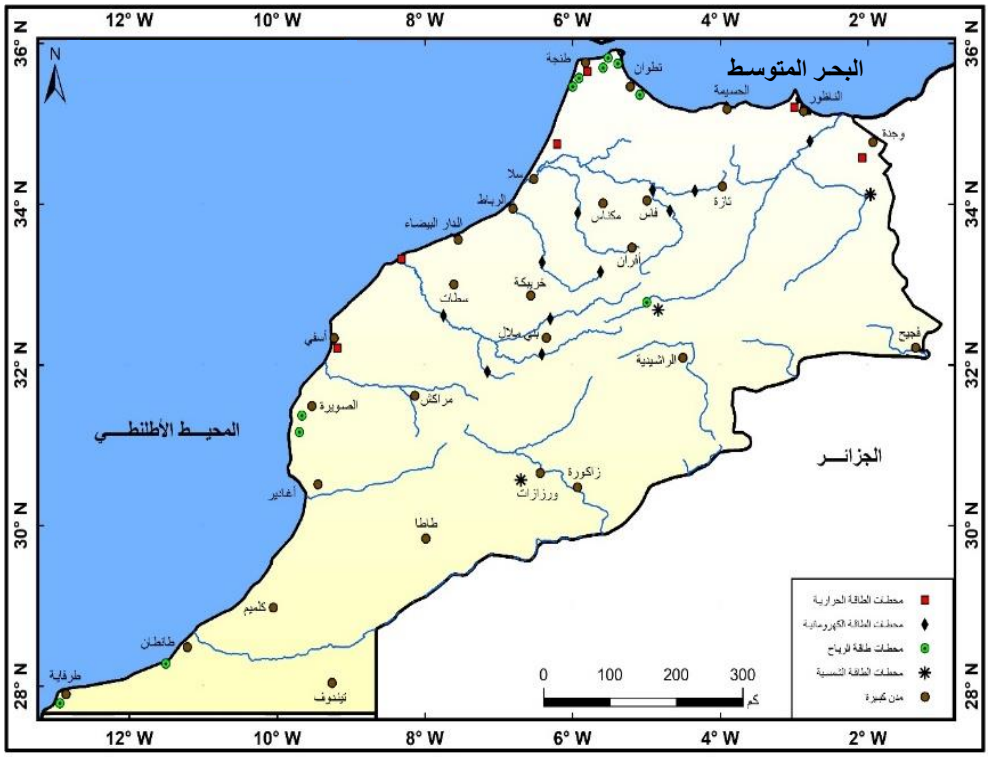
## ثانيًا: الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة:

تُعَدُّ المَغرب الدولة الوحيدة في مَنطقةِ الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، التي لا تَمْتلك أي مَوارد نِفطيَّة أو غازيَّة، وبالتالي تعتمدُ المَملكة المَغربيَّة، بشكلٍ كبيرٍ، على استيرادِ الوقود الأحفوري (الفَحم، والبترول، والغَاز الطبيعي) لإنتاجِ الطاقة الكهربائيَّة، وبخاصةٍ الفحم الذي تعتمدُ عليه بنسبةِ ٦٧ **%** في توليد الطاقة الكهربائيَّة؛ لذلك هي أكْبَر مُستورد

**(١) تم تشغيل أول قِطار يَعملُ بخلايَا الوقود الهيدروجينيَّة في ألمانيا في عام ٢٠٢٢م، لتملك "برلين" السبق عالميًا في تشغيل قطارات الهيدروجين، بخطوة واسعة باتجاه تحقيق الحياد الكربوني في قطاع النقل، حيثُ قامت ألمانيا بتشغيل ١٤ قطارًا يَعملُ بخلايَا الوقود الهيدروجينيَّة. تمّ الاسترجاع في: ٣٠ أغسطس٢٠٢٣**

**https://attaqa.net/2022/08/24/أول-قطار-يعمل-بالهيدروجين-في-العالم-ين**

للطاقةِ في مَنطقةِ الشرق الأوسط وشمال أفريقيا، حيثُ تَستوردُ نحو ٩٠ **%** مِن مصادر الطاقة، بحوالي **٧,٠٣ مليار يورو** في عام ٢٠١٩م؛ مِمَّا يَؤثِّرُ، بصورةٍ كبيرةٍ، على أَمْن الطاقة لديها، وعلى التوازنات الاقتصاديَّة للبلادِ **(ماتيس، وآخرون، ترجمة: خليفات، ٢٠٢٠، ص١٦).**




**المصدر: أطالس أفريقيا، أطلس المغرب، ٢٠١٣م، ص٢٤ & (Bouchaala & et al., 2024, P.129)**

**شكل (٣) مَحطات إنتاج الكهرباء بالمَملكةِ المَغربيَّة عام ٢٠٢٢م**

يَتضحُ مِن **شكل (٣)** امتلاك المَملكة المَغربيَّة العَديد مِن مَحطات إنتاج الطاقة الكهربائيَّة، باختلافِ مِصادر إنتاجها، فثمَّة المَحطات الحَراريَّة، والمَحطات الكهرومائيَّة، ومَحطات الطاقة الشمسيَّة، وطاقة الرياح. ويُلاحظُ أنه تمَّ إنشاء هذه المَحطات وفقًا للموقعِ الأَنْسَب للاستغلال. كما تجدُرُ الإشارة إلى **عناصر مُركَّب الطاقة بالمَملكةِ المَغربيَّة، وذلك على النحو التالي:**

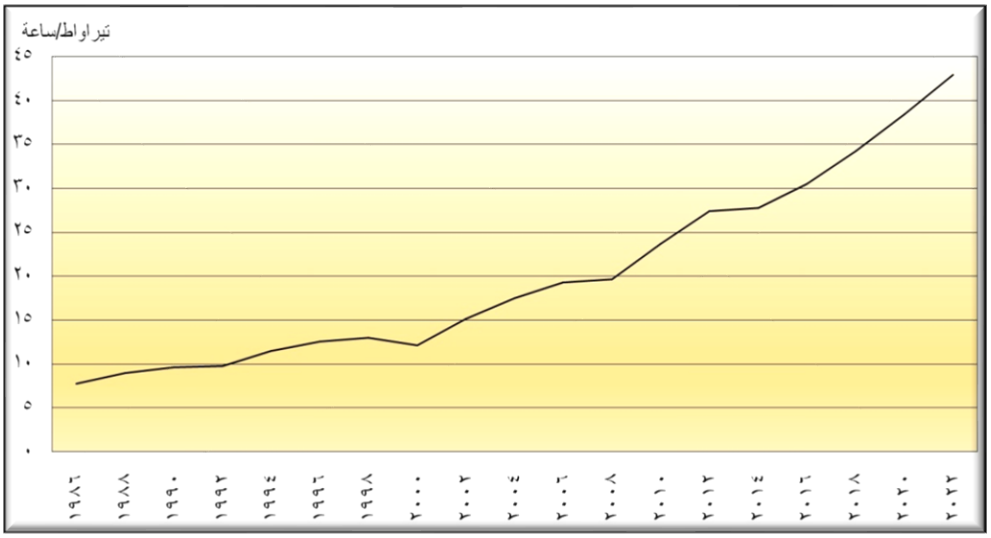
**١) تطوُّر إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة:**

سَجَّلت المَغرب تطورًا مَلحوظًا في إنتاج الكهرباء، مِن كافةِ المَصادر المُتجدّدة وغير المُتجدّدة؛ حيثُ بَدأ الإنتاج، في عام **١٩٨٦م**، بأقلِّ مِن **٧,٨ تيرا وات/ساعة**، حتى وصلَ إلى نحو **٤٣ تيرا وات/ساعة**، في عام **٢٠٢٢م**، وبمتوسطٍ بَلغ **٢٠ تيرا وات/ساعة**، خِلال الفترة **(١٩٨٦-٢٠٢٢م)**، كما يَتضحُ مِن **جدول (١)**، و**شكل (٤)**.

**جدول (١) تطوَّر إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة، خِلال الفترة ١٩٨٦-٢٠٢٢م**

| السنوات | تيرا وات/ساعة | السنوات | تيرا وات/ساعة | السنوات | تيرا وات/ساعة |
|---|---|---|---|---|---|
| ١٩٨٦ | ٧,٧٦ | ١٩٩٩ | ١٢,٩٠ | ٢٠١٢ | ٢٧,٣٩ |
| ١٩٨٧ | ٨,٠٠ | ٢٠٠٠ | ١٢,١٣ | ٢٠١٣ | ٢٦,٧٨ |
| ١٩٨٨ | ٨,٩٨ | ٢٠٠١ | ١٤,٢٠ | ٢٠١٤ | ٢٧,٧٤ |
| ١٩٨٩ | ٩,٠٢ | ٢٠٠٢ | ١٥,١٦ | ٢٠١٥ | ٢٩,٥٤ |
| ١٩٩٠ | ٩,٦٣ | ٢٠٠٣ | ١٦,٤٨ | ٢٠١٦ | ٣٠,٤٨ |
| ١٩٩١ | ٩,٢١ | ٢٠٠٤ | ١٧,٥٠ | ٢٠١٧ | ٣١,٥٥ |
| ١٩٩٢ | ٩,٧٢ | ٢٠٠٥ | ١٨,٧٧ | ٢٠١٨ | ٣٤,٢٣ |
| ١٩٩٣ | ٩,٩١ | ٢٠٠٦ | ١٩,٢٧ | ٢٠١٩ | ٣٩,٩٨ |
| ١٩٩٤ | ١١,٤٧ | ٢٠٠٧ | ١٩,٣٤ | ٢٠٢٠ | ٣٨,٣٨ |
| ١٩٩٥ | ١٢,٠٩ | ٢٠٠٨ | ١٩,٦٤ | ٢٠٢١ | ٤٠,٣٠ |
| ١٩٩٦ | ١٢,٥٤ | ٢٠٠٩ | ٢٠,٠٢ | ٢٠٢٢ | ٤٢,٩ |
| ١٩٩٧ | ١٣,٥٩ | ٢٠١٠ | ٢٣,٦٤ | المتوسط | ٢٠,٠ |
| ١٩٩٨ | ١٢,٩٧ | ٢٠١١ | ٢٤,٩٩ | | |

**المصدر: (Leonard & et al., 2024, P.357) & (Akarsu & Serdar, 2022, P.867)**




**المصدر: جدول (١).**

**شكل (٤) تطوُّر إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة (تيرا وات/ساعة)، خِلال الفترة ١٩٨٦-٢٠٢٢م**

## ٢) مَصادر إنتاج الكهرباء بالمَملكةِ المَغربيَّة:

يَتضحُ مِن **جدول (٢)**، و**شكل (٥)** تنوُّعُ مَصادر إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة، بين المَصادر **(الحَراريَّة، والرياحيَّة، والشمسيَّة، والمَائيَّة)**. في عام **٢٠١٠م** بَلغَ إجمالي كميَّة الطاقة الكهربائيَّة المُنتجة مِن جميع المَصادر **٢٣٦٤٠ مليون/ كيلو وات/ ساعة**، إلى أن وصلت **٤٢٨١٨ مليون/ كيلو وات/ ساعة**، في عام **٢٠٢٢م**، بنسبةٍ تجاوزت **٥٥ %**، خِلال **١٣ عامًا**.

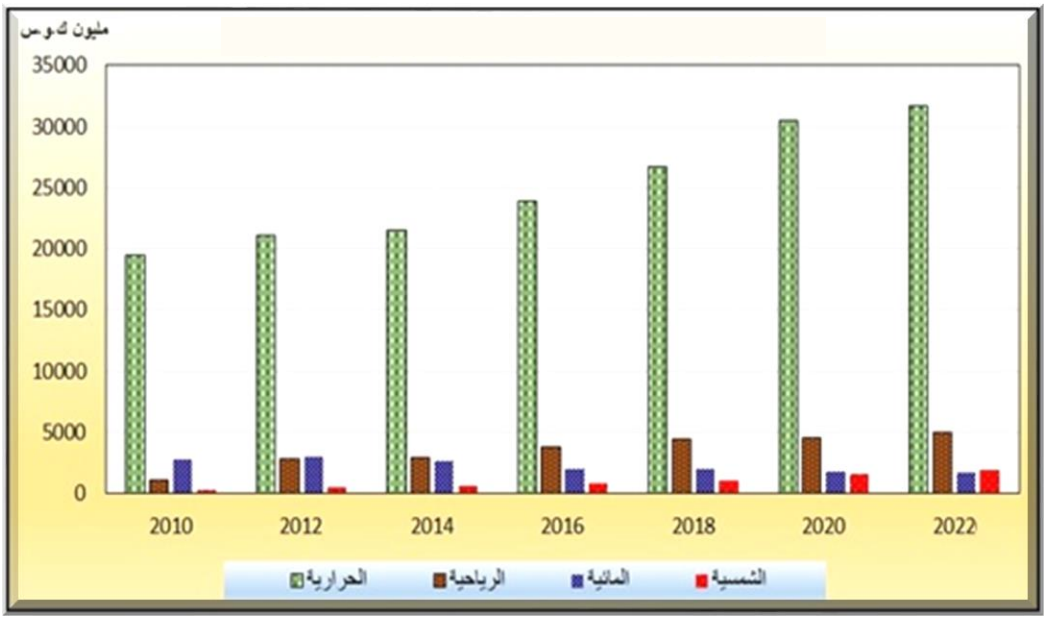
أما حَسَب مَصدر إنتاج الطاقة، فقد تَصدَّرَت **المَصادر الحَراريَّة** المَركز الأوَّل في إنتاج الطاقة الكهربائيَّة، خِلال فترة الدارسة، إذ بَلغت **٣٣١٢٩ مليون ك.و.س**، في عام **٢٠٢٢م**، يَليها المَصادر **الريحيَّة**، ثُمَّ **الشمسيَّة**، وأخيرًا المَصادر **المَائيَّة**، بكميَّات إنتاج **(٥٦٨١، ٢٠٨٧، ١٩٢١ مليون/ كيلو وات/ ساعة)** على التوالي. مع مُلاحظة تطوُّر كميَّات إنتاج الطاقة الكهربائيَّة، في جميع مَصادر الإنتاج، كما يَتضحُ مِن **شكل (٥)**.

**جدول (٢) إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة، حَسَب المَصدر (مليون/ كيلو وات/ ساعة)، خِلال الفترة ٢٠١٠-٢٠٢٢م**

| السنة / المَصدر | ٢٠١٠ | ٢٠١٢ | ٢٠١٤ | ٢٠١٦ | ٢٠١٨ | ٢٠٢٠ | ٢٠٢١ | ٢٠٢٢ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| الحَراريَّة | ١٩٤٤٠ | ٢١٠٨٣ | ٢١٥٣٦ | ٢٣٨٨١ | ٢٦٧٥٣ | ٣٠٥٢٤ | ٣١٦٦٥ | ٣٣١٢٩ |
| الرياحيَّة | ١١٠٣ | ٢٨٥٦ | ٢٩٨٢ | ٣٨٠٩ | ٤٤٤٥ | ٤٥٢٣ | ٤٩٩٢ | ٥٦٨١ |
| الشمسيَّة | ٢٩٢ | ٤٦١ | ٥٨٩ | ٧٩٨ | ١٠٣٤ | ١٥٧٤ | ١٩٥٢ | ٢٠٨٧ |
| المَائيَّة | ٢٨٠٥ | ٢٩٩٠ | ٢٦٣٣ | ١٩٩٢ | ١٩٩٨ | ١٧٥٩ | ١٧٩١ | ١٩٢١ |
| الإجمالي | ٢٣٦٤٠ | ٢٧٣٩٠ | ٢٧٧٤٠ | ٣٠٤٨٠ | ٣٤٢٣٠ | ٣٨٣٨٠ | ٤٠٤٠٠ | ٤٢٨١٨ |

المصدر: المَندوبيَّة الساميَّة للتخطيط (٢٠١٦) ص٦١ & (٢٠٢٠) ص٥٩ & (٢٠٢٢) ص٦٢.

- (Akarsu & Serdar, 2022, P.868).




المصدر: جدول (٢).

**شكل (٥) إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة، حَسَب المَصدر (مليون/ كيلو وات/ ساعة)، خِلال الفترة ٢٠١٠-٢٠٢٢م**

**(أ) إنتاج الكهرباء مِن المَصادر الحَراريَّة:**

وَصَلَ إنتاجُ المَملكة المَغربيَّة مِن الطاقةِ الكهربائيَّة، المُنتجة مِن المَصادر الحَراريَّة، **٦٨٧٦ ميجاوات**، في عام **٢٠٢٢م**. أمَّا الإنتاج على مُستوى المَحطات، فكانت مَحطة كهرباء **(الجَرف الأصفر)** هي **الأكثر إنتاجًا**، بسعةِ **٢٠٥٦ ميجاوات**. يَليها مَحطة كهرباء **(آسفي)**، بسعةِ **١٣٨٦ ميجاوات**، وكِلتيهما تعملان بالفَحمِ. بينما تأتي المَحطة الأقْدَم في التشغيل، وهي مَحطة كهرباء **(القنيطرة ١)** في **المَرتبةِ الأخيرة**، بسعةِ إنتاج **٣٠٠ ميجاوات**، وهي كذلك تَعملُ بالفَحمِ. كما يُلاحظُ أن جُلَّ مَحطات الكهرباء الحَراريَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة تَستخدمُ الفَحم في تشغيلِها **(جدول ٣)**. ولِذا تُعَدُّ المَغرب أَكْبَر مستورد للفَحمِ في إفريقيا، وثاني أَكْبَر مستورد للفَحمِ الأمريكي في العَالَم، بَعد الهند؛ حيثُ تستوردُ حوالي **٧٥٠ ألف طن** مِن الفَحمِ شَهريًّا[١].

**جدول (٣) إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَحطاتِ الحَراريَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة، حتى عام ٢٠٢٢م**

| مَحطة الكهرباء الحَراريَّة | المَوقع | نوع الوقود | السعة (ميجاوات) | عام الانتهاء |
|---|---|---|---|---|
| كهرباء القنيطرة ١ | القنيطرة | فحم | ٣٠٠ | ١٩٧٨ |
| كهرباء الجرف الأصفر | الجرف الأصفر | فحم | ٢٠٥٦ | ٢٠٠١ |
| كهرباء تهدارت | طنجة | غاز طبيعي | ٣٨٤ | ٢٠٠٥ |
| كهرباء القنيطرة ٢ | المحمدية | بترول/فحم | ٦٠٠ | ٢٠٠٧ |
| كهرباء القنيطرة ٣ | القنيطرة | غاز طبيعي | ٣١٥ | ٢٠١٢ |
| كهرباء آسفي | آسفي | فحم | ١٣٨٦ | ٢٠١٧ |
| كهرباء جرادة | جرادة | فحم | ٥١٥ | ٢٠١٧ |
| كهرباء الناظور | الناظور | فحم | ١٣٢٠ | ٢٠٢١ |
| الإجمالي | - | - | ٦٨٧٦ | - |

**المصدر: (Bouchaala & et al., 2024, P.127) & (Akarsu & Serdar, 2022, P.869)**

(١) صوت المغرب "the Voice" تمّ الاسترجاع في: ١٧ سبتمبر٢٠٢٣

https://www.thevoice.ma/المغرب-ثاني-أكبر-مستورد-للفحم-الأمريك/

**(ب) إنتاج الكهرباء من طاقة الرياح:**

يَتضحُ مِن **جدول (٤)** أن مَزارع الرياح **بطرفاية** هي الأعلى في إنتاج الكهرباء، بسعةٍ بَلغت **٣٠١ ميجاوات**، يَليها مَزارع **ميدلت**، بسعةٍ بَلغت **٢١٠ ميجاوات**، ثُمَّ تأتي مَزارع **بينا بيو** في المرتبةِ الأخيرةِ لإنتاجِ الكهرباء مِن طاقةِ الرياح، وذلك بسعةٍ قَدرُها **٢٠ ميجاوات** فقط.

**جدول (٤) إنتاج الطاقة الكهربائيَّة مِن الريَاح في المَملكةِ المَغربيَّة، حتى عام ٢٠٢٢م**

| مَزرعَة الريَاح | المَوقع | السعة (ميجاوات) | عام التشغيل |
|---|---|---|---|
| كودية البيضاء | طنجة | ٥٠ | ٢٠٠٠ |
| لافارج | تطوان | ٣٢ | ٢٠٠٥ |
| كيب سيم | الصويرة | ٦٠ | ٢٠٠٦ |
| طنجة الأولى | طنجة | ١٤٠ | ٢٠٠٧ |
| بينا بيو | الصويرة | ٢٠ | ٢٠٠٩ |
| ضار سعدان | طنجة | ٧٥ | ٢٠٠٩ |
| أخفنير١ | أخفنير | ١٠٠ | ٢٠١٣ |
| طرفاية | طرفاية | ٣٠١ | ٢٠١٤ |
| حوما | القصر الصغير | ٥٠,٦ | ٢٠١٤ |
| أخفنير٢ | أخفنير | ١٠٠ | ٢٠١٧ |
| خلادي | طنجة | ١٢٠ | ٢٠١٨ |
| ميدلت | ميدلت | ٢١٠ | ٢٠٢١ |
| الإجمالي | - | ١٢٥٨,٦ | - |

**المصدر: (Akarsu & Serdar, 2022, P868)**

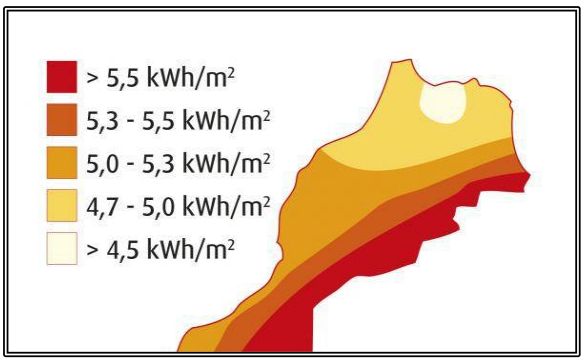
يَبلُغُ عدد الدول الأفريقيَّة، التي تَستخدمُ طَاقة الريَاح في إنتاج الكهرباء، **٤٥ دولةً**، ويُنافس سِعْر الكهرباء المُنتجة مِن طاقة الرياح سِعْر الكهرباء المُنتجة مِن مَصادر الوقود الأحفوري، وبخاصةٍ في الدولِ التي لا تُقَدِّم دَعمًا لهذا الوقود.

مَع حلولِ عام **٢٠٢٥م** يُتوقع تَغطية **١٢ %** مِن احتياجات الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة بواسطةِ تُوربينات الرياح **(Khouya, 2020, P.31635)**.

**(ج) إنتاج الكهرباء مِن الطاقة الشمسيَّة:**

تُعَدُّ نُظم الخَلايا الشمسيَّة أحد أفضل تطبيقات الطاقة المُتجدّدة النظيفة في المَناطق النائية، ذات الأحمال الصغيرة، ولِخدمة المَراكز العُمرانيَّة المُتباعد. وعَادةً ما تُستخدم هذه الطريقة لتسخين المِياه، أو توليد الكهرباء مِن خِلال تُوربينات بُخاريَّة، تعملُ بواسطةِ مُجمَّعات الخَلايا الشمسيَّة، التي تقومُ بامتصاص الضوء ثُمَّ تحويله إلى طاقةٍ كهربائيَّةٍ، وتُعرفُ هذه الطريقة بالتحويل الكهروضوئي **(Taoufik & Fekri, 2023, P.387)**.

تُعَدُّ المَملكة المَغربيَّة إحدى الدول التي تمتلكُ أعلى مُعدَّلات إشعاع شمسي في العَالَم؛ حيثُ تتعرضُ أغلب أراضيها، **سَنويًّا**، لأكثرِ مِن **٣٠٠٠ ساعة** مِن **عَدَد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة Actual Sunshine**، وتَصلُ في بَعض المناطق الصحراويَّة الجنوبيَّة إلى **٣٦٠٠ ساعة** سَنويًّا، وتتراوحُ **كميَّة طاقة الإشعاع الشمسي** بين **٥ كيلو وات/ متر٢/ يوم** في شمال المَغرب، وبين **٦,٥ كيلو وات/ متر٢/ يوم** في الجنوب **(شكل ٦)**؛ مِمَّا يَجعلُ المَملكة المَغربيَّة أرضًا واعدةً للاستفادةِ وتطوير الطاقة الشمسيَّة[١].




المصدر: الوكالة المَغربيَّة للطاقةِ المُستدامة "MASEN"
https://www.masen.ma/en

**شكل (٦) متوسط كميَّة طاقة الإشعاع الشمسي بالمَغربِ (كيلو وات/ متر٢/ يوم)**

(١) الأطلس الشمسي العَالَمي V.2.11 "GSA" (مايو ٢٠٢٤).
Global Solar Atlas - https://globalsolaratlas.info/map

تتعاظمُ فُرص الاستفادة مِن الإشعاع الشمسي في جنوب شرقي المَملكة المَغربيَّة؛ إذ يَتراوح متوسط إجمالي السعة القصوى لاستخدامات الخَلايا **فوتوفولتيَّة Photovoltaic** بين ٧ – ٩,٥ **ميجاوات**، وهي **خَلايا شَمسيَّة تقومُ بتحويلِ ضوء الشمس المُباشر إلى طاقة كهربائيَّة**؛ وذلك لأغراضِ الإنارة بأنواعها، وإعلانات الشوارع، وضخ المياه، وغيرها مِن الاستخدامات **(Taoufik & Fekri, 2023, P.386)**.

وفقًا لتقرير **البنك الأفريقي للتنميةِ (African Development Bank, 2023, P.58)**، أَطْلَقَت المَملكة المَغربيَّة خُطَّة لإنتاجِ نحو **٢٠٠٠ ميجاوات** كهرباء مِن الطاقةِ الشمسيَّة، بحلولِ عام **٢٠٢٥م**، وذلك مِن خِلال بناء **سَبْع مَحطات للطاقةِ الشمسيَّة**، مُوزعة على أكثرِ مواقع المَملكة المَغربيَّة في كميَّةِ الإشعاع الشمسي، وهي **(ورزازات، عين بني مطهر، نور ميدلت، بوجدور، سَبْخة الطاح)** كما هو موضح في **جدول (٥)**، بتكلفةٍ ماليَّةٍ بَلغت نحو **١٠ مليارات دولار**.

**جدول (٥) إنتاج الكهرباء مِن الطاقة الشمسيَّة في المَملكةِ المَغربيَّة، حتى عام ٢٠٢٢م**

| محطات الكهرباء | الموقع | نوع الوقود | التقنية | السعة (ميجاوات/ساعة) | عام التشغيل |
|---|---|---|---|---|---|
| عين بني مطهر | عين بني مطهر | الطاقة الشمسيَّة والغاز الطبيعي | ISCC | ٤٧٠ | ٢٠١١ |
| نور ورزازات | ورزازات | الطاقة الشمسيَّة | حوض القطع المكافئ (نور١ و٢)، (نور٣) (نور٤) | ٥٨٠ | ٢٠١٦ ٢٠١٨ |
| نور ميدلت | ميدلت | الطاقة الشمسيَّة | حوض ذو قطع مكافئ الكهروضوئيَّة | ٢٨٠ ٢٦٠ | ٢٠٢٢ |
| مشروعات أخرى | - | الطاقة الشمسيَّة والغاز الطبيعي | - | ٤٩٧ | - |
| الإجمالي | - | - | - | ٢٠٨٧ | - |

**المصدر: (Anas & et al., 2021, P.874) & (Taoufik & Fekri, 2023, P.386)**

في عَام **٢٠١٦م** قَامَت المَملكة المَغربيَّة بإنشاءِ واحدة مِن أَكْبَرِ مَحطات الطاقة الشمسيَّة في العَالَم، وهي **مَحطة (نور ورزازات)** بمراحلِها الأربع (١، ٢، ٣، ٤)، **(تُعرف باسم مُجَمَّع نور الشمسي في مدينة ورزازات)**، التي تعتمدُ على تقنيةِ الطاقة الشمسيَّة المُركَّزة[١]، وتستخدمُ المَرايا الأسطوانيَّة **(صورة ١)**، ويُمكنها تخزين الطاقة الحَراريَّة لِمُدَّةِ تتراوح بين **٣ – ٧ ساعات**، وتنتجُ **٥٨٠ ميجاوات/ساعة** مِن الطاقة الكهربائيَّة، بما يُعادل **١,٨٤٠ جيجاوات/سنة**. أخذًا في الاعتبارِ أنه يَتمَّ تَوليدُ كُلُّ هذه الطاقة الكهربائيَّة بانخفاضٍ في انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، بنحو **٨٥٤ ألف طن/سنة (جدول ٦)**، مِمَّا يَجعل **مَحطة (نور ورزازات)** مُساهمًا كبيرًا في جهودِ المَملكة المَغربيَّة في مَجالِ تطوير الطاقة المُستدامة؛ إذ تَسعى المَغرب إلى تقليصِ استيراد الطاقة مِن الخَارج، بنسبةِ **٥٠ %**، بحلولِ عَام **٢٠٢٥م**، وبذلك ستُشكِّلُ الطاقة الشمسيَّة **ثُلث** إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة.

**صورة (١) المَرايا الشمسيَّة الاسطوانيَّة بمحطة (نور ورزازات) بقُدرة ٥٨٠ ميجاوات/ساعة**

**(١) يُقصدُ بمحطات الطاقة الشمسيَّة المُركَّزة Concentrated Solar Power (CSP) تلك المَحطات الشمسيَّة الحَراريَّة لإنتاجِ الكهرباء، مِن خِلال استبدال الوقود الأحفوري بالطاقةِ الحَراريَّة الناتجة عن تركيز الإشعاع الشمسي في إنتاج البُخار اللازم لإنتاج الكهرباء، وتتراوح درجة حرارة البُخار الناتج عن المحطات الحَراريَّة بين ٤٠٠°– ١٥٠٠° س (Aarich, et al, 2024, P.49).**

**جدول (٦) مواصفات محطة نور ورزازات لإنتاجِ الكهرباء مِن الطاقةِ الشمسيَّة بالمَغرب**

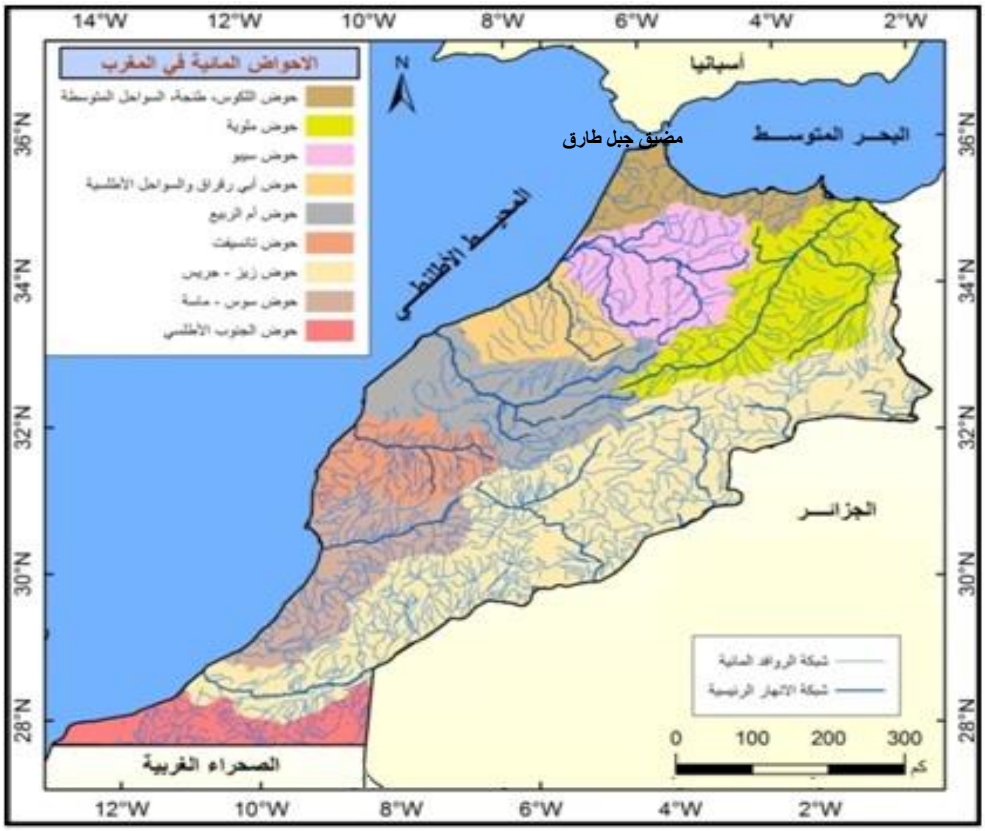
| محطات الطاقة الشمسيَّة | القُدرة (ميجاوات/ساعة) | الإنتاج السنوي (جيجاوات/سنة) | التكنولوجيا المُستخدمة | تفادي انبعاثات ثاني أوكسيد الكربون (ألف طن/سنة) | عام التشغيل |
|---|---|---|---|---|---|
| نور ورزازات (١) | ١٦٠ | ٦١٨ | الطاقة الشمسيَّة الحَراريَّة ذات الألواح اللاقطة المُقعرة بقُدرة تخزين حَراري تقدر ٣ ساعات | ٢٨٠ | ٢٠١٦ |
| نور ورزازات (٢) | ٢٠٠ | ٦٠٠ | الطاقة الشمسيَّة الحَراريَّة ذات الألواح اللاقطة المُقعرة بقُدرة تخزين حَراري تقدر ٧ ساعات | ٣٠٠ | ٢٠١٨ |
| نور ورزازات (٣) | ١٥٠ | ٥٠٠ | الطاقة الشمسيَّة الحَراريَّة ذات الألواح اللاقطة المُقعرة بقُدرة تخزين حَراري تقدر ٧ ساعات | ٢٢٠ | ٢٠١٨ |
| نور ورزازات (٤) | ٧٠ | ١٢٠ | الطاقة الشمسية الفوتوضوئيَّة مع نظام التعقُّب | ٥٤ | ٢٠١٨ |
| الإجمالي | ٥٨٠ | ١,٨٣٨ | - | ٨٥٤ | - |

**المصدر:**

https://www.commune-ouarzazate.ma/ar/محطة-نور-للطاقة-الشمسية-ورزازات

**(د) إنتاج الكهرباء مِن طاقة المياه:**

تَمتلكُ المَملكة المَغربيَّة نحو **عَشرة أحواض نهريَّة**، كما يَتضحُ في **شكل (٧)**. وقد سَاعدت تلك الأحواض على إنشاءِ العَديد مِن السدود لِغرضِ تخزين المياه، وتوليد الطاقة الكهربائيَّة. كما أن هناك بعض السدود تم إنشاؤها لِغرضِ ري الأراضي الزراعيَّة، **مِثل سدود (المسيرة، ووادي المَخازن، وعبد المؤمن، وأحمد الحنصالي، وسيدي سعيد)**، على **أحواض (أبي الرقراق، وسيبو، وتانسفت، وملوية، واللكوس)**.




المصدر: نموذج الارتفاع الرقمي DEM https://earthexplorer.usgs.gov/

- **Entity ID: GMTED2010N10W030**
- **Acquisition Date: 2010-11-11**
- **Center Coordinates: 20N, 15W & 40N, 15W**

**شكل (٧) الأحواض المائيَّة وشَبكة التصريف الرئيسة بالمَملكةِ المَغربيَّة**

يُوضِّحُ **جدول (٧)** أهم السدود المُنتجة للطاقة الكهربائيَّة بالمَملكة المَغربيَّة، وتأتي **محطة تخزين أفورير** في **المَرتبةِ الأولى**، مِن حيثُ إنتاج الطاقة الكهرومائيَّة، بسعةِ **٤٦٥ ميجاوات**، يَليها **محطة سد علال الفاسي**، بقُدرة **٢٤٠ ميجاوات**، وتأتي **محطة سد القنصرة** في المرتبةِ الأخيرة، وهو يُعَدُّ مِن أقدمِ السدود التي أُقيمت بالمغربِ عام **١٩٤٦م**، بسعةِ **٨,٣ ميجاوات**.

**جدول (٧) إنتاج الطاقة الكهربائيَّة مِن المَحطات الكهرومائيَّة بالمَغرب، حتى عام ٢٠٢٢م**

| محطات الطاقة الكهرومائيَّة | الموقع | النوع | السعة (ميجاوات) | عام التشغيل |
|---|---|---|---|---|
| سد القنصرة | مكناس | تخزين بالضخ | ٨,٣ | ١٩٤٦ |
| سد بن الويدان | بني ملال | تخزين بالضخ | ١٣٥ | ١٩٥٣ |
| سد محمد الخامس | زايو | مع جريان النهر | ٢٣ | ١٩٦٧ |
| سد إدريس الأول | فاس | تخزين بالضخ | ٤٠ | ١٩٧٨ |
| سد المسيرة | سطات | مع جريان النهر | ١٢٨ | ١٩٧٩ |
| سد الحسن الأول | دمنات | مع جريان النهر | ٦٧,٢ | ١٩٨٦ |
| سد علال الفاسي | فاس | مع جريان النهر | ٢٤٠ | ١٩٩٤ |
| سد الوحدة | تازة | تخزين بالضخ | ٢٤٠ | ١٩٩٧ |
| محطة تخزين أفورير | أفورير | تخزين بالضخ | ٤٦٥ | ٢٠٠٤ |
| محطة تنفنيت الكهرومائيَّة | الخنيفرة | مع جريان النهر | ١٨ | ٢٠١٣ |
| محطة البرج الكهرومائيَّة | الخنيفرة | مع جريان النهر | ٢٢ | ٢٠١٩ |
| سدود أخرى | - | - | ٥٣٤,٥ | - |
| الإجمالي | - | - | ١٩٢١ | - |

**المصدر: (Mahdavi & Vera, 2023, P.34579) & (Lee & et al., 2021, P.544)**

### ٣) استهلاك الكهرباء بالمَملكة المَغربيَّة:

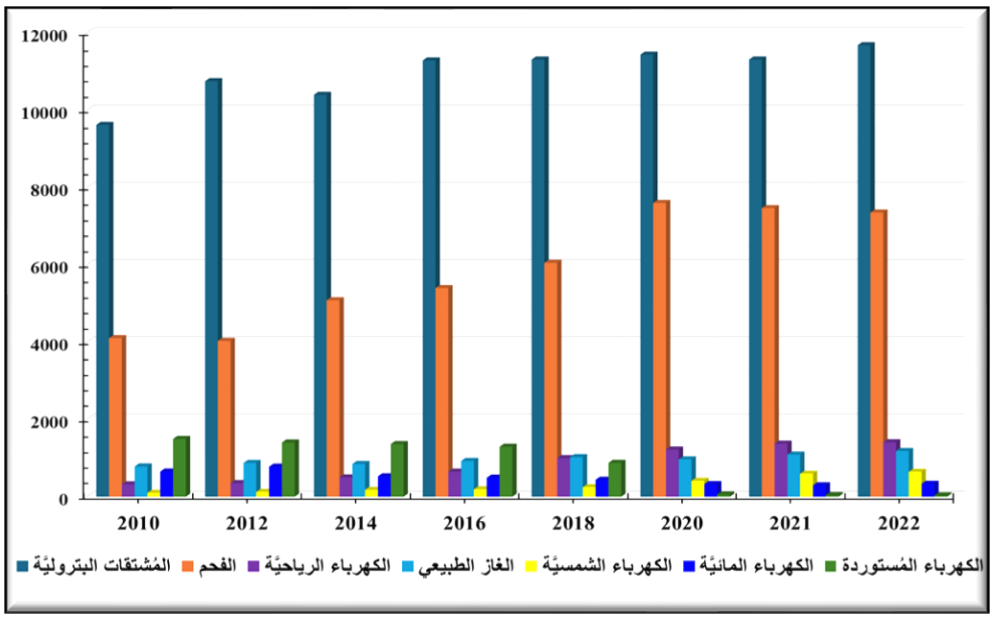
يَزدادُ الطلبُ على الطاقةِ الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة بشكلٍ سريعٍ، بنسبةٍ ٨ **% سنويًّا**؛ نتيجةً للنموِّ الاقتصادي. كما أدَّت زيادة عدد السكان إلى زيادةِ الطلب على الكهرباء. وبالرغمِ مِن جهودِ المَملكة في إدارةِ وتنظيم الطلب على الكهرباءِ، للحفاظِ عليها، فمنِ المُتوقّعِ زيادة الطلب على الطاقةِ الكهربائيَّة بالمُعدّلِ نَفسه في المُستقبلِ القريب، عِلاوةً على ذلك تعتمدُ المَغرب اعتمادًا كبيرًا على واردات الوقود الأحفوري لتوليدِ الكهرباء؛ نظرًا لنقصِ المَوارد المَحليَّة مِن هذا الوقود **(المَندوبيَّة الساميَّة للتخطيط، ٢٠٢٢، ص٦٢)**.

تَستوردُ المَملكة المَغربيَّة نحو **٩٥ %** مِن إمداداتِها مِن موارد الطاقة، ويُمثِّلُ **البترول** نحو **٦١ %** مِن إجمالي استهلاك الطاقة بالمَملكةِ. وفي عام ٢٠١٢م تزايد استهلاك البترول بنسبةِ **٨٧ %**؛ نظرًا لزيادةِ الطلب على البنزين بنسبةِ **١١,٥ %**، أي بما يُعادل نحو **١٠ مليون طن**، ومِن كُلِّ هذه الكميَّة كانت نسبةِ إنتاج الطاقة الكهربائيَّة **٧,٥ %** مِن إجمالي إنتاج الطاقة بالمَملكةِ **(Haines & et al., 2023, P.542)**. واستمرَّ الارتفاع في الكميَّات المُستوردة مِن البترولِ إلى أن وصلت لنحوِ **١٢ مليون طن** في عام ٢٠٢٠م. وتتمثَّلُ أهم المُنتجات البترولِيَّة، التي يَتمُّ استيرادها في **الجازولين** بنحوِ **٦ مليون طن** في عام ٢٠٢٠م **(المَندوبيَّة الساميَّة للتخطيط، ٢٠٢٢، ص٦٣)**.

**جدول (٨) استهلاك الطاقة الكهربائيَّة بالمَغرب، حَسب المَصدر (ألف طن مُكافئ بترول)، خِلال الفترة (٢٠١٠-٢٠٢٢م)**

| السنة / المَصدر | ٢٠١٠ | ٢٠١٢ | ٢٠١٤ | ٢٠١٦ | ٢٠١٨ | ٢٠٢٠ | ٢٠٢١ | ٢٠٢٢ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| المُشتقات البترولِيَّة | ٩٦٢٠ | ١٠٧٥١ | ١٠٤٠٠ | ١١٢٨٩ | ١١٣١٢ | ١١٤٣٩ | ١١٣١٢ | ١١٦٨٣ |
| الفحم | ٤١٠٢ | ٤٠٣٢ | ٥٠٨٢ | ٥٣٩٨ | ٦٠٥١ | ٧٦٠١ | ٧٤٦٧ | ٧٣٥٢ |
| الكهرباء الرياحيَّة | ٣٢١ | ٣٥٣ | ٤٩٩ | ٦٥٠ | ٩٩٩ | ١٢٢٢ | ١٣٧٤ | ١٤٠٩ |
| الغاز الطبيعي | ٧٨٣ | ٨٧٤ | ٨٤٨ | ٩٢٦ | ١٠٢٤ | ٩٦٧ | ١٠٩١ | ١١٨٤ |
| الكهرباء الشمسيَّة | ١٠١ | ١٢٦ | ١٧٨ | ١٩٣ | ٢٤٧ | ٤١١ | ٥٩٥ | ٦٤٥ |
| الكهرباء المائيَّة | ٦٥٢ | ٧٧٨ | ٥٢٩ | ٤٩٢ | ٤٤٠ | ٣٢٨ | ٢٩٦ | ٣٣٦ |
| الكهرباء المُستوردة | ١٤٩٧ | ١٤٠٤ | ١٣٦٣ | ١٢٩٣ | ٨٧٧ | ٦٠ | ٤١ | ٣٥ |
| الإجمالي | ١٧٠٧٦ | ١٨٣١٨ | ١٨٨٩٩ | ٢٠٢٤١ | ٢٠٩٥٠ | ٢٢٠٢٨ | ٢٢١٧٦ | ٢٢٦٤٤ |

**المصدر: المَندوبيَّة الساميَّة للتخطيط (٢٠١٦) ص٦٢ & (٢٠٢٠) ص٦٣ & (٢٠٢٢) ص٦٤.**



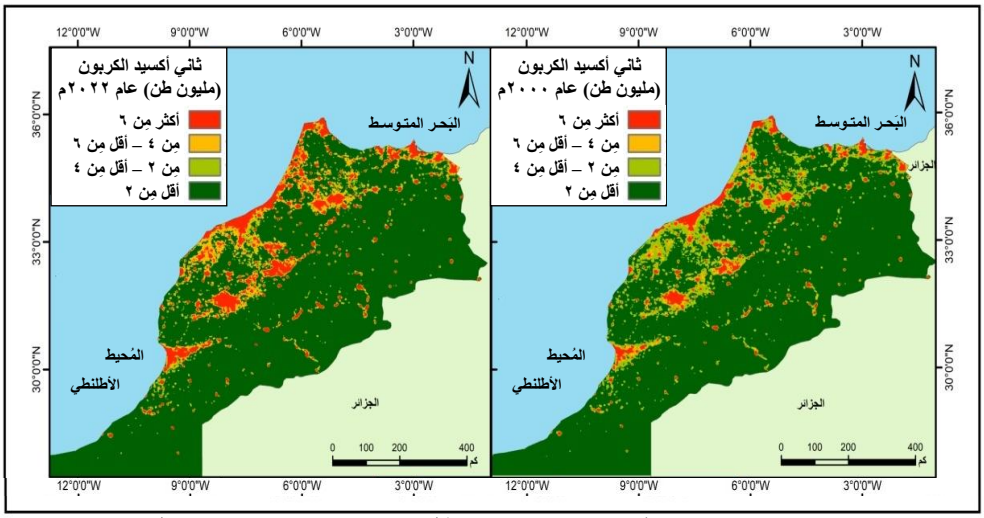

**المصدر: جدول (٨)**

**شكل (٨) استهلاك الطاقة الكهربائيَّة بالمَغرب، حَسب المَصدر (ألف طن مُكافئ بترول)، خِلال الفترة (٢٠١٠-٢٠٢٢م)**

يَتضحُ مِن **جدول (٨)**، **وشكل (٨)** أن مُتوسط استهلاك الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة، في عام **٢٠٢٢م**، قد تجاوزَ **٢٢,٦ مليون طن مكافئ بترول**، وقد استحوذت **المُشتقات البترولية** على النصيبِ الأكبْرِ مِن الاستهلاك بنحوِ **١١,٧ مليون طن مكافئ بترول**، يَليها استهلاك **الفَحم** بنحوِ **٧,٤ مليون طن مكافئ بترول**. وبالنسبةِ للكهرباء المُستوردة فيُلاحظُ أنها آخذةً في النقصانِ؛ حيثُ كانت في عام ٢٠١٠م بنحوِ **١,٥ مليون طن مكافئ بترول**، إلى أن وصلت لنحوِ **٣٥ ألف طن مكافئ بترول**، في عام ٢٠٢٢م، ومُعظمها يُستوردُ مِن دَولِ الجَوار. بينما يُلاحظُ أنَّ هُناك تزايُدًا ملحوظًا في استهلاكِ المَملكة المَغربيَّة مِن الكهرباءِ المُنتجة مِن مَصادرِ الطاقة المُتجدّدة، المُمثّلة في طاقةِ (الشمس، والرياح، والماء)؛ حيثُ تُقاسُ إمكانات إنتاج الهيدروجين الأخضر بمَدى وفرة مَصادر الطاقة المُتجدّدة، وكذلك البنية التحتيَّة للإنتاجِ، والتخزين، والنقل، والتوزيع.

يُشيرُ مَركز البحوث البيئيَّة العَالمي The **C**enter for **G**lobal **E**nvironmental **R**esearch (**CGER**) إلى تَزايُد انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون **$CO_2$** بالمَملكةِ المغربيَّة، خِلال الفترة مِن **(٢٠٠٠ إلى ٢٠٢٢م)**؛ نظرًا لزيادةِ الطَّلب على الطاقةِ الكهربائيَّة، المُولَّدة مِن المَحطات الحراريَّة، التي تعملُ بالوقودِ الأحفوري، مِمَّا وَضعَ قِطاع الكَهرباء، بالمغربِ، ضِمن أَكثر القطاعات كثافةً في الانبعاثات الكربُونيَّة، ويُمْكِنُ تفسيرُ ذلك بالاعتمادِ الشديد على الفَحم في توليد الكهرباء، وهو أمر غير مُعتاد في مَنطقةِ الشرق الأوسط وشمال أفريقيا؛ بسببِ نقص الغاز الطبيعي بالمغرب، وإحجامها عن الاعتماد على واردات الغاز مِن البلدان المجاورة.

يَتضحُ مِن دِراسة **شكل (٩)** تركُّز الانبعاثات الكربونيَّة بأكثرِ مِن **٦ مليون طن** فوق المناطق الساحليَّة، والمناطق الوسطى بالمَملكةِ المغربيَّة؛ لِكوْنها أكثر المناطق في عَددِ السكان، وبالتالي زيادة الطَّلب على الطاقةِ الكهربائيَّة.




**المصدر: مِن إعداد الباحثين، اعتمادًا على البيانات الشبكيَّة Raster Data المُستخرجة مِن قاعدة بيانات انبعاثات الوقود الأحفوري ODIAC_2023 للمَملكةِ المغربيَّة، مَركز البحوث البيئيَّة العَالمي (CGER)**
**https://db.cger.nies.go.jp/dataset/ODIAC/DL_odiac2023.html**

**شكل (٩) انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون بالمملكةِ المغربيَّة (مليون طن)، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)**

## ثالثًا: مَعايير البيئة الطبيعيَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر بالمَملكة المَغربيَّة:

تَمتلكُ المَملكةُ المَغربيَّة العَديد مِن المقومات الطبيعيَّة، التي تُمَكِّنها مِن إنتاجِ الطاقة الكهربائيَّة مِن الهيدروجين الأخضر، الذي يُمْكِنُ استخدامه كَوقودٍ في خَلايا الوقود لتوليد الكهرباء؛ حيثُ تعملُ تلك الخلايا على تَحويلِ الطاقة الكيميائيَّة للهيدروجين إلى طَاقةٍ كَهربائيةٍ مُباشرةٍ، وتُعَدُّ هذه التقنية مِثاليَّة لتوليدِ الطاقة الكهربائيَّة، بفَعاليَّةٍ عَاليةٍ وبدون انبعاثات تَضُرُّ البيئة. كما تَمتلكُ المَملكةُ المَغربيَّة سِجلًا حَافلًا في مَجالِ الطاقة المُتجدّدة؛ بوفرةِ مَصادر طاقة الريَاح، والطاقة الشمسيَّة في مَواقع مُمَيَّزة بيئيًّا، والبنية التحتيَّة القَويَّة، والتوصيلات الكَهربائيَّة، بالإضافةِ إلى خَطِّ أنابيب ضَخ الغَاز إلى أوروبا.

ويُقَدِّرُ بَعض خُبَراء الطاقة مُعامل قُدْرة مُرتفع جِدًّا، يَصلُ لنحوِ ٧٠ **%** مِن **الريَاحِ**، في بَعضِ المَواقع المُثلى في شمالي المَغرب، ونحو **٢٥ – ٣٠ %** مِن **الطاقة الشمسيَّة الكهروضوئيَّة** في جنوبي المَغرب، مِمَّا يُساعدُ في إقامةِ مُنشآت لتحليةِ المِياه اللازمة للتحليلِ الكهربائي، وتُعَدُّ تحلية المياه أيضًا فُرصةً لاستفادةِ التجمُّعات العُمرانيَّة المَحليَّة في توفير مياه الشرب **(ماتيس، وآخرون، ترجمة: خليفات، ٢٠٢٠، ص١٧)**.

وبالرغمِ مِن كُلِّ هذا، تُعَدُّ المَغرب أَكْبَر مُستورد للطاقةِ في شمال أفريقيا؛ لذا يُعَدُّ الهيدروجين الأخضر فُرصةً قويَّةً للمَملكةِ المَغربيَّة للوصولِ إلى اقتصادٍ مُنخفض الكربون، وتوفير العَديد مِن الوظائف، بالإضافةِ إلى تَعزيزِ أمن الطاقة لديها، وخَفض فاتورة الاستيراد. وتختلفُ أولويَّات تلك المقومات في الدراسةِ حَسب تأثيرها على الظاهرة مَحل الدراسة، وتتمثَّلُ تلك المقومات **في النقاط الآتية:**

### ١) المَوقع الفلكي والجُغرافي:

**للموقعِ الفَلكي** أهميَّةٌ كُبْرى؛ فَعليه تتحدَّدُ الخَصائص الحَراريَّة لأي مَكَانٍ على سَطحِ الأرض، فهذا الموقع يُحَدِّدُ، بصفةٍ عَامّةٍ، مِقدار مَا يَستفيده المكان مِنْ أشعةِ

الشمس؛ نظرًا لأنَّ الموقع الفَلكي هو المسئول عَنْ تحديد الزاوية التي تسقُطُ بها أشعة الشمس على المكانِ، وبالتالي توزيع كميَّة الإشعاع الشمسي على مساحةٍ كَبيرةٍ أَوْ صغيرةٍ، وهو المسؤول أيضًا عَنْ تحديد طول الليل والنهار، وبالتالي عَنْ عَدَدِ سَاعَات سطوع الشمس على مَدارِ السنة **(عنبر، ٢٠١٥، ص٥٠)**.

تقعُ المَملكة المَغربيَّة بَين دَائرتي عَرض ٧٥ ´ ٢٧ ° و ٣٦ ° **شمالًا**، وبَين خَطي طول ١ ° و ١٥ ´ ١٣ ° **شرقًا (شكل ١٠)**، وهي بذلك تقعُ ضِمن **دول الحِزام الشمسي**(١)، التي تتميزُ بسطوعِ الشمسِ لفتراتٍ طويلةٍ، على مَدارِ العَام؛ مِمَّا يُتيحُ لها فُرصًا كبيرةً للاستثمارِ في مَجالِ تطبيقات الطاقةِ الشمسيَّة Solar Power.

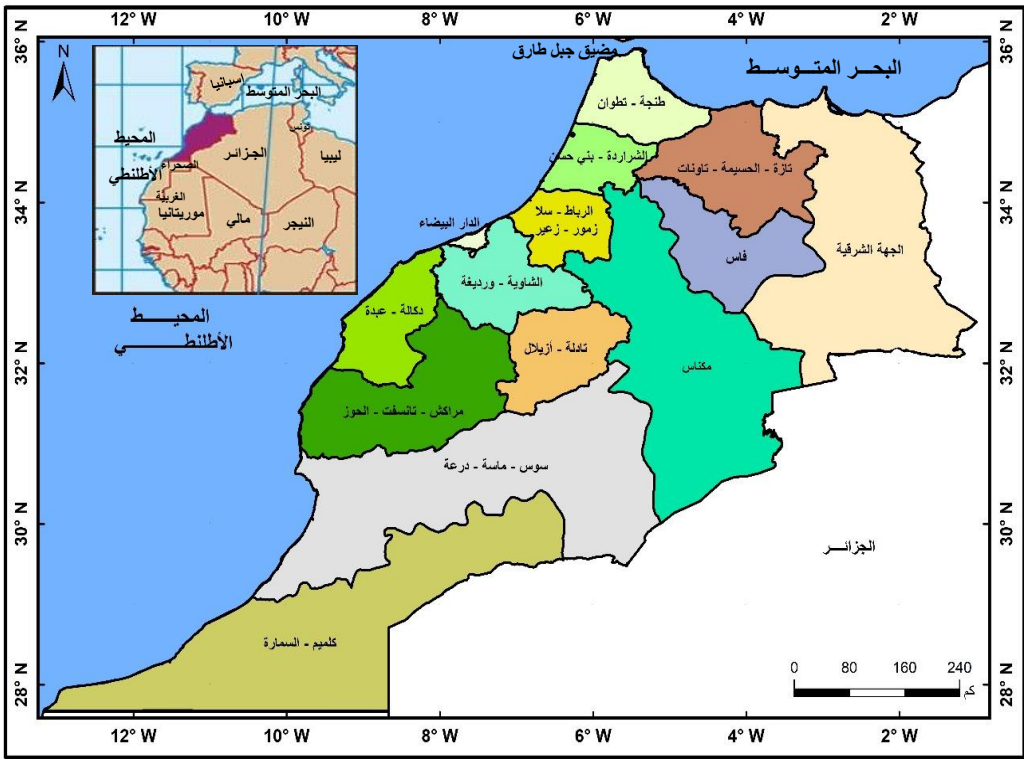
أمَّا جُغرافيًّا فيُعَدُّ **الموقع الجُغرافي** للمَملكةِ المَغربيَّة ذا أهميَّة استراتيجيَّة كبيرة؛ إذ يَقعُ المَغرب في شمال غرب قارة أفريقيا، على بُعد ١٥ كم فقط مِن القارة الأوروبيَّة. هذا القُرب سَاعَدَ المَغرب في تَعزيزِ سُبل الروابط التجاريَّة والاقتصاديَّة والسياسيَّة مع أوروبا، وجَعَل مِن المَغرب نُقطة وَصل وارتكاز بين القارتين. كما تَتمتَّعُ المَغرب بموقعٍ فَريدٍ على **مَضيق جبل طارق**، أحد أهم المَمرات المَائيَّة الحيويَّة في العَالَم.

كما أنَّ شَكل المَغرب، المُترامي طُوليًّا، جَعلها الدولة الأفريقيَّة الوحيدة التي لها سواحل على أهمِّ الجهات الساحليَّة في حَركةِ التجارة العَالميَّة، وهَما: **البحر المتوسط** الذي يَحِدُّها مِن الشمال، و**المُحيط الأطلنطي** الذي يَحِدُّها مِن الغرب، وذلك سَاعَدَ في سهولةِ الوصول، بَحرًا، بين أقصى النقاط المُتباعدة بين شمال شرق، وجنوب غرب المَملكة

---

**(١) دول الحزام الشمسي Sun Belt Countries: هي التي تقعُ بين دائرتي عرض ٣٠° شمالًا و ٣٠° جنوبًا، وتشملُ ٦٦ دولةً، يَعيشُ فيها نحو ٧٥ % مِن سُكَّان العَالم. وتتميَّزُ هذه الدول بعَدد سَاعات سطوع شمس فعلي Actual Sunshine يَتراوحُ بين ٩ إلى ١١ ساعة/يوم، بكميَّةِ إشعاع شمسي مُباشر Direct Normal Irradiation يَتراوحُ بين ٢٠٠٠ إلى ٣٠٠٠ كيلو وات/ متر٢/ سنة. تُمثِّلُ هذه الدول حِزامًا مِثاليًّا؛ لتحويلِ الطاقة الشمسيَّة إلى كهرباء، كما هو الحَال في مِصر والمَغرب، وغيرها مِن الدولِ التي تنتمي إلى الحِزام الشمسي العَالمي The Global Sun Belt، وهو ما يَعني توافر فُرص كبيرة للاستثمارِ في مَجال تقنيات الطاقة المُتجدّدة؛ نظرًا للظروفِ المُناخيَّة المُناسبة.**

المَغربيَّة. ويَطُلُّ المَغرب بواجهتِه الشماليَّة على كُلٍّ مِن **إسبانيا** و**البُرتغال**، ويَحدها **الجزائر** شرقًا، و**الصحراء الغَربيَّة** جنوبًا **(شكل ١٠)**.




**المصدر: أطالس أفريقيا، أطلس المغرب، ٢٠١٣م، ص٢٩.**

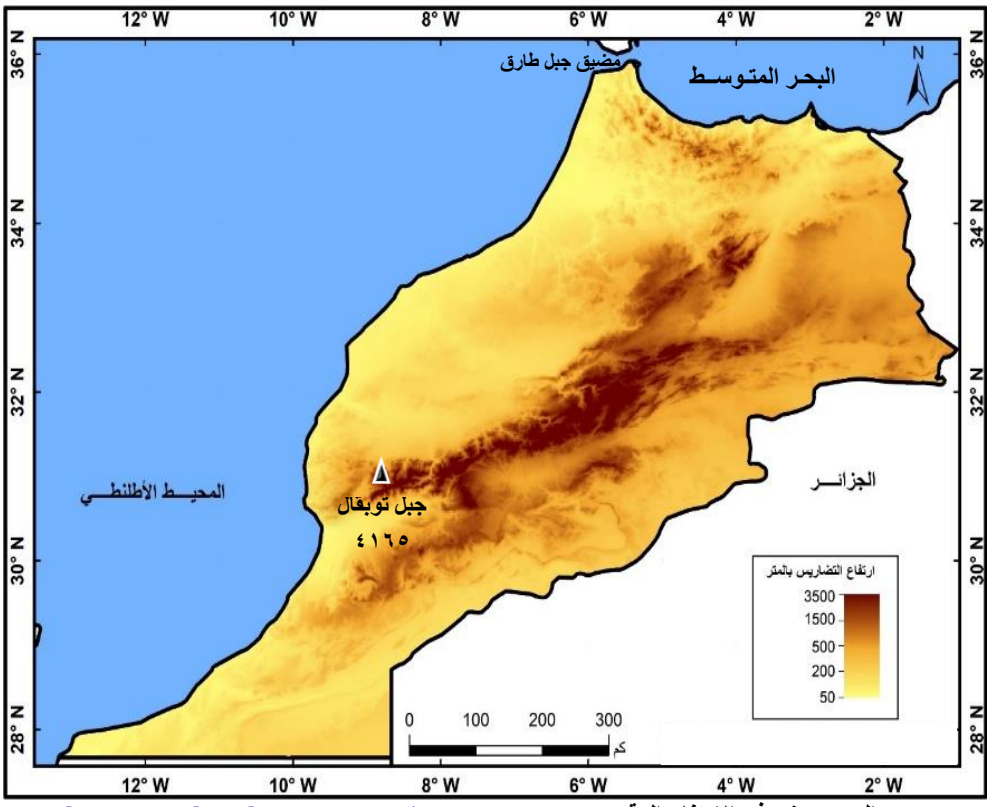
**شكل (١٠) موقع المَملكة المَغربيَّة، وتقسيمها الإداري**

وبذلك سَاعَدَ **الموقع الفَلكي والجُغرافي** للمَملكةِ المَغربيَّة، بصورةٍ كبيرةٍ، في إمكانيَّةِ الربط بين مَحطات الطاقة الشمسيَّة، وفي تحديد المواقع الأكثر مُلائمة لإنشاء مَحطات الكهرباء الشمسيَّة، وذلك حَسب المسافة مِن المناطق السكنيَّة، والمسافة مِن شَبَكة الطُّرق، وكذلك المسافة مِن الشبكة الكهربائيَّة. حيثُ إنَّ القُربَ مِن شَبَكة الطُّرق مُهم جدًّا لسهولةِ نَقل الوحدات والمُعِدَّات أثناء مرحلة تشييد المحطة، والقيام بأعمالِ الصيانة. كما يَجبُ

أن تكون محطات الطاقة الشمسيَّة قريبة بالقَدْرِ الكافي مِن المناطق السكنيَّة وشَبكة الطاقة الكهربائيَّة؛ لربطِ الكهرباء المُنتجة مع الشبكة، وكذلك مع مراكز العُمران.

**٢) <u>مظاهر السطح</u>:**

يُلاحظُ مِن تحليلِ **شكل (١١)** الذي يُوضِّحُ مَناسيب السطح بالمَملكةِ المَغربيَّة، مِن خِلال **نموذج الارتفاع الرقمي DEM**، أنَّ مَناسيبَ سطح الأرض بالمَملكةِ المَغربيَّة تتفاوتُ، بشكلٍ كبيرٍ، بين الجبالِ والهضابِ والسهولِ.



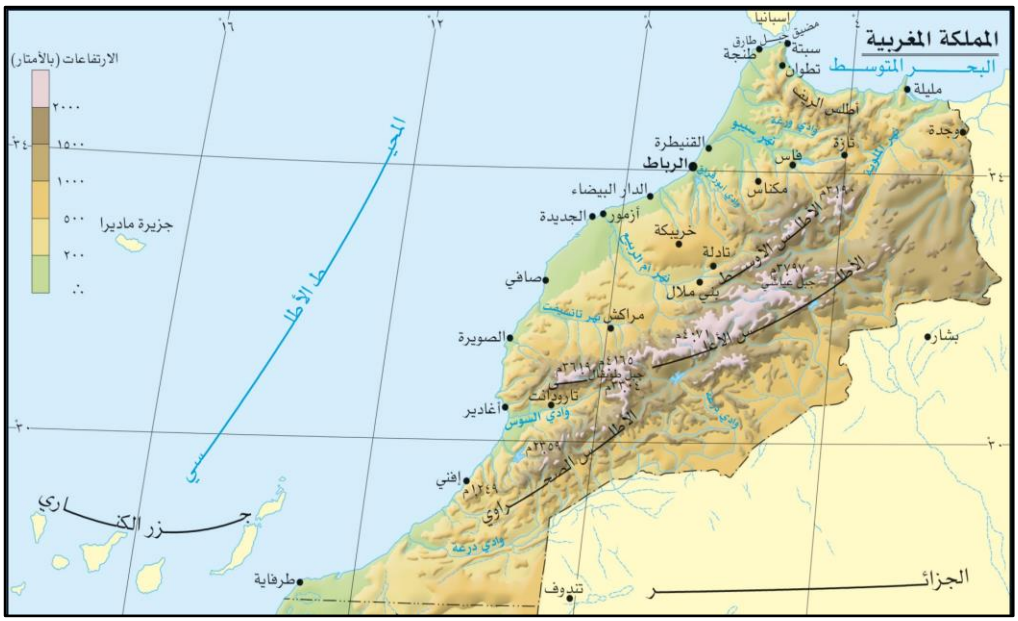

المصدر: نموذج الارتفاع الرقمي DEM https://earthexplorer.usgs.gov/

- **Entity ID: GMTED2010N10W030**
- **Acquisition Date: 2010-11-11**
- **Center Coordinates: 20N, 15W & 40N, 15W**

**شكل (١١) مَناسيب سطح الأرض بالمَملكةِ المَغربيَّة**

إنَّ أعلى نُقطة في المَغرب هي قِمَّة **جبل توبقال**، التي تزيدُ على **٤١٠٠ متر** فوق سطح البحر، والذي يَقعُ في جنوب غرب المَغرب، ويَنتمي إلى سِلْسِلَة **جبال الأطلس الكبير (شكل ١١)**، كما تَتميَّزُ المَناطق الساحليَّة والسهليَّة بمناسيبِ مُنخفضةٍ نِسبيًّا.

بينما أدنى نُقطة هي منطقة **سَبْخة طاح Sebkha-Tah**، وتقعُ في جنوب المَغرب، وتحديدًا في جهة العيون بوجدور الساقية الحمراء، بالقُربِ مِن مدينة طرفاية **(شكل ١٢)**، وتُعَدُّ هذه السبخة أدنى نُقطة في البلادِ؛ حيثُ تقعُ على عُمق **٥٥ مترًا** تحت مستوى سطح البحر، وتبلُغُ مِساحتها نحو **٢٥٠ كم²**.

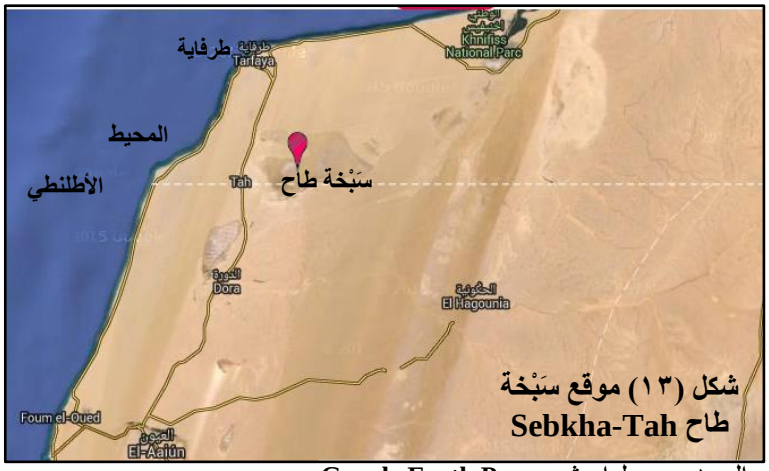



**المصدر: موقع خريطة المغرب ٣٦٠°** https://ar.moroccomap360.com/خريطة-جغرافيا-المغرب

**شكل (١٢) تضاريس المَملكة المَغربيَّة**

وقد استثمرت المَغرب هذه المقومات الطبوغرافيَّة في إقامةِ **مشروع سَبْخة طاح**، الذي تمَّ تخطيطه للجَمعِ بين إمكانات الرياح الشديدة في مَنطقةِ طرفاية **(شكل ١٣)**، والانخفاض الرأسي بين المَحيط الأطلنطي والسبخة؛ لإنتاجِ الطاقة الكهربائيَّة عند الطلب؛ حيثُ يَتمُّ تشغيلُ التوربينات الهيدروليكيَّة، جنبًا إلى جَنبٍ، مع توربينات الرياح.

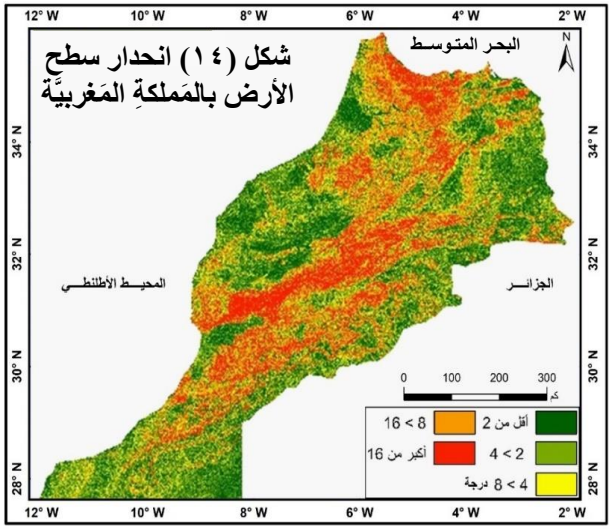
بشكلٍ عامٍ، يَتراوحُ مَنسوب سطح الأرض بالمَملكةِ المغربيَّة بين نحو **١٠٠ متر** إلى **٤٠٠٠ متر**. ويُلاحظُ سيطرة سِلْسلة جبال أطلس على وسَطِ المَملكة المَغربيَّة، بامتدادِ شمال شرقي – جنوب غربي. وتزدادُ مِساحة المَناطق الساحليَّة والسهليَّة في شمالي وجنوبي المَملكة المغربيَّة **(شكل ١٢)**، وهي كذلك أكثر مَناطق المَملكة في سُرعات الرياح وكميَّة الإشعاع الشمسي، وبالتالي هي أنسب المناطق مُلاءمةً لإنشاءِ مَحطات الطاقة المُتجدّدة بواسطةِ الشمس والرياح.




**شكل (١٣) موقع سَبْخة طاح Sebkha-Tah**

**المصدر: جوجل إيرث برو Google Earth Pro**

وبالنسبةِ **لانحدارِ سطح الأرض** بالمَملكةِ المَغربيَّة **(شكل ١٤)** تمَّ تطبيق أداة حِساب الانحدار Slope في بيئةِ برنامج ArcGIS Pro V.3.3 للحصولِ على سَطْحٍ شَبَكيٍّ، يُمثِّلُ انحدار سطح الأرض، اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي DEM، وقد تَبيَّنَ أن انحدار سطح الأرض يَتراوحُ بين **(صفر، و٣٢ درجة)**، بمُتوسطٍ يَبْلُغُ **٤ درجات**.




**شكل (١٤) انحدار سطح الأرض بالمَملكةِ المَغربيَّة**

**المصدر: نموذج الارتفاع الرقمي DEM https://earthexplorer.usgs.gov/**

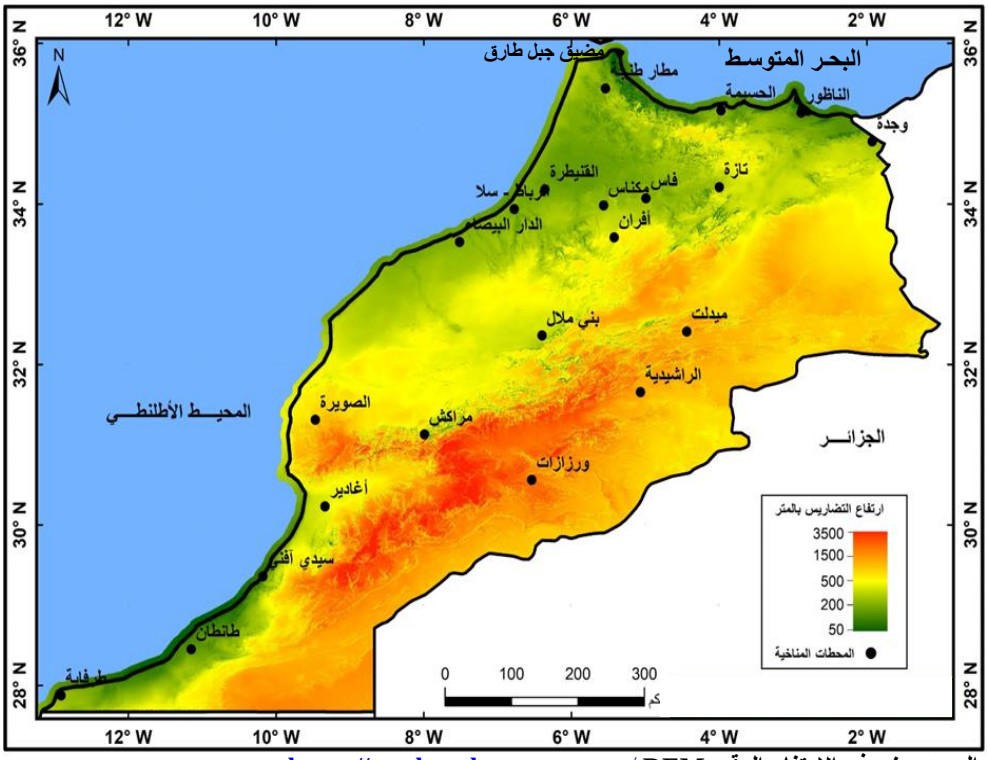
### ٣) خصائص المُناخ:

تتسمُ المَملكةُ المَغربيَّةُ بالتنوّعِ في الأقاليمِ المُناخيَّة؛ فنظرًا لاستواءِ السطح نِسبيًّا في شمالِ وغربِ المَغرب **(شكل ١٥)** أدَّى ذلك إلى تَأثُّر **شمالي** البلاد بالمُؤثِّرات البَحريَّة القَادِمة مِن البَحر المتوسط، وتأثُّر **غربي** البلاد بالمُؤثِّرات المُحيطيَّة القَادِمة مِن المُحيط الأطلنطي. وبالتالي فهذه أكثر مَناطق المَغرب اعتدالًا في درجات الحرارة، وأشدّها رياحًا، وأكثرها مطرًا؛ حيثُ تقلُّ كميَّة الأمطار الإعصاريَّة بالاتجاهِ نحو جنوبِ البلاد، وتزدادُ الأمطار التضاريسيَّة فوق المُرتفعات. وبسببِ امتداد سَلاسِل جبال أطلس في وَسطِ المَملكة، مِنَ الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي، حَالت دون وصول أيَّة مُؤثِّرات بَحريَّة أو مُحيطيَّة إلى الجنوبِ، وبالتالي سَادَ المُناخ القَاري الصحراوي في **شرقي ووسط وجنوبي** البلاد؛ حيثُ قِلّة كميَّات السُّحُب، وبالتالي زيادة عدد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة.

**جدول (٩) محطات الأرصاد الجويَّة، التي استندت عليها الدراسة**

| محطة الأرصاد | دائرة العرض | خط الطول | الارتفاع | محطة الأرصاد | دائرة العرض | خط الطول | الارتفاع |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مطار طنجة | ٣٥° ٤′ | ٥° ٥′ـ | ٢١٨,٢ | الراشيدية | ٣٣° ٥′ | ٥° ١′ـ | ٩١٠,٩ |
| الحسيمة | ٣٥° ٢′ | ٤° ٠′ـ | ٣١٥,٣ | ميدلت | ٣٢° ٤′ | ٤° ٤′ـ | ١٥٦٩,٢ |
| الناظور | ٣٥° ١′ | ٢° ٩′ـ | ٢٩١,١ | بني ملال | ٣٢° ٤′ | ٦° ٤′ـ | ٩٩٤,٦ |
| وجدة | ٣٤° ٨′ | ١° ٩′ـ | ٣٧٥,٠ | مراكش | ٣١° ٢′ | ٨° ٠′ـ | ٨٣٦,٩ |
| تازة | ٣٤° ٢′ | ٤° ٠′ـ | ٧٩١,٨ | الصويرة | ٣١° ٣′ | ٩° ٥′ـ | ٤٢٢,٦ |
| القنطرة | ٣٤° ٢′ | ٦° ٤′ـ | ٢٤٠,٨ | ورزازات | ٣٠° ٦′ | ٦° ٩′ـ | ١١٦٩,٣ |
| فاس | ٣٤° ١′ | ٥° ٠′ـ | ٣٨٧,٢ | أغادير | ٣٠° ٢′ | ٩° ٣′ـ | ٤٧٩,٠ |
| مكناس | ٣٤° ٠′ | ٥° ٦′ـ | ٢٩٨,٥ | سيدي آسفي | ٢٩° ٤′ | ١٠° ٢′ـ | ٣٣٣,٢ |
| الرباط ـ سلا | ٣٣° ٩′ | ٦° ٨′ـ | ١٦٢,٤ | طانطان | ٢٨° ٥′ | ١١° ٢′ـ | ٨٦,٤ |
| أفـــران | ٣٣° ٦′ | ٥° ٤′ـ | ٤٧٣,٥ | طرفاية | ٢٧° ٩′ | ١٢° ٩′ـ | ٢,٠ |
| الدار البيضاء | ٣٣° ٥′ | ٧° ٥′ـ | ١٥٢,٩ | | | | |

**المصدر: تم توقيع إحداثيَّات وارتفاع محطات الأرصاد الجويَّة، اعتمادًا على نموذج الارتفاع الرقمي DEM، باستخدام برنامج ArcGIS Pro V.3.3**




المصدر: نموذج الارتفاع الرقمي DEM https://earthexplorer.usgs.gov/

https://solargis.com/

**شكل (١٥) مواقع محطات الأرصاد الجويَّة، التي استندت عليها الدراسة**

يَرتبطُ إنتاج الهيدروجين الأخضر بمَدى إمكانيَّة وفرة مَصادر الطاقة المُتجدّدة، والأخيرة ترتبطُ ارتباطًا وثيقًا بالمُناخِ. فَثمَّةَ دَورةٌ ديناميكيَّةٌ للعناصرِ المُناخيَّةِ؛ حيثُ إنَّ جميعَ العناصر المُناخيَّة تُؤثّرُ في بعضِها البَعض؛ فَقِلَّة كميَّة السُّحُب تُؤدِّي إلى زيادةِ عَدد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة Actual Sunshine، وبالتالي تَزيدُ كميَّة الإشعاع الشمسي، مِمَّا يُساعدُ في إمكانيَّةِ إنتاج الطاقة الكهربائيَّة عن طريق مَحطات الطاقة الشمسيَّة. كما أنَّ التبايُنَ في دَرجات الحَرارة، يُؤدِّي إلى اختلافِ توزيعات الضغط الجوّي، التي تَعملُ على زيادةِ سُرعة الريَاح السطحيَّة، مِمَّا يُساعدُ في تشغيل تُوربينات الرياح؛ لتوليد الطاقة الكهربائيَّة.

الشمسُ هي المَصدر الرئيس للطاقةِ والحياةِ على سطحِ الأرضِ، وهذه الطاقة هي المسئولة الأولى عن جميع الظَّواهر المُناخيَّة في الغُلافِ الجوّي؛ حيثُ يُمَثِّلُ الإشعاع الشمسي الوَارد مِنَ الشمسِ Solar Radiation إلى جوِّ الأرض وسطحها الطاقة المُحَرِّكة للعمليَّاتِ الجَويَّةِ كافةً **(عنبر، ٢٠١٠، ص٨٤)**.

بالرغمِ مِن الأهميَّةِ القُصوى لدرجاتِ الحَرارة، فَليس لها تأثيرٌ مُباشرٌ في توليدِ الطاقة الكهربائيَّة؛ حيثُ تتركَّزُ طاقة الإشعاع الشمسي بواسطةِ الألواح والخلايا الشمسيَّة، وتُنتِجُ الحَرارة التي يَتمُّ تجميعها، ثُمَّ تحويلها إلى طاقةٍ كهربائيَّةٍ عن طريق المُولِّدات. وثمَّةَ طريقةٌ مُباشرةٌ للحصولِ على الطاقةِ الكهربائيَّة؛ حيثُ تقومُ المَرايا الشمسيَّة، المُغَطَّاة بالسيليكون، بتحويلِ الإشعاع الشمسي المُباشر لِطاقةٍ كهربائيَّةٍ، يَتمُّ تخزينها في بطاريَّات أو توزيعها، مُباشرةً، على شَبكةِ الربط الكهربائي **(Ademola, 2020, P.814)**.

تَتسمُ **الجهات الساحليَّة المَغربيَّة**، بالاعتدالِ في مُتوسطِ دَرجة الحَرارة **(مُلْحَق ١)**، سواءٌ الجهات الواقعة على ساحلِ **البَحر المتوسط (الحسيمة ١٦,٣°س)** أو على ساحلِ **المُحيط الأطلنطي (سيدي آسفي ٢١,٣°س)**؛ نظرًا **للتأثيرات البَحريَّة**، وتدخلُ في نظامِ **مُناخ إقليم البَحر المُتوسط**، وهي أيضًا ذات كثافة سُكَّانيَّة مُرتفعة.

وبالاتجاهِ **جنوبًا**، يَسودُ **المُناخ القاري**؛ حيثُ سيادة **المُؤثِّرات الصحراويَّة**، ويَتضحُ التبايُن في درجاتِ الحرارة، بين الشتاءِ والصيف، ففي **محطة ورزازات** بَلَغَ متوسط درجة الحرارة في **فصل الشتاء ١٢°س**، وفي **فصل الصيف** بَلَغَ **٣٤,٧°س**، أي **بمَدى حَراري فصلي** بَلَغَ **٢٢,٧°س**. بينما في وسَطِ المَملكة المَغربيَّة يَلْعَبُ عامل الارتفاع دورًا رئيسًا في انخفاضِ درجات الحرارة **(مُلْحَق ١)**.

وفي هذه الدراسة سَيَتمُّ التركيزُ على العَناصر المُناخيَّة ذات التأثير المُباشر في عَمليَّة إنتاج الطاقة الكهربائيَّة المُستدامة، وسوف يَتمُّ ترتيبُ هذه العناصر حَسب تأثيرها على الظاهرةِ مَحلّ الدراسة، **كما يلي:**

**جدول (١٠) المُعَدَّلات السنويَّة لبعض العَناصر المُناخيَّة في المَملكةِ المَغربيَّة، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)**

| محطة الأرصاد | السُّحُب (%) | السطوع الفِعلي (ساعة/يوم) | الإشعاع الشمسي (كيلو وات/ساعة) | سُرعة الرياح (متر/ ثانية) | محطة الأرصاد | السُّحُب (%) | السطوع الفِعلي (ساعة/يوم) | الإشعاع الشمسي (كيلو وات/ساعة) | سُرعة الرياح (متر/ ثانية) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مطار طنجة | ٤١,٢ | ٩,٨ | ١٨,٣ | ٤,٦ | الراشيدية | ٣٣,٨ | ٩,٨ | ٢٠,٨ | ٣,٨ |
| الحسيمة | ٤٠,١ | ٩,٩ | ١٨,٥ | ٤,٤ | ميدلت | ٣٧,٦ | ١٠,٤ | ٢١,٩ | ٤,١ |
| الناظور | ٣٨,٣ | ٩,١ | ١٨,٠ | ٤,٢ | بني ملال | ٣٥,١ | ٩,٦ | ١٩,٣ | ٤,٢ |
| وجدة | ٤١,٨ | ٩,٨ | ١٨,٧ | ٤,١ | مراكش | ٣٢,٦ | ٩,٢ | ٢٠,٢ | ٤,١ |
| تازة | ٣٩,٣ | ١٠,١ | ٢٠,٥ | ٤,٦ | الصويرة | ٣٧,١ | ٩,٠ | ٢٠,١ | ٤,٣ |
| القنطرة | ٥٢,٩ | ٩,٨ | ١٩,٧ | ٤,١ | ورزازات | ٣٠,٦ | ١٠,٦ | ٢٢,٠ | ٣,٨ |
| فاس | ٣٦,٦ | ٩,٧ | ١٩,٦ | ٤,٢ | أغادير | ٣٦,٧ | ٩,١ | ٢١,٣ | ٤,٣ |
| مكناس | ٣٨,٩ | ٩,٩ | ١٩,٨ | ٤,٣ | سيدي آسفي | ٤٧,٦ | ٩,٣ | ٢١,٦ | ٤,٥ |
| الرباط - سلا | ٤٨,٦ | ٩,٧ | ١٩,٧ | ٤,٣ | طانطان | ٦٠,١ | ٩,٥ | ٢١,٧ | ٥,١ |
| أفران | ٣٧,٢ | ٩,٤ | ١٩,٥ | ٤,٣ | طرفاية | ٣٤,٧ | ٩,٥ | ٢١,٨ | ٤,٨ |
| الدار البيضاء | ٤٣,٥ | ٩,٩ | ١٩,٩ | ٤,٦ | المتوسط | ٤٠,٢ | ٩,٧ | ٢٠,٤ | ٤,٣ |

المصادر: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/morocco

https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=morocco

Solar Resource Atlas of Morocco

## (أ) السُّحُب:

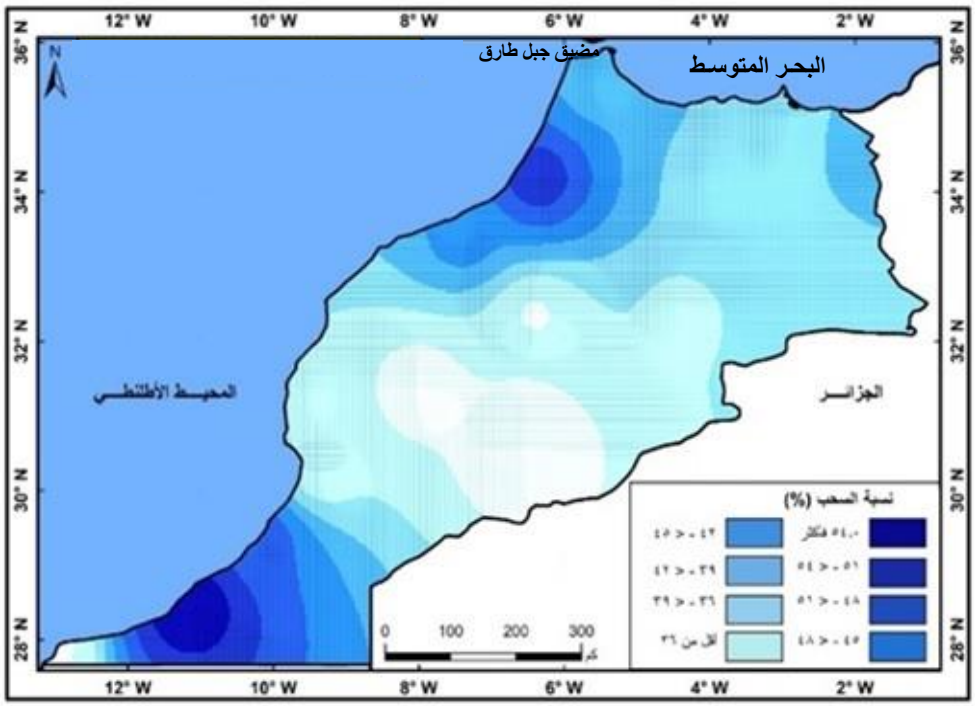
تَتشكَّلُ السُّحُبُ عندما يَتكاثفُ بُخارُ المَاء في الهواءِ، الذي يَرتفعُ لأعلى تحت تأثير أَحد **العَوامل الطبيعيَّة**، كالجَبهاتِ التي تفصلُ بين الكُتلِ الهوائيَّةِ، مُختلفة المَصدر، المُصاحبة للمُنخفضاتِ الجويَّة **(الرفع الجَبهي)**، أو عند حدوثِ تيَّارات حَراريَّة تصاعديَّة؛ نتيجة التسخين الشديد لسطحِ الأرض، فترتفع دَرَجَة حَرارة الهَواء المُلامِس لسطحِ الأرض **(الرفع التصاعدي)** أو تحت تأثير التضاريس الأرضيَّة **(الرفع التضاريسي)**. فأثناء صعود الهواء المُشبَّع بالرطوبةِ تنخفضُ دَرَجَة حَرارته، مِمَّا يُؤدِّي إلى انخفاضِ مَقدرة الهَواء على حَمْلِ بُخار الماء، ويَضطرُّه إلى التخلُّصِ مِن بُخارِ الماءِ الزائد بالتكاثفِ **(طلبة، ١٩٩٠، ص٢٩)، وكُل هذه العَوامل الطبيعيَّة موجودة في المَملكةِ المَغربيَّة.**

للسُّحُبِ دَورٌ كَبيرٌ في تنظيمِ دخول الإشعاع الشمسي Solar Radiation الواصل إلى سَطحِ الأرض، وخروج الإشعاع الحَراري الأرضي Terrestrial Radiation إلى طبقاتِ الجَوّ العُليَا، فهي إحدى الوسائل التي تَعملُ على الحَفاظِ على دَرَجة حَرارة الجَوّ مُنتظمة. للسُّحُبِ أهميَّتها في توزيع الإشعاع الشمسي؛ إذ إنها تَمتصُّ وتَعكسُ نحو **٢٣ %** مِن كِميَّة الإشعاع الشمسي المُتجهة إلى سَطحِ الأرض **(عنبر، ٢٠١٠، ص٢١٤)**. وبالتالي للسُّحُبِ تأثيرٌ، لا يُمكِن إغفاله، في إنتاج الهيدروجين الأخضر؛ بمَا تَعكسَه مِن كِميَّة إشعاع الشمسي، الذي هو أَحد أَهمّ ضَروريَّات إنتاج الطاقة الكهربائيَّة النظيفة. فبزيادةِ كِميَّة السُّحُب "**التغييم**"[(١)] تَنخفضُ كِميَّة الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطحِ الأرض، والعَكس صحيح (علاقة عكسيَّة قويَّة).

مِن خِلال دِراسة **جدول (١٠)**، وقِراءة **شكل (١٦)** يَتضحُ زيادة الغِطاءات السَّحابيَّة على الجهات الساحليَّة المَغربيَّة؛ حيثُ تصلُ نِسبة السُّحُب في **محطتي القنطرة وطانطان**، الواقعتان على **المُحيط الأطلنطي**، إلى نحوِ **٥٣ % و٦٠ %** أي **أكثر مِن** $\frac{4}{8}$ ، وتبلُغُ نحو **٤٢ %** أي **أكثر مِن** $\frac{3}{8}$ في **محطة وجدة**، الواقعة على **البَحر المُتوسط**. بينما في **وسط وجنوب** المَملكة المَغربيَّة تنخفضُ نِسبة التغييم **إلى نحو** $\frac{3}{8}$ ؛ حيثُ بَلَغت نِسبة السُّحُب في **مراكش ٣٢,٦ %**، و**بني ملال ٣٥,١ %**، و **ورزازات ٣٠,٦ %**، وفي **الراشيدية ٣٣,٨ %**؛ ويُعزى ذلك إلى وقوع هذه المحطات بين المُناخ المَداري الحَار في الوسط، والمُناخ الصحراوي الجَاف في الجنوب، حيثُ صفاء السماء في أغلبِ شهور السنة؛ نظرًا

**(١) يُقاسُ مَدى تغطية السماء بالسُّحُب "نسبة التغييم" (مُقَدَّرةً بالأثمان Oktas)، مِن خِلالِ تقسيم القُبَّة السَّماويَّة إلى ثمانيةِ أقسام، على سبيل أنَّ (٨/١ = ١٢,٥٪). والتغييم Cloudiness: مقدار مَا تحجبه السُّحُب مِن مساحة السماء بصرفِ النظر عن نوع السُّحُب، وتُحسب درجة تغطية السماء بالسُّحُب اعتمادًا على المُلاحظة والتقدير الشخصي للراصد. فإذا انخفض مقدار مَا تحجبه السُّحُب مِنَ السماءِ عن (٨/٢ أي ٢٥٪) فتعتبر السماء "صافية"، وإذا تراوح المُعَدَّل بين (٨/٢ ـ ٨/٦ أي ٢٥ ـ ٧٥٪) تعتبر السماء "متوسطة التغييم"، أمَّا إذا زاد مقدار ما تحجبه السحب مِنَ السماءِ على (٨/٦ أي ٧٥٪) تكونُ السماءُ حينئذٍ "مُلبَّدة بالغيومِ" (عنبر، ٢٠١٠، ص٢١٤).**

لِقلَّةِ بُخار المَاء. وهذا يَعني وصول كمِيَّات أَكْبَر مِن الإشعاعِ الشمسي على **وسط وجنوب** المَملكة المَغربيَّة أكثر مِن الجهات الشماليَّة الساحليَّة، المُتأثِّرة بالمُؤثِّرات البَحريَّة والمُحيطيَّة، وبالتالي فهي أكثر المناطق مُلائمةً لإنتاجِ الطاقة الكهربائيَّة المُستدامة بواسطةِ الإشعاع الشمسي؛ لاستخدامِها في إنتاج الهيدروجين الأخضر.




المصدر: جدول (١٠)

**شكل (١٦) المُعَدَّل السنوي لِنسبةِ السُّحُب (%) بالمَملكةِ المَغربيَّة، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)**

**(ب) <u>الإشعاع الشمسي</u>:**

تَختلفُ كمِيَّة الإشعاع الشمسي الواصل إلى سطحِ الأرض، مَكانيًّا وزمانيًّا، تبعًا لتأثُّرِه بمجموعةٍ مِن العَوامل، **أهمُّها**: الموقع الفلكي؛ إذ مِنَ الطبيعي أن تنالَ الأماكن ذات دائرة العَرض الواحدة مِقدارًا مُتساويًا مِن الإشعاعِ الشمسي، ولكن ذلك يَتوقفُ على بَعض مَعايير البيئة المَحليَّة، كنوعِ السطح الذي يُؤثِّرُ في مُعدَّلات انعكاس الألبيدو

Albedo[(١)]، ومُدَّة سطوع الشمس Sunshine Duration، وكميَّة السُّحُب، ومَدى شفافيَّة الغُلاف الجَوي Atmospheric Transparency مِنَ الغُبارِ المُتصاعد والمُعَلَّق فَوق المكان، وغيرها مِنَ الظَّواهرِ الجَويَّةِ التي تعملُ على التقليلِ مِن الأشعةِ الشمسيَّةِ، أو حَجبها لبضعةِ أيَّامٍ مِنْ شهورِ السنةِ **(عنبر، ٢٠١٠، ص٨٤)**.

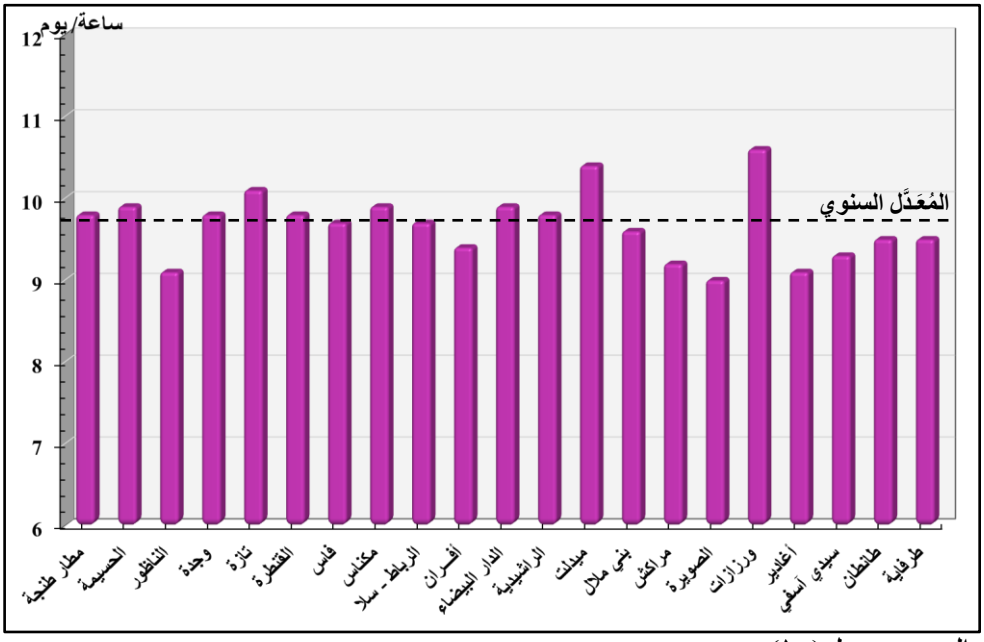
يَنقسمُ سطوع الشمس **إلى: سطوع فِعلي Actual Sunshine** وهو: الأوقات التي يَظهَرُ فيها قُرص الشمس بازغًا في السماءِ، دون أن يَحجبَه عائق كالسُّحُبِ أو الأتربةِ. و**سطوع نظري (مُمكن) Possible Sunshine** وهو: طول النهار، الذي يَبدأُ مع شروقِ الشمس ويَنتهي عند غروبها، بغضّ النظر عن ظُهُورِ قُرص الشمس أو احتجابه، أي هو (الفترة المحصورة بين شروق الشمس وغروبها) **(عنبر، ٢٠١٠، ص٨٥)**.

سَيَتمُّ دِراسة **مُدَّة سطوع الشمس الفِعليَّة**؛ إذ إنها تَتحَكَّمُ في كَمِيَّةِ الإشعاع الشمسي المُباشر، الواصل إلى سطحِ المَملكة المَغربيَّة، وبالتالي إمكانيَّة إنتاج الطاقة الكهربائيَّة النظيفة، التي يُمْكِنُ استخدامها في عمليَّةِ إنتاج الهيدروجين الأخضر.

ثمَّة **عَلاقة ارتباط طَردي قوي** بين **عدد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة وكَمِيَّة الإشعاع الشمسي**. يَتضحُ مِن دِراسة **جدول (١٠)**، و**قِراءة الشكلين (١٧ و ١٨) زيادة عدد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة**، وبالتالي **كَمِيَّة الإشعاع الشمسي** في المناطقِ **الجنوبيَّة والوسطى** بالمَغربِ، التي يَزيدُ فيها السطوع الفِعلي على **١٠,٠ ساعة/ يوم**، وكَمِيَّة إشعاع شمسي **(٢٠,٥ و ٢١,٩ و ٢٢,٠ كيلو وات/ ساعة)** في **محطات (تازة و ميدلت و ورزازات)** على التوالي. وأقل المناطق استقبالًا لإشعاع الشمسي، هي المناطق الساحليَّة، شمال وغرب المَملكة المَغربيَّة، نظرًا لارتفاعِ مُعدَّلات التغييم Cloudiness بها، وبالتالي ضَعْف إمكانات إنتاج الكهرباء المُستخرجة مِن الطاقةِ الشمسيَّةِ.

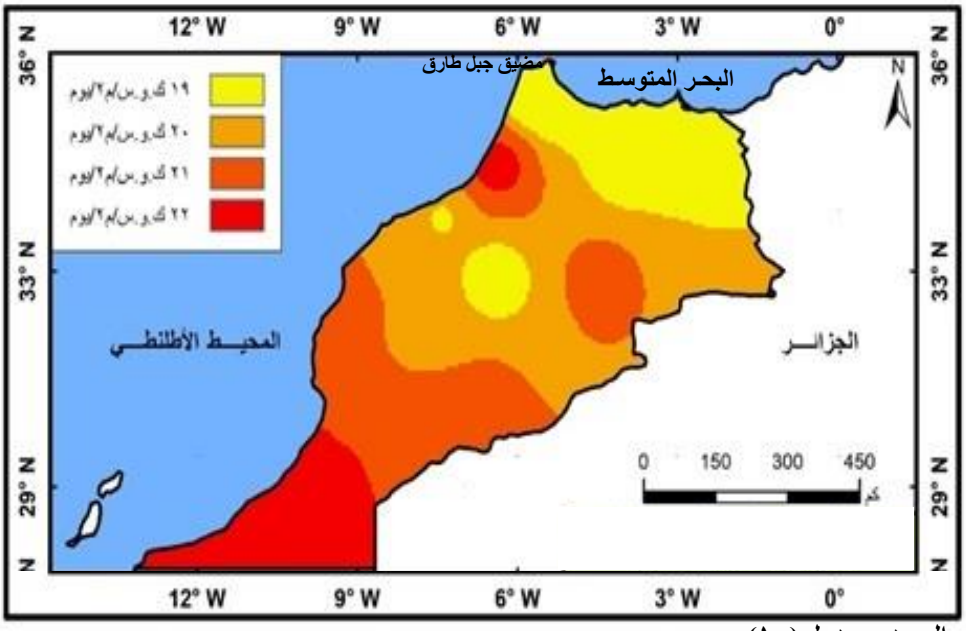
---

**(١) نسبة الألبيدو Albedo** = $\frac{\text{مِقدار الأشعة المُنعكسة مِن سطح مَا}}{\text{مِقدار الأشعة الواصلة إلى السطح نفسه}} \times ١٠٠$




المصدر: جدول (١٠)

**شكل (١٧) المُعَدَّل السنوي لعَدد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة (ساعة/ يوم) بالمَملكةِ المَغربيَّة، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)**




المصدر: جدول (١٠)

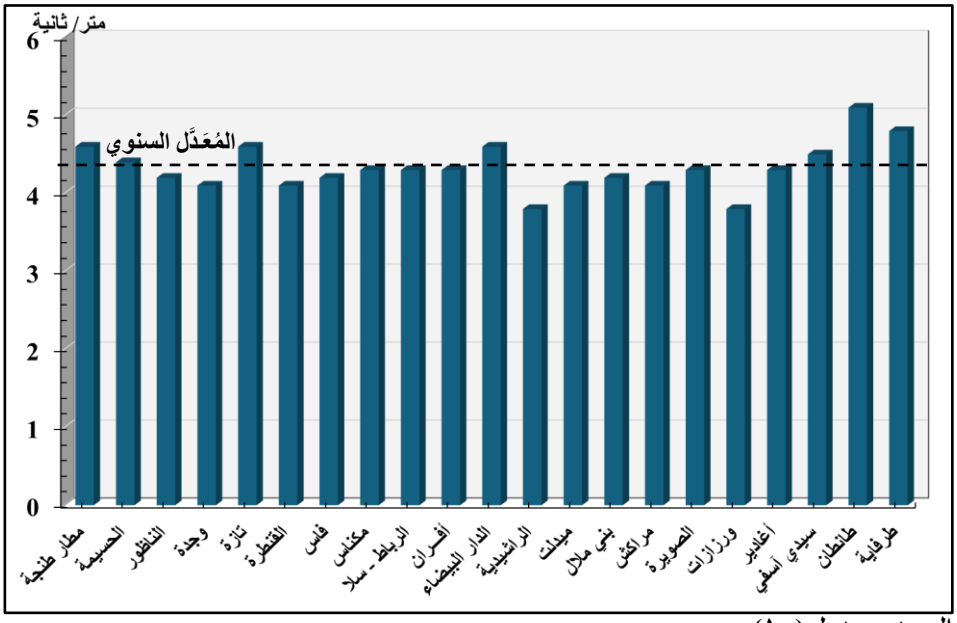
**شكل (١٨) المُعَدَّل السنوي للإشعاع الشمسي (كيلو وات ساعة/ متر٢/ يوم) بالمَملكةِ المَغربيَّة، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)**

جَديرٌ بالذِّكرِ أن إنتاج المَملكة المَغربيَّة للكهرباءِ مِن الطاقةِ الشمسيَّة أقل مِن إمكاناتها الفِعليَّة، عدا المَناطق الجنوبيَّة، بما تَتمتَّعُ المَغربُ به مِن زيادةِ عَدد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة، التي تَصلُ **لـ٩,٧ ساعة/ يوم**، وكذلك زيادة كِميَّات الإشعاع الشمسي، الذي يَصلُ **لـ٢٠,٤ كيلو وات/ ساعة**، وذلك **كمتوسطٍ عَامٍ خِلال فترة الدراسة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)**؛ حيثُ إنَّ ارتفاع مُعَدَّلات كِميَّة السُّحُب في المَناطقِ الشماليَّة أثَّرَ على إمكانات إنتاج الكهرباء المُنتجة مِن الطاقةِ الشمسيَّة، بشكلٍ عامٍ.

**(د) سُرعة الرياح:**

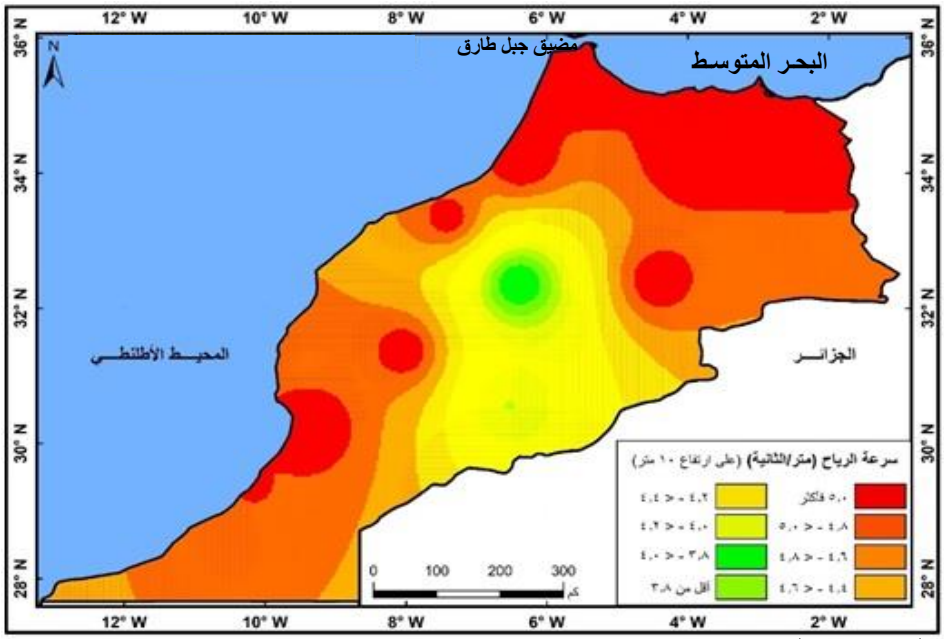
السبب الرئيس في هُبوبِ الرياح هو الاختلافات في التوزيعات الضغطيَّة مِن مَكانٍ لآخرٍ، وكُلَّما كان انحدار الضغط جَوّي pressure Gradient شَديدًا كانت الرياح أسرع وأقوى. كذلك تُؤثِّرُ عوائق السطح في سُرعةِ واتجاه الرياح؛ إذ إنَّ الاحتكاكَ بسطحِ الأرض الخَشن يُقلّلُ مِن سُرعةِ الرياح، ويُساعدُ على تغييرِ اتجاهها. وبالتالي تزدادُ سُرعة الرياح بالارتفاعِ عَن سطحِ الأرض؛ نظرًا لتناقصِ خُشونته. وتَستمرُّ سُرعة الرياح في الزيادةِ حتى ارتفاع ٤ كم تقريبًا؛ حيثُ يَتلاشى نِهائيًّا أي تأثير لعَاملِ الاحتكاك Friction. وتزيدُ خُشونة سطح الأرض (باستثناءِ المَناطق المُغطَّاة بالكُثبانِ الرمليَّة أو الجَليد) على خشونةِ المُسطَّحات المائيَّة بخمسةِ أضعافٍ، مِمَّا يَجعلُ الرياح فَوق المُسطَّحاتِ المائيَّة أسرع مِنها فَوق اليابسِ وأشدّ انحرافًا إلى يَمينِ اتجاهها (في نِصف الكُرة الشمالي)، ولنفسِ السبب الرياح فَوق المناطقِ السهليَّةِ المُنبسطةِ أسرع مِنها فَوق المَناطقِ الجَبليَّةِ الوَعِرةِ، وسُرعة الرياح في المُدنِ الكَبيرة أقل مِنها في المناطقِ الريفيَّةِ المَفتوحةِ **(عنبر، ٢٠١٠، ص ص١٤٦-١٤٧)**.

يَتضحُ مِن دِراسةِ **جدول (١٠)**، و**قِراءة الشكلين (١٩ و ٢٠)** أن **المُعدَّلَ السنوي لسُرعةِ الرِيَاح السطحيَّة**، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)، يَبلُغُ **٤,٣ متر/ ثانية**.




المصدر: جدول (١٠)

**شكل (١٩) المُعَدَّل السنوي لسُرعةِ الريَاح السطحيَّة (متر/ ثانية) بالمَملكةِ المَغربيَّة، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)**




المصدر: جدول (١٠)

**شكل (٢٠) المُعَدَّل السنوي لسُرعةِ الريَاح السطحيَّة (متر/ ثانية) بالمَملكةِ المَغربيَّة، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)**

تزدادُ سُرعة الرياح السطحيَّة على المَناطقِ الساحليَّة، التي تُعَدُّ نوافذَ مَفتوحةً أمام حَركةِ الرياح، سَواءٌ على البَحرِ المُتوسط شمالًا أو على المُحيطِ الأطلنطي غربًا؛ نَظرًا لوقوعِ المَملكة المَغربيَّة في مَركزِ الضغط المُرتفع دون المَداري، المُتمركز حَول دائرة عرض ٣٠° شمالًا، وهو النطاق الذي تَخرجُ مِنه الرياح التجاريَّة الشماليَّة. فَضلًا على السطحِ السهلي، وقِلَّة عَوائق السطح **(شكل ١٥)**؛ مِمَّا سَاعَدَ على زيادةِ سُرعة الرياح السطحيَّة، التي وصَلت **(٥,١ و ٤,٨ متر/ ثانية)** في مَحطتي **طانطان و طرفاية** (على المُحيطِ الأطلنطي) بالترتيبِ. وبَلَغت **٤,٦ متر/ ثانية** في مَحطةِ **مطار طنجة** (على البَحرِ المُتوسط). هذا بجانبِ مَا يَنشأُ مِن تبايُناتٍ ضَغطيَّةٍ، بين سَطحي البَحر واليَابس، تُزيدُ مِن شِدَّة الانحدار الضغطي، فتزيد مِن سُرعةِ الرياح في المَناطقِ الساحليَّة أكثر مِن المَناطق الداخليَّة، والأولى هي المناطق الأكثر مُلائمةً، لإنتاجِ الكهرباء مِن طاقةِ الرياح.

تُغيِّرُ الرياحُ سُرعتها واتجاهها، مِن سَاعةٍ إلى سَاعةٍ، أثناء اليوم الواحد، كَما أنَّ حَركةَ تيَّار الهَواء لا تتجه في خَطٍ مُستقيمٍ تمامًا، بَل في خَطٍّ مُتعرِّجٍ، تبعًا لِخشونةِ سطح الأرض **(عنبر، ٢٠١٠، ص١٤٧)**. وذلك يُساعَدُ في حَركة تُوربينات الرياح؛ لتوليدِ الطاقة الكهربائيَّة النظيفة، المُستخدمة في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر.

تنخفضُ سُرعة الرياح السطحيَّة في وَسطِ وجنوبِ المَملكة المَغربيَّة؛ نظرًا لِتضرُّسِ سطح الأرض **(شكل ١٥)**، وضَعف تأثير المُنخفضات الجَويَّة العَرضيَّة، بالاتجاهِ جنوبًا، والتي تتحَركُ مِن الغربِ إلى الشرقِ، على طُولِ سواحل المُحيط الأطلنطي والبَحر المُتوسط. ولذا أقل سُرعة رياح كانت **٣,٨ متر/ ثانية** في مَحطتي **ورزازات و الراشيدية**.

**يُستخلصُ مِن ذلك أن** المَناطقَ الساحليَّة الشماليَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة، هي الأكثر مُلاءمةً لإنتاجِ الطاقة الكهربائيَّة بواسطةِ الرياح؛ نظرًا لزيادةِ سُرعة الرياح، بينما المُناطق الجنوبيَّة والوسطى، هي الأكثر مُلاءمةً لإنتاجِ الطاقة الكهربائيَّة بواسطةِ الطاقة الشمسيَّة؛

نظرًا لِقلَّةِ نِسبة التغييم، وزيادة كَميَّة الإشعاع الشمسي، وبالتالي زيادة عدد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة.

**٤) مَوارد المِياه:**

تَمتلكُ المَملكةُ المَغربيَّةُ مَواردًا مَائيَّةً[١] قُدِّرَت بحوالي **٢٩ مليار م**$^{٣}$، عام **٢٠١٠م**، مِنها نحو **٢٣ مليار م**$^{٣}$ **مِياه سَطحيَّة** أي نحوِ **٨٠ %** مِن إجمالي المَوارد المَائيَّة بالمَغرب، ومِياه جَوفيَّة بنحوِ **٦ مليار م**$^{٣}$، موزعة بشكلٍ جيدٍ في جميعِ أنحاء المَغرب، قابل للاستغلالِ مِنها فقط حوالي **٤٠٠٠ مليون م**$^{٣}$**/ سنة (Ahmed & et al., 2021, P.5)**.

يَتبَيَّنُ مِن دِراسة **جدول (١١)** تناقُص المَوارد المَائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّةِ، في عَام **٢٠٢٠م**، إلى نحوِ **١٣ مليار م**$^{٣}$ بنسبةِ **٤٥ %**.

**جدول (١١) المَوارد المَائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّةِ، في الأحواضِ الكُبْرى (مليون متر**$^{٣}$**)، خِلال عام ٢٠٢٠**

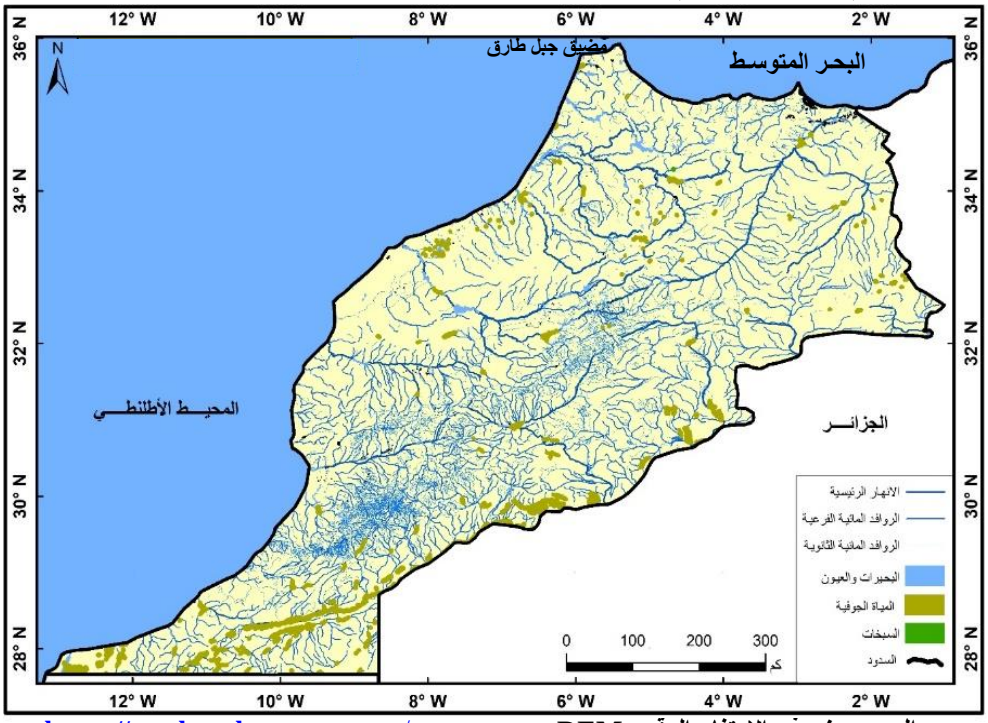
| الأحواض المَائيَّة | مِياه سَطحيَّة | % | مِياه جَوفيَّة | % | المَجموع | % |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اللوكس والمنطقة الطنجيَّة والساحليَّة | ٨٥٠ | ٨,٢ | ٣٥٠ | ١٤,٣ | ١٢٠٠ | ٩,٤ |
| حوض ملوية | ٩٣٠ | ٨,٩ | ٥٠٠ | ٢٠,٤ | ١٤٣٠ | ١١,٢ |
| حوض سيبو | ٣٩٩٠ | ٣٨,٣ | ٥٩٠ | ٢٤,١ | ٤٥٠٥ | ٣٥,٢ |
| أبي رقراق والساحل الأطلنطي | ٤٤٥ | ٤,٣ | ٧٠ | ٢,٩ | ٥١٥ | ٤,٠ |
| حوض أم الربيع | ٣٧٩٠ | ٣٦,٤ | ٣٠٠ | ١٢,٢ | ٤٠٩٠ | ٣٢,٠ |
| حوض سوس ماسة | ٤١٠ | ٣,٩ | ٦٤٠ | ٢٦,١ | ١٠٥٠ | ٨,٢ |
| المجموع | ١٠٤١٥ | ١٠٠ | ٢٤٥٠ | ١٠٠ | ١٢٧٩٠ | ١٠٠ |

المصدر: (FAO, 2020, P.31)		- النِسب المِئويَّة (%) مِن حِساب الباحثين

(١) تنقسمُ المَملكةُ المَغربيَّة إلى أربع مناطق للمَوارد المائيَّة، هي: مَنطقة السهول الساحليَّة، التي تمتدُّ على طول سواحل البَحر المُتوسط والمُحيط الأطلنطي، وتتدفقُ مُعظم أنهار البلاد عبر هذه السهول. مَنطقة التلال الشماليَّة، وهي المُوازية للبَحرِ المُتوسط، والمَعروفة باسم جبال الريف. مَنطقة التلال في وسط المَغرب، وهي تمتدُّ مِن الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي، وتشملُ سلاسل جبال أطلس الوسط، وأطلس الكبير. ومَنطقة تلال الصحراء، وهي امتداد للمُنحدرات الجنوبيَّة لجبالِ أطلس الكبير.

يَبلُغُ حَجم المياه السطحيَّة المُستغلَّة، في عام **٢٠٢٠م**، نحو **١٠,٥ مليار م**$^{٣}$، ونحو **٢,٥ مليار م**$^{٣}$ مِن المِياه الجَوفيَّة. تُستخدمُ المَواردُ المَائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّةِ في الزراعةِ، والاستخدامات المَنزليَّة، وإنتاج الطاقة الكهرومائيَّة، التي يُمْكِنُ استخدامها في عمليَّات التحلل المَائي المُساعد في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر في المَواقعِ القَريبة مِن مَحطات إنتاج الكهرباء المَائيَّة.

يَظْهَرُ في **شكل (٢١)** امتلاك المَملكة المَغربيَّة شَبَكَة مِن الروافدِ النهريَّة المَوسميَّة، المُنتشرة في المَناطقِ الشماليَّة، والشماليَّة الشرقيَّة، وتَمتدُّ حتى الوسط الغربي للمَملكةِ، وهي المَناطق الأَنْسب لإقامةِ المَحطات الكهرومائيَّة. ويَنتشرُ القليل مِن الروافدِ في الجنوب، وفي الوسطِ الشرقي للمَملكةِ المَغربيَّة.




المصدر: نموذج الارتفاع الرقمي DEM https://earthexplorer.usgs.gov/

- **Entity ID: GMTED2010N10W030**
- **Acquisition Date: 2010-11-11**
- **Center Coordinates: 20N, 15W & 40N, 15W**

**شكل (٢١) المَوارد المَائيَّة السطحيَّة والجَوفيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة**

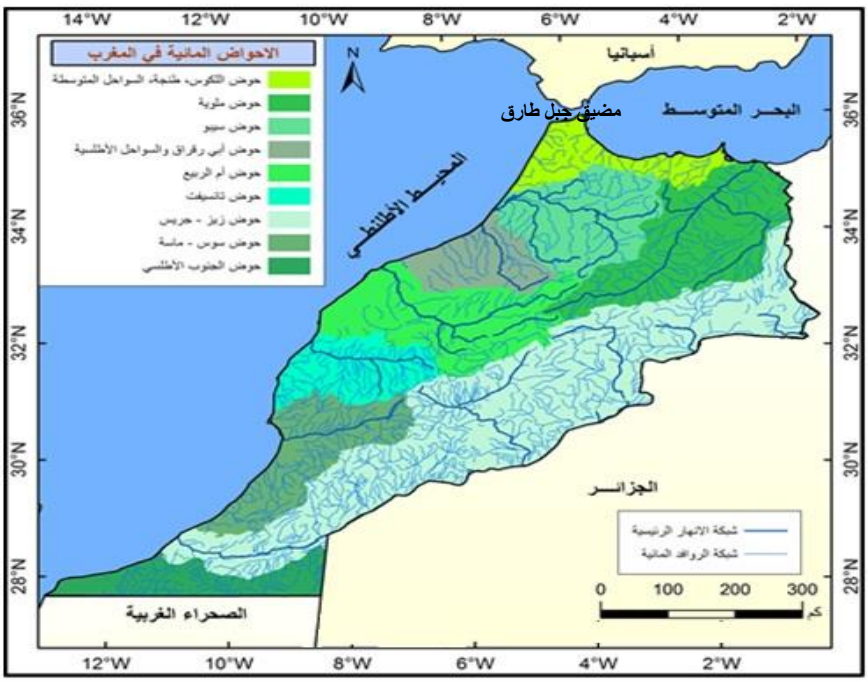
يَتضحُ مِن دِراسةِ **جدول (١٢)** أنَّ المِياه السطحيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّةِ تتركَّزُ في أحواضٍ كُبْرى رئيسة، **بإجمالي مُتوسط جَريان** بَلَغَ نحو **١٩ مليار م**$^{٣}$، في **عام ٢٠٢٠م**. ومِن أهمِّ هذه الأحواض، مِن حيثُ مُتوسط كِميَّة الجَريان، تلك **الأحواض التي تَصُبُّ في المُحيط الأطلنطي (شكل ٢٢) مِثل: حوض نهر سيبو ٥,٦ مليار م**$^{٣}$، **وحوض نهر أم الربيع ٣,٧ مليار م**$^{٣}$، **وحوض نهر ملوية ١,٧ مليار م**$^{٣}$. ثُمَّ **الأحواض التي تَصُبُّ في البَحر المتوسط مِثل**: أحواض **اللكوس**، و**طنجة** بمُتوسطِ جَريان بَلَغَ نحو **٤,٢ مليار م**$^{٣}$. ويُعزى ذلك كَثرة مرور المُنخفضات الجَويَّة العَرضيَّة فوق الجهات الساحليَّة، في فَصلي الشتاء والخريف، وتساقُط الأمطار الإعصاريَّة. وتُعَدُّ هذه الأحواض مناطق مُثلى لإقامةِ السدود، وبالتالي توليد الطاقة الكهرومائيَّة، المُحتمل استخدامها في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر. وأقل الأحواض المَائيَّة في مُتوسطِ كِميَّة الجَريان، هي **الأحواض الصحراويَّة**، التي لا تزيد كِميَّة الجريان السطحي فيها على **٠,٧ مليار م**$^{٣}$، **مِثل: أحواض سوس، وماسة، وزيز، وجريس**. ويُعزى ذلك إلى نشأة المُنخفضات الجَويَّة الصحراويَّة، المُتسبِّبة في هبوب رياح مَحليَّة، معروفة باسم **(الشرقي)**، وهي رياح حَارة وجَافة، تَهُبُّ مِن جَوْفِ الصحراء الكُبْرى في فَصلِ الربيع، وقد يَستمِرُّ نَشاطُها عِدَّة أيَّام في شِكلِ عاصفة تُرابيَّة، غالبًا، ما تنتهي بتساقُط الأمطار الجَبهيَّة. وتتسمُ هذه المِياه بعَدمِ الانتظام، سواءٌ على المستوى الموسمي أو السنوي. ولذلك تُعَدُّ المناطق الصحراويَّة، جنوب المَملكة المَغربيَّة، غَير مُلائمة لتوليد الطاقة الكهرومائيَّة.

بين **أواخر سِتينيَّات** حتى **نهاية عام ٢٠٢٠م**، قَامت المَملكة المَغربيَّة ببناءِ **١٢٦ سَدًّا**؛ مِمَّا أدَّى إلى زيادةِ طاقة تخزين المِياه بواقعِ **عشرة أمثال** (مِن **٢ مليار م**$^{٣}$ إلى نحوِ **١٩,١ مليار م**$^{٣}$)، تَعملُ تلك السدود على الحِفاظِ على المِياه السطحيَّة، التي تُساعدُ بدورها في توليد الطاقة الكهرومائيَّة، وبالتالي زيادة فُرص إنتاج الهيدروجين الأخضر بالقُربِ مِن تلك المَناطق **(تقرير المُناخ والتنمية، ٢٠٢٢، ص٣٠)**.

جدول (١٢) متوسط كَمِيَّة الجَريان السطحي (مليون متر٣) بأهمِّ الأحواض المائيَّة في المَغرب

| الأحواض | المِساحة كم٢ | % | مُتوسط الجَريان السطحي مليون متر٣ | % |
|---|---|---|---|---|
| سيبو | ٤٠٠٠٠ | ٩,٨ | ٥٦٠٠ | ٢٩,٤ |
| اللكوس، طنجة، السواحل المتوسطة | ٢٠٦٠٠ | ٥,٠ | ٤١١٩ | ٢١,٧ |
| أم الربيع | ٣٥٠٠٠ | ٨,٥ | ٣٦٨٠ | ١٩,٤ |
| ملوية | ٥٧٥٠٠ | ١٤,٠ | ١٦٥٦ | ٨,٧ |
| الجنوب الأطلسي | ١٦٤١٠٠ | ٤٠,٠ | ١٣٠٠ | ٦,٨ |
| تانسيفت | ٣٧٥٠٠ | ٩,١ | ١١١٠ | ٥,٨ |
| أبو رقراق | ٢٠٠٠٠ | ٤,٩ | ٨٣٠ | ٤,٤ |
| سوس ـ ماسة | ٣٥٤٠٠ | ٨,٦ | ٧٠١ | ٣,٧ |
| المَجموع | ٤١٠١٠٠ | ١٠٠ | ١٨٩٩٦ | ١٠٠ |

المصدر: (Lee & et al, 2021, P.542) - النِسب المِئويَّة (%) مِن حِساب الباحثين




المصدر: نموذج الارتفاع الرقمي DEM https://earthexplorer.usgs.gov/

- **Entity ID: GMTED2010N10W030**
- **Acquisition Date: 2010-11-11**
- **Center Coordinates: 20N, 15W & 40N, 15W**

شكل (٢٢) الأحواض المائيَّة وشَبكة التصريف الرئيسة بالمَملكةِ المَغربيَّة

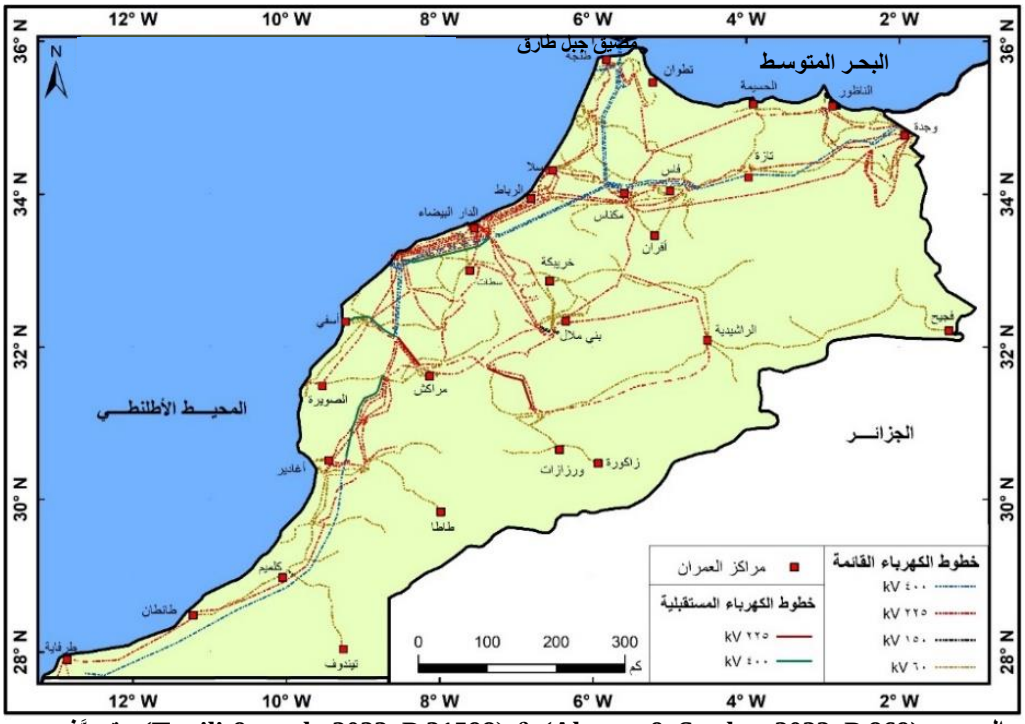
**رابعًا: مَعايير البيئة البَشريَّة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر بالمَملكة المَغربيَّة:**

تَمتلكُ المَملكةُ المَغربيَّةُ العَديد مِن المقومات البَشريَّة، التي لا تقل أهميَّة عَن المقومات الطبيعيَّة، والتي تُمَكِّنُها مِن توفير بيئة مُلائمة لإنتاجِ الطاقة الكهربائيَّة مِن الهيدروجين الأخضر. فإذا كان لمَعايير البيئة الطبيعيَّة الدور المُؤثِّر في إمكانيَّة توفير مَصادر الطاقة النظيفة المُستدامة، المُستخدمة في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر، ذلك المَصدر الوليد لطاقةِ المُستقبل، فإن مَعايير البيئة البَشريَّة تُمثل القُدْرَة الفعَّالة في إمكانيَّة التنفيذ، والانتشار، والتوسُّع في مُخططات مشروعات إقامة مَحطات توليد الطاقة، مِن خِلال تأسيس مَرافق البنية التحتيَّة Infrastructure، وتوزيع السكان، وانتشار مراكز العُمران التي تُمثل مراكز استهلاك طاقة الهيدروجين الأخضر.

اتخذت المَغرب بَعض الخُطوات المُهِمَّة لِبَدءِ اقتصاد الهيدروجين الأخضر للسوقِ المَحليَّة، وكذلك للتصديرِ إلى أوروبا، مِن حيثُ تطوير السياسات والمشاريع التجريبيَّة. كما وضعت المَغرب استراتيجيَّة لإنتاجِ الكهرباءِ مِن الطاقة الشمسيَّة، وطاقة الرياح، وطاقة المِياه؛ مِن أجلِ التوجه نحو رَفع مُساهمة إجمالي مُركَّب الطاقة المُتجدّدة في إنتاجِ الكهرباء بنسبةِ **٤٠ %** بحلولِ عام **٢٠٤٠م**؛ لتقليلِ انبعاثات غَاز ثاني أكسيد الكربون، والحَدِّ مِن استيراد مَصادر الطاقة الأحفوريَّة **(Taoufik & Fekri, 2023, P.399)**.

**١) شَبَكة الربط الكَهربائي:**

يَتضحُ مِن **شكل (٢٣)** امتلاك المَملكة المَغربيَّة شَبَكةً مُتنوعةً مَن خطوطِ الكهرباءِ، بَل تُعَدُّ المَملكة المَغربيَّة الدولة الأفريقيَّة الوحيدة المُتصلة بشبكةِ رَبط كهربائي مع قارة أوروبا، مِن خِلال **مَشروع ديزرتيك Desertec**، الذي يَهدفُ إلى تلبيةِ احتياجات قارة أوروبا مِن الكهرباء النظيفة، عَبر إنشاء بنية تحتيَّة للطاقةِ المُتجدّدة في شمال أفريقيا، وبخاصةٍ مَحطات الطاقة الشمسيَّة **(Haines & et al., 2023, P.549)**.




**المصدر: (Touili & et al., 2022, P.31598) & (Akarsu & Serdar, 2022, P.869)، بتصرَّف**

**شكل (٢٣) شَبَكَة خطوط الكهرباء القَائمة والمُستقبليَّة في المَملكةِ المَغربيَّة**

تتركَّزُ خطوطِ الكهرباء بكثافةٍ بالمَراكزِ العُمرانيَّة على النطاقات الساحليَّة المَغربيَّة، سواءٌ على البَحر المتوسط شمالًا أو على المُحيط الأطلنطي غربًا **(شكل ٢٣)**، وهناك توزيع بكثافاتٍ أقل لخطوط ١٥٠ كيلو فولت، و٦٠ كيلو فولت في المناطق الشرقيَّة، والوسطي الشرقيَّة مِن المَملكة؛ وذلك لِقلَّة توزيع مَراكز العمران، والخَلْخَلَة السُّكَّانيَّة في تلك المناطق، مع وجود خط بقوة ٢٢٥ كيلو فولت يَمتدُّ حتى الوسط الشرقي للمَملكةِ، والذي يَبعُدُ بنحوِ ٣ كم مِن مشروع ورزازات للطاقةِ الشمسيَّة؛ حيثُ الاستفادة مِن الطاقةِ الكهربائيَّة المُخزَّنة بالمَشروعِ **(African Development Bank, 2023, P.50)**

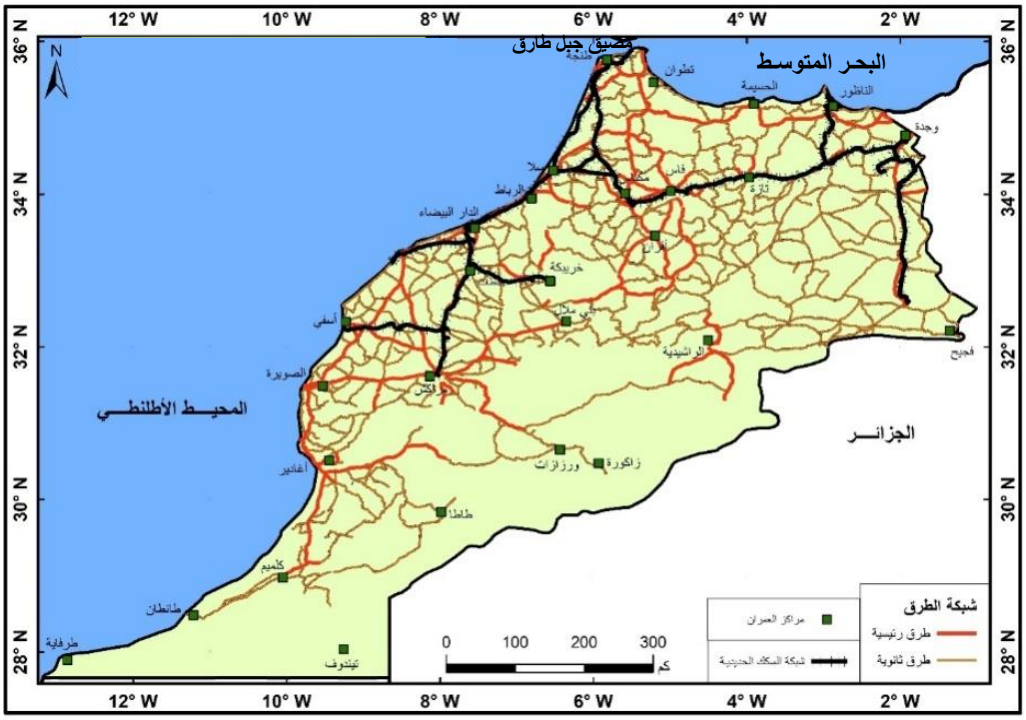
**٢) <u>شَبَكَة الطُّرق البَريَّة</u>:**

لَعِبَت شَبَكَة الطُّرق البَريَّة دورًا كبيرًا في التوسُّع في إنشاءِ مَحطات إنتاج الكهرباء؛ فالطُّرق هي شرايين التنمية المُستدامة؛ مِن خِلال تَسهيل حركة الأفراد والبَضائع؛ مِمَّا يُعَزِّزُ مِن فُرص جَذب الاستثمارات الأجنبيَّة المُباشرة في مَجال الطاقة المُتجدّدة.

أَظْهَرَت نتائج نَشرة إحصاءات النقل البَري أن إجمالي أطوال شَبَكَة الطُّرق البَريَّة بالمَملكةِ المَغربيَّةِ بَلَغَت نحو **٣١٧ ألف كم**، في عام **٢٠٢٣م**، بنسبةِ ارتفاع **٢,٢ %** عن عام **٢٠٢٢م**، وبَلَغَت أطوال الطُّرق داخل المُدن **١٩٤,٤ ألف كم**، بنسبةِ ارتفاع **٠,٨ %**، في حين بَلَغَت أطوال الطُّرق بين المُدن **٧٤,٢ ألف كم**، في عام **٢٠٢٣م**، بنسبةِ ارتفاع **٠,٩ %** عن عام **٢٠٢٢م**، مِمَّا جَعلها واحدة مِن أَكْثرِ شَبَكَات الطُّرق البَريَّة تطورًا في إفريقيا **(المَندوبيَّة الساميَّة للتخطيط، الهيئة العامة للإحصاءِ بالمَملكةِ المَغربيَّة، نشرة إحصاءات النقل البري في عام ٢٠٢٣م)**.

يُوضِّحُ **شكل (٢٤)** شَبَكَة الطُّرق البَريَّة والسّكك الحَديديَّة في المَملكةِ المَغربيَّة، حتى عام ٢٠٢٢م، ويُلاحظُ مِنه مَدى كثافة وانتشار الطُّرق البَريَّة، سَواءٌ الطرق الرئيسة أو الثانويَّة أو السّكك الحَديديَّة، على أراضي المَملكة المَغربيَّة؛ مِمَّا يَترتب عليه سُرعة وسهولة الوصول لكافةِ أنحاء المَملكة، وبالتالي إمكانيَّة إنشاء مَحطات الطاقة المُتجدّدة، المُستخدمة في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر.

يُلاحظُ انحسار شَبَكَة الطُّرق البَريَّة، بكافةِ أنواعها، على الأطرافِ الشرقيَّة للمَملكةِ، المُحاذية للدولة الجزائر، وكذلك على الأطرافِ الجنوبيَّة، المُحاذية للصحراءِ الغَربيَّة؛ ويُعزى ذلك لِقلَّة وتباعُد مَراكز العُمران.

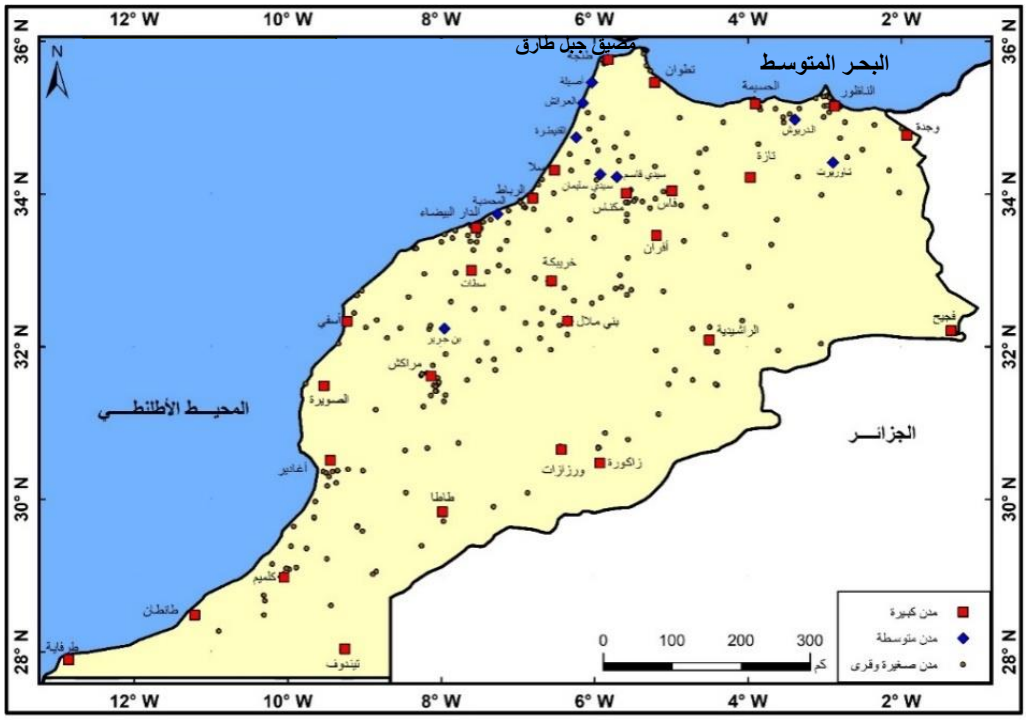



**المصدر: (Touili & et al., 2022, P.31602) & (Taoufik & et al., 2021, P.82)، بتصرُّف**

**شكل (٢٤) شَبَكَة الطُّرق البَريَّة والسّكك الحَديديَّة في المَملكةِ المَغربيَّة، حتى عام ٢٠٢٢م**

### ٣) مَراكز العُمران:

يَتضِحُ مِن **شكل (٢٥)** توزيع مَراكز العُمران في المَملكةِ المَغربيَّةِ بشكلٍ غَيْر مُتساوٍ؛ حيثُ يَتركَّزُ العُمران، بصورةٍ رئيسةٍ، في المَناطقِ الساحليَّة والمُدن الكُبْرى، حيثُ إنَّ أكْثرَ مِن **٦٥ %** مِن السُّكَّان، ونحو **٩٠ %** مِن المُنشآت الصناعيَّة تتركَّزُ على ساحلي البحر المُتوسط والمُحيط الأطلنطي بالمَملكةِ المغربيَّة؛ مِمَّا يَعكسُ احتياجات المَملكة للطاقةِ الكهربائيَّةِ **(تقرير المُناخ والتنمية، ٢٠٢٢، ص١٢)**؛ وبالتالي مَدى الاحتياج لإنشاء مَحطات إنتاج الكهرباء في نِطاقاتٍ واسعةٍ؛ نظرًا لسُرعةِ امتدادِ وانتشار مَراكز العُمران على مُستوى المَملكة.




**المصدر: (Touili & et al., 2022, P.31603) & (Taoufik & et al., 2021, P.84)، بتصرُّف**

**شكل (٢٥) مراكز العُمران بالمَملكةِ المَغربيَّة، حتى عام ٢٠٢٢م**

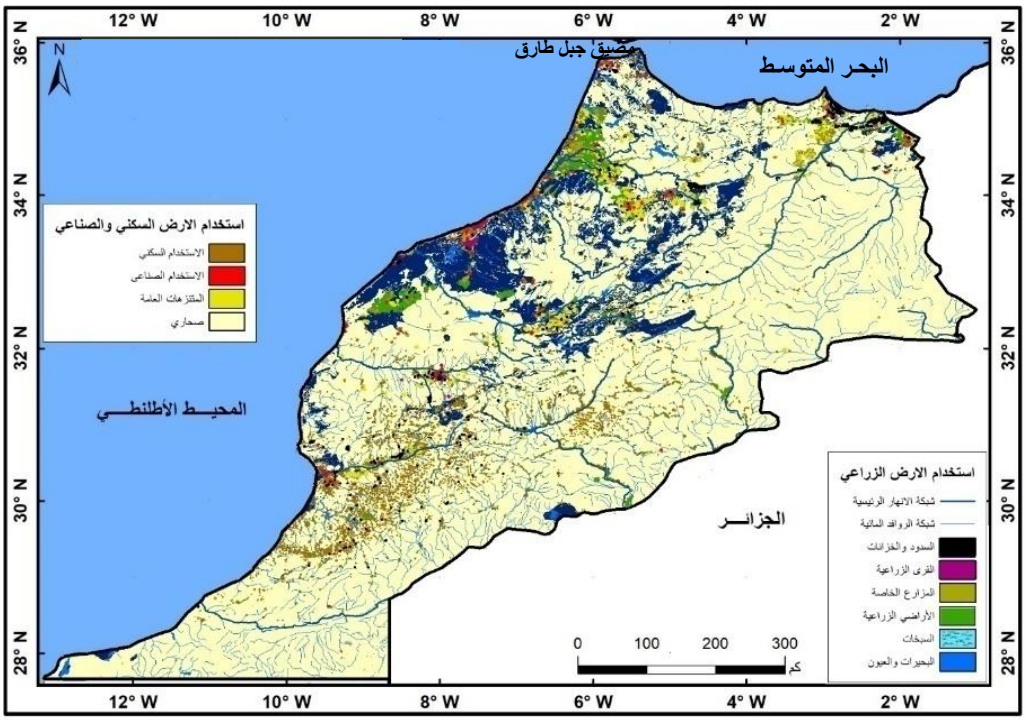
شَهِدَت مَراكز العُمران في المَملكةِ المَغربيَّة عام **٢٠٢٢م** نِموًّا ملحوظًا؛ حيثُ بَلَغَ مُعَدَّل نمو العُمران حوالي **٣ %**. فقد أَطْلَقَت الحكومة برنامجًا لتطويرِ المُدن الجديدة، مِمَّا يَعكسُ استراتيجيَّة مُتكاملة لتعزيزِ التنميَة الحَضريَّة، وفي هذا الإطار انتهت الحكومة المَغربيَّة مِن تخطيط **٣٥ مشروعًا عُمرانيًّا**، مَع التركيزِ على تنظيمِ وضعيَّة العقارات، وتحسين البنية التحتيَّة للمُجتمعات الحَضريَّة **(تقرير المُناخ والتنمية،٢٠٢٢، ص٣٦)**.

يَرتبطُ نمو مَراكز العُمران، بشكلٍ وثيقٍ، بزيادةِ مُعَدَّل استهلاك الطاقة الكهربائيَّة؛ لِذا تَستمِرُّ المَغرب بتطويرِ استراتيجيَّات فَعَّالة لاستخدامات الطاقات المُتجدّدة في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر؛ حيثُ تمتلكُ المَملكةُ المَغربيَّةُ استثمارات كبيرة مِن مشروعات الطاقة النظيفة والمُستدامة، وبخاصةٍ مشروعات الطاقة الشمسيَّة؛ لِزيادةِ حِصَّة الطاقة

المُتجدّدة مِن **١٩,٥ % عَام ٢٠٢٢م** إلى **٤٠ % بحلولِ عَام ٢٠٣٥م** مِن إجمالي استهلاك الطاقة الكهربائيَّة **(تقرير المُناخ والتنمية، ٢٠٢٢، ص٣٩)**.

## ٤) استخدام الأرض:

يَتبيَّنُ مِن **شكل (٢٦)** تَركُّز مُعظم مظاهر استخدام الأرض في المَناطقِ الساحليَّة، الشماليَّة، والشماليَّة الغربيَّة، والغربيَّة مِن المَملكةِ المَغربيَّة؛ حيثُ يَتركَّزُ العُمراني، بكافةِ أنماطه واستخداماته، وكذلك في المناطقِ الوسطى؛ حيثُ تركُّز الاستخدام الزراعي. وتَقِلُّ أنماط استخدام الأرض، نوعًا وحجمًا، على الحدودِ الشرقيَّة والوسطي مع دولةِ الجزائر، وعلى الحدودِ الجنوبيَّة مع الصحراء الغربيَّة.




**المصدر: (Touili & et al., 2022, P.31607) & (Taoufik & et al., 2021, P.88)، بتصرُّف**

**شكل (٢٦) استخدام الأرض بالمَملكةِ المَغربيَّة، حتى عام ٢٠٢٢م**

يَتطَّلبُ إنتاج الهيدروجين الأخضر استخدام المِياه النظيفة والطاقة المُتجدّدة. وتجدرُ الإشارةُ إلى أن تحليةَ مِياه البَحر لَن تُمَثِّلَ إلا جُزءًا صغيرًا مِن تكْلفة إنتاج الهيدروجين الأخضر. وفي المُستقبل قد يَكونُ مِن المُمكن إنتاج الهيدروجين الأخضر باستخدامِ مياه الصرف المُعالجة. وعلى صعيد الطاقة، تَطْمَحُ المَملكةُ المَغربيَّة إلى أن تُصبحَ مُنتجًا كبيرًا للهيدروجين الأخضر، و**الأمونيا الخضراء $NH_3$**[1] التي تُعَدُّ ناقلًا فعَّالًا للطاقةِ، كما أنها تُمثِّلُ أحد المُستلزمات المُهِمَّة في كثيرٍ مِن الصناعات، **مِثل:** صناعة الأسمدة الزراعيَّة، والمُبيدات الحَشريَّة، والمُنظّفات المنزليَّة، والمُستحضرات الطبيَّة، والصناعات المَعدنيَّة، والنسيج، وتَنقية المِياه، ومُعالجة مِياه الصرف الصحي، وغيرها.

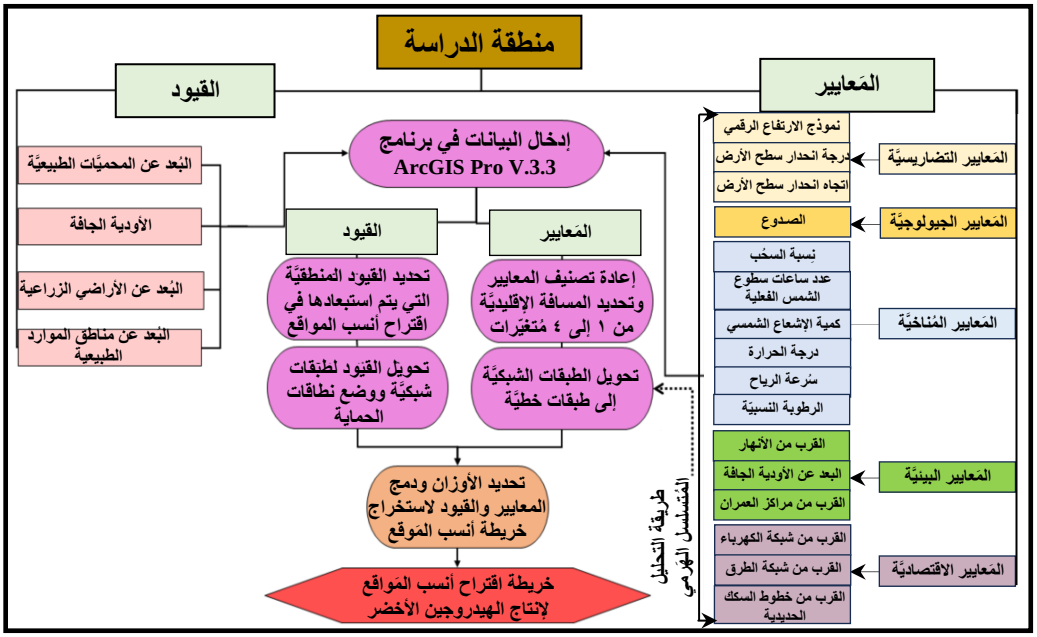
يَهتمُّ المُخَطِّط الحَضري عِند اختيار أنسب مواقع لإنشاءِ مَحطات توليد الكهرباء، بالاعتمادِ على أحد مَصادر الطاقة المُتجدّدة، مُراعاة استخدام الأرض السائد؛ لِعدمِ حدوث تداخل في الاستخدام، ومِن ثَمَّ تُعطي فُرَص أَكْبَر للتوسّعِ في البدائل المُناسبة لاختيارِ أَنْسَب المَواقع لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر.

## خامسًا: بناء نموذج معلومات جُغرافي مُقترح لتحديد أنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكة المَغربيَّة:

وَضعَت المَملكة المَغربيَّة استراتيجيَّة وطنيَّة؛ لتعزيزِ الاعتماد على مَصادرِ الطاقة المُتجدّدة، وبخاصةٍ تَعزيز استدامة إنتاج الهيدروجين الأخضر. تهدفُ هذه الاستراتيجيَّة إلى تأمينِ الطَّلب على الطاقةِ، بشكلٍ عامٍ، وتوفير وصولها على نطاقٍ واسعٍ إلى كافةِ

**(١) الأمونيا $NH_3$ هي غاز ذو رائحة قويَّة، يَتكوَّنُ مِن ذرة نيتروجين (٨٢٪)، و٣ ذرّات هيدروجين (١٨٪). يُوجَدُ عِدّة أنواع مِن الأمونيا، حَسب طريقة استخراجها، مثل: الأمونيا الرماديَّة، والأمونيا الزرقاء، والأمونيا الفيروزيَّة، والأمونيا الخضراء. وتؤكد وكالة الطاقة الدوليَّة (IEA) أن الأمونيا والهيدروجين سيكونان الوقود البَحري الأساس، إذا وَصَلَ العَالَم للحياد الكربوني بحلول عام ٢٠٥٠؛ حيثُ يَجبُ أن تُشَكِّلُ الأمونيا نحو ٤٥٪ مِن الطلبِ في قِطاع الشّحَن البَحري. كما يُمْكِنُ تجنّب أكثر من ٤٠ مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويًا في أوروبا وحدها، أو أكثر من ٣٦٠ مليون طن في جميع أنحاء العالم.**

أرجاء المَملكة، بأسعارٍ تُجاريَّة، مع ضَبطِ التحَكُّم في الطَّلَبِ، وصَوْن البيئة. وفي مُحاولةٍ مِن الباحثين تمَّ بناء نموذج معلومات جُغرافي مُقترح[١] لتحديد أنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة، كما يَتضحُ مِن **شكل (٢٧)**.




**المصدر: مِن إعداد الباحثين.**

**شكل (٢٧) مُخطّط نموذج معلومات جُغرافي مُقترح؛ لتحديدِ أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة**

الطريقة المُتَّبعَة في بناءِ النموذج Model Builder هي طريقة **التحليل المَكاني مُتعدِّد المَعايير** (**SMCA**) Spatial **M**ulti-**C**riteria **A**nalysis، وذلك بحسابِ المتوسط الموزون لمجموعةٍ مِن المَعايير البيئيَّة، مِن خِلال تصميم قاعدة بيانات مِن نوع File Geodatabase لمَعايير المُتغيِّرات المكانيَّة المُختلفة، والمناسبة لمنطقةِ الدراسة

**(١) تمَّ بناء النموذج باستخدام برنامج ArcGIS Pro V.3.3، وتعتمدُ مَنهجيَّة هذه النقطة على أداة التركيب الخَطِّي الموزون Weighted Overlay Tool، التابعة لمجموعة أدوات Spatial Analysis Tools، تتمثل هذه العمليَّة في دمج الطبقات بواسطة المَعايير المُتعددة Merge Multi- Criteria، بطريقةٍ رياضيَّةٍ، وإخراجها في خريطة واحدة وفق خُطوات مُتسلْسِلة.**

**(جدول ١٣)**؛ مِن أجلِ بناء نموذج معلومات جُغرافي مُقترح لتحديد أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ محطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة.

**جدول (١٣) مَعايير وقيود بناء نموذج معلومات جُغرافي مُقترح لتحديد أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة**

| تصنيف المعيار | المعيار | التقييم | | | | الوزن النسبي |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مُلائمة عالية | مُلائمة مُتوسطة | مُلائمة مُنخفضة | غير مُلائم | |
| تضاريسي | نموذج الارتفاع الرقمي (بالمتر) | حتى ٥٠٠ متر فأقل | ٥٠٠-١٠٠٠ | ١٠٠٠-١٥٠٠ | ١٥٠٠ فأكثر | ١٠ |
| | ميل سطح الأرض (درجة الانحدار) | من صفر ٢٠ درجة | من ٢٠-< ٤٠ درجة | من ٤٠-< ٦٠ درجة | أكثر من ٦٠ درجة | ٥ |
| | ميل سطح الأرض (اتجاه الانحدار) | شرق (من ٦٥ - ١١٢درجة) | جنوب (من ١٥٨ - ٢٠٢درجة) | شمال شرقي (من ٢٢ - ٦٥درجة) | شمال (من ٠ - ٢٢ درجة) | ٨ |
| | | جنوب شرق (من ١١٢ - ١٥٨درجة) | غرب (من ٢٤٨ - ٢٩٣درجة) | جنوب غربي (من ٢٠٢ – ٢٤٨ درجة) | شمال غربي (من ٢٩٣ – ٣٣٨ درجة) | |
| جيولوجي | الانكسارات والفوالق | حتى ٢٥٠٠ متر | حتى ٢٠٠٠ متر | حتى ١٥٠٠ متر | حتى ١٠٠٠ متر | ٢ |
| مُناخي | الإشعاع الشمسي (ساعة/ يوم) | ١٢ ساعة/ يوم فأكثر | من ٨-< ١٢ ساعة/ يوم | من ٦-< ٨ ساعة/ يوم | أقل من ٦ ساعة/ يوم | ١٠ |
| | الطاقة الضوئية (نانوميتر) | ٦٠٠ فأكثر | ٥٠٠-٦٠٠ | ٤٠٠-٥٠٠ | أقل من ٤٠٠ | ٥ |
| | متوسط الحرارة (درجة) | ٣٥ درجة فأكثر | من ٢٠-< ٣٥ درجة | من ١٠-< ٢٠ درجة | أقل من ١٠ درجات | ٥ |
| | الرطوبة النسبية (%) | أقل من ٢٥٪ | من ٢٥-< ٣٠٪ | من ٣٠-< ٤٠٪ | أكثر من ٤٠% | ٥ |
| | نسبة السحب (%) | أقل من ٣٠ | ٣٠-٣٥ | ٣٥-٤٠ | ٤٠ فأكثر | ٥ |
| | سرعة الرياح م/ث على ارتفاع ١٠م | ٥,٠-١٠,٠ م/ث | ٤,٤-٥,٠ م/ث | ٣,٨-٤,٤ م/ث | أقل من ٣,٨ م/ث | ٥ |
| بيني | القرب من شبكة الأنهار الرئيسية والفرعية (متر) | حتى ٥٠٠ متر | حتى ١٠٠٠ متر | حتى ١٥٠٠ متر | حتى ٢٠٠٠ متر | ٣ |
| | البُعد عن شبكة الأودية الجافة والمياه الجوفية (متر) | حتى ٢٠٠٠ متر | حتى ١٥٠٠ متر | حتى ١٠٠٠ متر | حتى ٥٠٠ متر | ٢ |
| | القرب من مراكز العمران والمرافق والخدمات (متر) | حتى ١٠٠٠ متر | حتى ٢٠٠٠ متر | حتى ٣٠٠٠ متر | حتى ٤٠٠٠ متر | ٥ |
| اقتصادي | القرب من شبكة السكك الحديدية والأنشطة الاقتصادية (متر) | حتى ٢٥٠ متر | حتى ٥٠٠ متر | حتى ٧٥٠ متر | حتى ١٠٠٠ متر | ٥ |
| | القرب من شبكة الكهرباء (متر) | حتى ٢٥٠ متر | حتى ٥٠٠ متر | حتى ٧٥٠ متر | حتى ١٠٠٠ متر | ١٠ |
| | القرب من شبكة الطرق (متر) | حتى ٢٥٠ متر | حتى ٥٠٠ متر | حتى ٧٥٠ متر | حتى ١٠٠٠ متر | ٥ |
| القيود | البُعد عن مناطق الموارد الطبيعية والأراضي الزراعية (متر) | حتى ٢٠٠٠ متر | حتى ١٥٠٠ متر | حتى ١٠٠٠ متر | حتى ٥٠٠ متر | ٥ |
| | البُعد عن مناطق المحميات والنبات الطبيعي (متر) | حتى ٢٠٠٠ متر | حتى ١٥٠٠ متر | حتى ١٠٠٠ متر | حتى ٥٠٠ متر | ٥ |

**المصدر: مِن إعداد الباحثين، اعتمادًا على: بيانات خرائط مَعايير الملائمة المكانيَّة & (Hajou, et al., 2024, P.79) & (Ougazzou, et al., 2024, P.86) & (Yakoubi, et al., 2021, P.156) & (Mensour, et al., 2019, P.910) & (Ben Fares & Abderafi, 2018, P.150).**

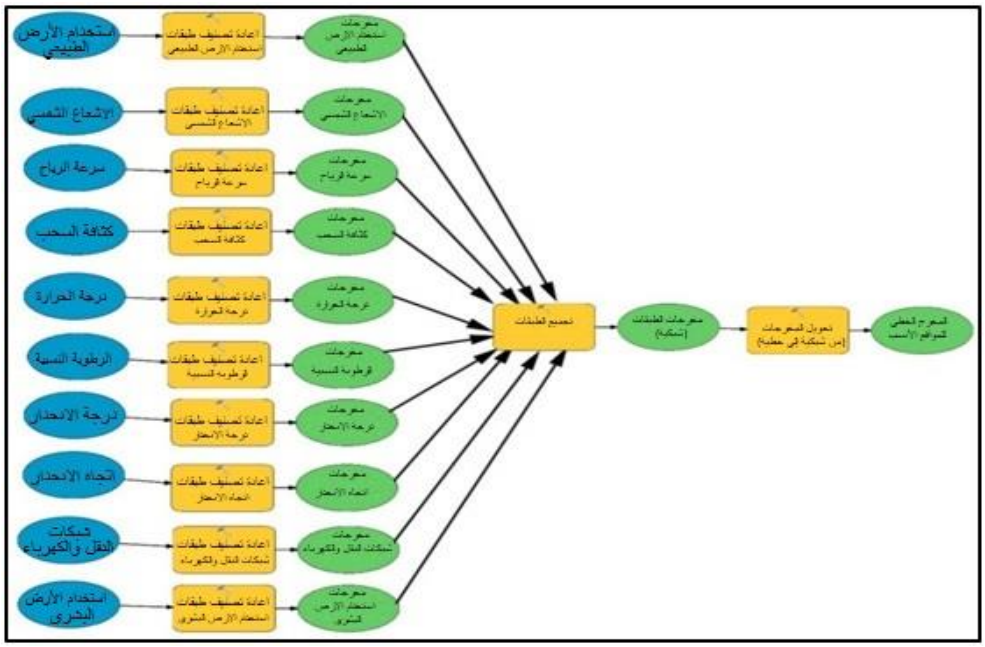
يُوضِّحُ **الجدول (١٣) المَعايير** التي تَمَّ الاعتماد عليها والرتبة والوزن العَشري لِكُلِّ طَبقةٍ مِن طَبقات البيانات المُحدَّدة سابقًا، والمُقسَّمة إلى تصنيف: (تضاريسي، وجيولوجي، ومُناخي، وبيئي، واقتصادي)، مع وضع مجموعة مِن **القيود** التي تُعِيقُ إقامة مشروعات الطاقة المُتجدّدة، التي تُمَكِّنُ مِن إنشاء محطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة. ومِن أهمِّ هذه القيود بَعض عناصر استخدام الأرض، **مِثل:** ضرورة البُعد عَن مَناطق الموارد الطبيعيَّة، والأراضي الزراعيَّة، وعن مناطق المَحميَّات الطبيعيَّة، وكذلك البُعد عن التجمُّعات الحضريَّة، وبخاصةٍ المناطق السكنيَّة المُزدحِمَة[١]، وأماكن التراث، والأماكن السياحيَّة والثقافيَّة.

مع مُلاحظةِ أن بَعضَ المناطق المُستبعدة قَد تكونُ مِعيارًا أو قيدًا، في الوقتِ نَفسه؛ بحيثُ يُمثِّلُ الاقتراب مِن طريقٍ رئيسٍ مِعيارًا اقتصاديًّا، يُقَلِّلُ مِن تكاليف نَقل الطاقة، وكذلك فإنَّ الاقترابَ مِن الطريق قد يَكونُ قيدًا؛ بسببِ التسارُع والتنافُس في استخدامات الأرض بالقُربِ مِن الطُّرق، وبخاصةٍ الطُّرق الرئيسة، مع احتماليَّةِ كَثرة الحوادث **(Leonard & et al., 2024,P.364)**.

مِن الخُطواتِ المُهِمَّة في بناءِ النموذج المُقترح **(شكل ٢٨)**، تحديد المَعايير المُؤثرة في تحديدِ أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة، ومِن أَهمِّ هذه المَعايير (المسافة الكيلو مِترية) مِن شَبكة نقل الكهرباء، ومِن مَراكز العُمران، ومِن شَبكة الطُّرق البَريَّة والحَديديَّة، والمَرافق والخِدمات. وكذلك تحويل الطبقات الخَطيَّة Vector Data إلى طَبقات شَبكيَّة Raster Data، ثُمَّ القيام بعمليَّات التصنيف

**(١) يُفَضَّلُ إنشاء مَواقع مَحطات الطاقة المُتجدّدة، التي تُساعدُ في إنتاج الهيدروجين الأخضر، بَعيدًا عن التجمُّعات السكنيَّة المُزدحِمَة؛ حتى لا يَتمّ العَبَث بها، كما الحَال في مَحطات الطاقة المُتجدّدة في ميدلت، والرشيدية، ورزازات، وطرفاية، وغيرها مِن المَواقع، التي تُعَدُّ مواقع مُلائمة، مِن حيثُ البُعد عن مراكز العمران (Leonard & et al., 2024,P.361).**

Classification، والترميز Symbology، وقياس المسافات Measuring Distances لكافةِ الظاهرات الموجودة بمنطقةِ الدراسة، ثُمَّ تحديد نطاقات التباعُد Buffer Zones بين المواقع المُقترحة لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر، ثُمَّ إعادة تصنيف الطبقات Reclassify، التي تمَّ اختيارها لتحديد إمكانات إنتاج الهيدروجين، وتحويل الطبقات الخطيَّة والنقطيَّة مِنها إلى طبقاتٍ شَبكيَّةٍ Raster Data، حيثُ يَتمُّ تحديد مسافات التباعُد الإقليديَّة Euclidean Distance.




**المصدر: مِن إعداد الباحثين، اعتمادًا على جدول (١٣).**

**شكل (٢٨) بناء نموذج معلومات جُغرافي مُقترح؛ لتحديد أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة**

كما تمَّ عَمَل التحليلات المكانيَّة، وإعادة ترتيب وتصنيف البيانات Reclassify Dataset؛ حيثُ إعطاء رُتَب Ranking (الوزن العَشري) للمَعايير والمُتغيّرات المكانيَّة

(الطبيعيَّة والبَشريَّة)، وفقًا لدراسات الخُبراء والدراسات السابقة[١]، وذلك باستخدامِ أداة التركيب الخطي الموزون Weighed Overlay Tool[٢]، في صندوق أدوات التحليل المَكاني Spatial Analysis Tools، في بيئة برنامج ArcGIS Pro V.3.3.

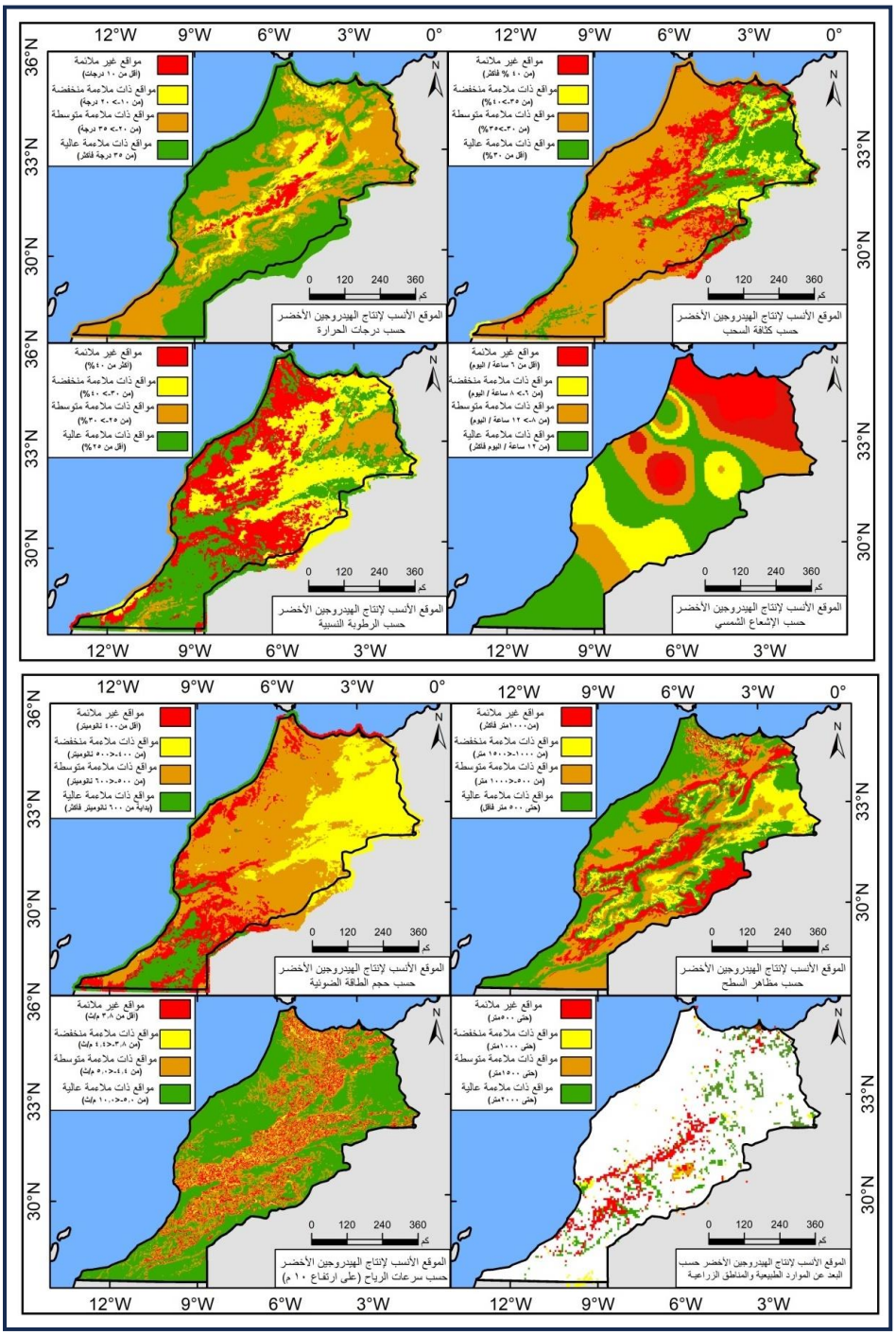
وقد تمَّ إخراج مجموعة مِن خرائط المُلاءمة المكانيَّة، وفقًا للمَعايير والمُتغيّرات المكانيَّة (الطبيعيَّة والبَشريَّة)، **أشكال (٢٩ "أ، ب"، و٣٠، و٣١)**، ثُمَّ الخروج **بخريطة قياسيَّة مُجمَّعة Standard Map (شكل ٣١)**؛ لتحديد أَنْسَب المَواقع المُقترحة لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة. وتَتَدرَّجُ درجات المُلاءمة بين **(عالية، ومُتوسطة، وضعيفة،** ومناطق **غير مُلائمة)**.

ومِن خِلال النموذج المُقترح لتحديدِ أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ محطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة، تمَّ تحديد عِدَّة مدن، **هي: (ورزازات، والرشيديَّة، وطرفاية، وميدلت، وبوجدور، والداخلة)**؛ لإقامةِ مُنشآت إنتاج الهيدروجين الأخضر، اعتمادًا على الطاقة الكهربائيَّة، المُستخرجة مِن مَصادر الطاقة المُتجدّدة بتلك المُدن وفي مُحيطِها. تقعُ بعض هذه المُدن على طُولِ المناطق الساحليَّة؛ حيثُ إمكانات المَملكة مِن مصادر طاقة الرياح، وتقعُ بعضها في مواقع داخليَّة؛ حيثُ إمكانات المَملكة في الطاقةِ الشمسيَّة.

---

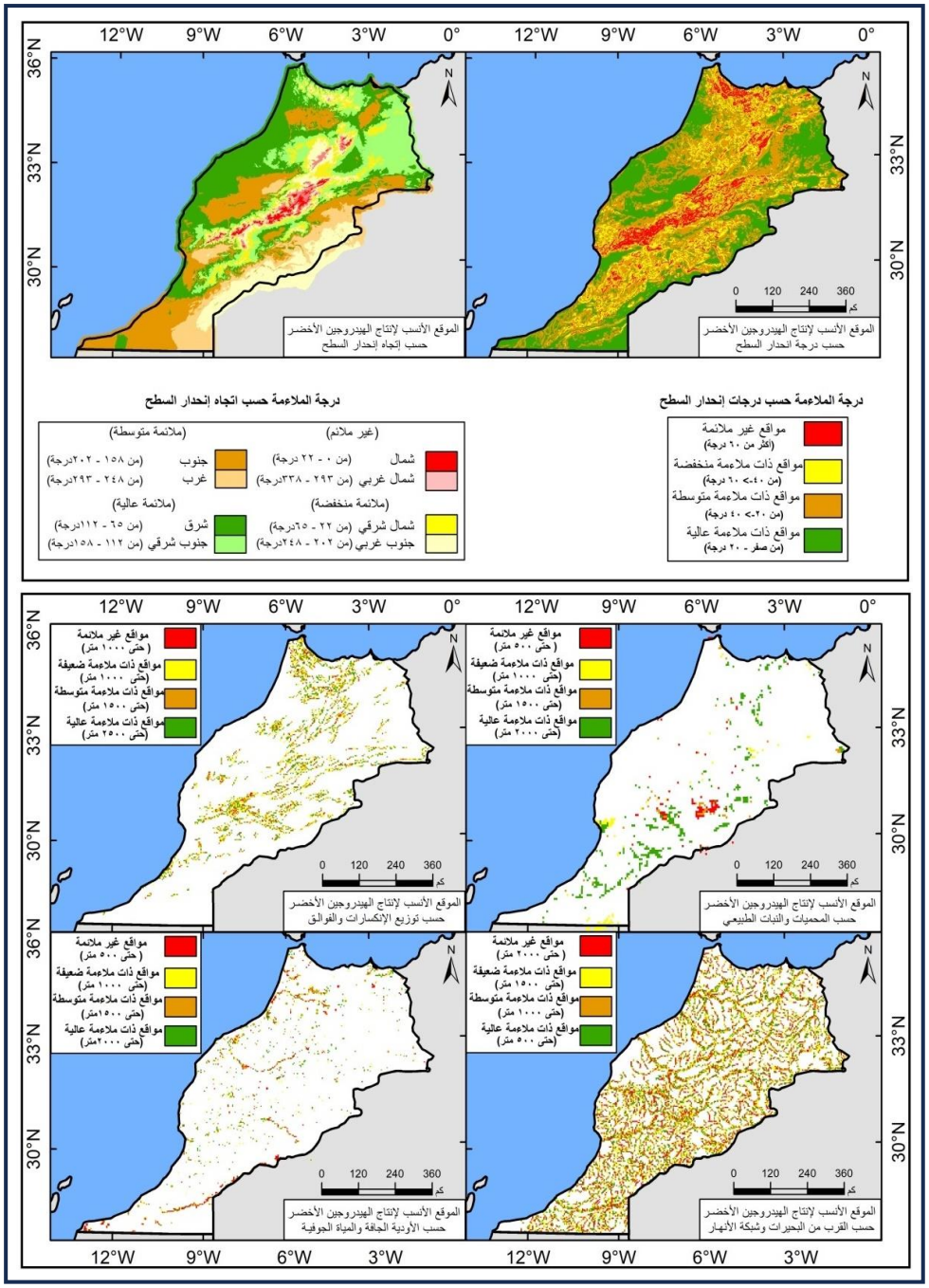
**(١) يُوجدُ ثلاث طُرق لبناء النماذج في بيئة نُظم المعلومات الجُغرافيَّة، باستخدام التحليل المَكاني مُتعدِّد المَعايير Spatial Multi-Criteria Analysis (SMCA)، مِنها: طريقة التراكب Overlay، وطريقة التحليل التسلسلي الهرمي Analytic Hierarchy Process (AHP)، وطريقة التركيب الخطي الموزون Weighed Overlay Tool، لمزيدٍ مِن التفصيلات يُرجى الرجوع إلى: (Leonard & et al., 2024) & (Jbaihi, et al., 2019) & (Mensour, et al., 2019).**

**(٢) طريقة التركيب الخطي الموزون Weighed Overlay Tool هي أكثر الطُّرق المُستخدمة في التحليل مُتعدد المَعايير (SMCA)؛ للوصول إلى المُلائمة المَكانيَّة، وتقوم بالأساسِ على قياس البيانات المَكانيَّة المُدخلة بمقياسٍ افتراضي، يَتراوحُ بين ١ إلى ٤، فيما يُعرف بإعادة التصنيف، ثُم تُوزن البيانات الشبكيَّة Raster Dataset، حَسب أهميتها، ويَتمُّ دمجها معًا؛ بحيث تساوي جميع أوزان البيانات المُدخلة بنسبة ١٠٠% (Mensour, et al., 2019, P.906).**



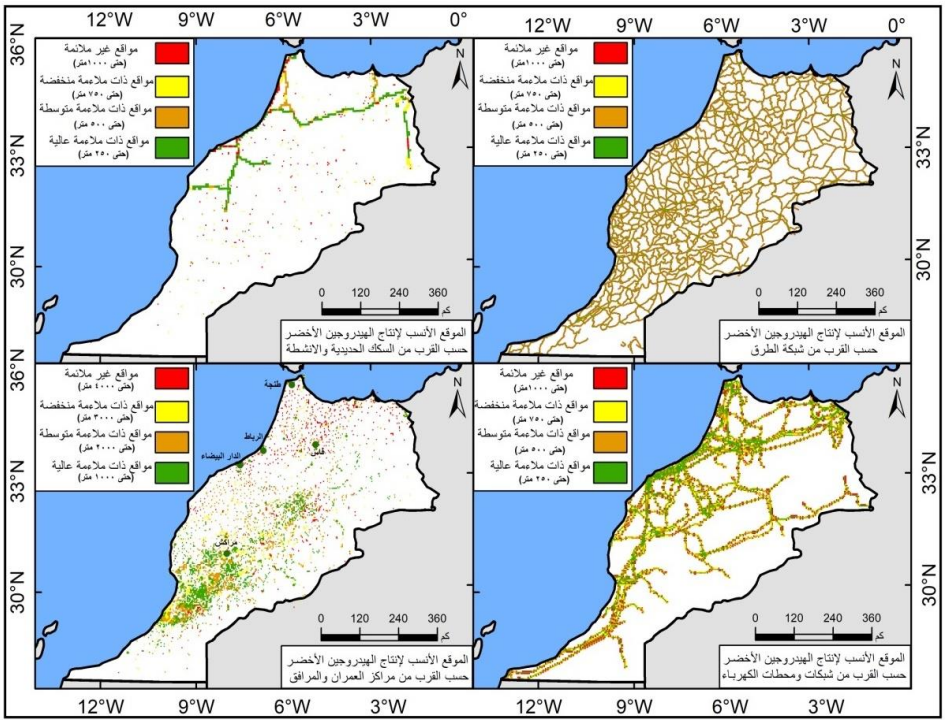

**المصدر: مِن إعداد الباحثين، اعتمادًا على جدول (١٣).**

**شكل (٢٩-أ) بعض المعايير الطبيعيَّة لتحديد أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة**




**المصدر: مِن إعداد الباحثين، اعتمادًا على جدول (١٣).**

**شكل (٢٩-ب) بعض المعايير الطبيعيَّة لتحديد أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة**



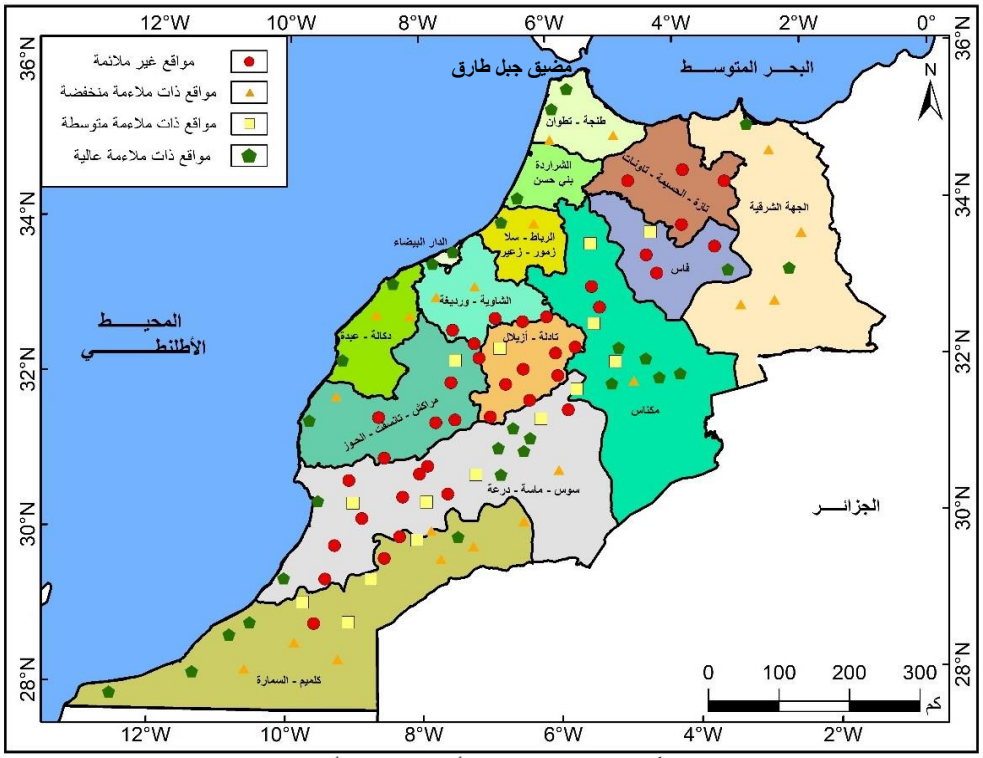

**المصدر: مِن إعداد الباحثين، اعتمادًا على جدول (١٣).**

**شكل (٣٠) بعض المعايير البَشريَّة لتحديدِ أَنْسَب المَواقع لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة**

يَتضحُ مِن خِلال تحليل **خرائط المُلاءمة المكانيَّة، أشكال (٢٩ "أ، ب"، و ٣٠)** أن المَناطق **الأقل مُلاءمة،** لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر، هي تلك المناطق المُتضرسة شديدة الانحدار، الواقعة في مرتفعات سلاسل جبال أطلس، بينما تُعَدُّ المناطق الشماليَّة ذات **مُلاءمة مُنخفضة،** أما مناطق **المُلاءمة المُتوسطة** فتنتشرُ في العَديدِ مِن مواقع المَملكة، خاصةً على ساحل المُحيط الأطلنطي، أما المواقع **الأعلى ملاءمة،** فتتمثَّل في وَسَطِ، وشرق، وجنوب شرق المَملكة المَغربيَّة، وكذلك في مناطق تصريف الأنهار.

يَتضحُ مِن خِلال تحليل **الخريطة القياسيَّة المُجمَّعة (شكل ٣١)**؛ لتحديد أَنْسَب المَواقع المُقترحة لإنشاءِ مَحطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة، أن المَناطق الوسطى، التي تتماشى مع سلاسل جبال أطلس وسفوحها، هي تلك المواقع ذات

الأقل تنافُسيَّة في إنتاج الهيدروجين الأخضر، وذلك بمساحة تبلُغُ نحو ٢٢ % مِن إجمالي مِساحة المَملكة المَغربيَّة. وبالنسبةِ للمَواقع ذات الإمكانات المُنخفضة لإنتاجِ الهيدروجين الأخضر، فتبلُغُ نحو ٢٩ %، وتتركَّزُ في المناطق الشرقيَّة مِن إقليم كلميم – السمارة، والمناطق الوسطى مِن إقليم الشاوية – ورديغة، وإقليم مراكش –تانسفت–الحوز، وبَعض النطاقات المُبَعثرة مِن إقليم سوسة – ماسة، وإقليم دكالة – عبده.




**المصدر: مِن إعداد الباحثين، اعتمادًا على جدول (١٣)، وأشكال (٢٩ "أ، ب"، و٣٠).**

**شكل (٣١) أنْسَب المَواقع المُقترحة لإنشاء محطات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة**

أمَّا المناطق مُتوسطة الإمكانات لإنتاج الهيدروجين الأخضر، فتبلُغُ نحو ٣٦ % مِن إجمالي مِساحة المَملكة المَغربيَّة، وتتوزَّعُ في فاس، ومكناس، وكلميم، ودرعة، والسمارة، وسوس، وماسة. وثَمَّة نحو ١٣ % مِن إجمالي مِساحة المَملكة المَغربيَّة ذات إمكانات عالية في استقطاب استثمارات كبيرة لإنتاج الهيدروجين الأخضر، تَتَمَثَّلُ تلك المواقع في مناطق **ورزازات، ميدلت، الرشيديَّة، طرفاية**، وفي مَواضع السدود الكهرومائيَّة.

## الخَاتمـة

### أولاً: النتائج:

➢ **خَلُصَت الدراسة إلى النتائج الأتية:**

١. **تَفتقرُ المَملكة المَغربيَّة إلى مَصادرِ الطاقة الأحفوريَّة**، ولكنها **تمتلكُ إمكانات كبيرة لإنتاجِ الكهرباء مِن مَصادر الطاقة المُتجدّدة**، وبخاصةٍ الطاقة **الشمسيَّة** وطاقة **الرياح**، مِمّا جَعلها تَهتمُّ ببناءِ وتطوير قِطاع الطاقة المُتجدّدة، مِن خِلال زيادة الاستثمار في ذلك القطاع بنسبةٍ بَلغت **٣٢ %**، وبالتالي زيادة فُرص الاستثمار في إنتاجِ الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة؛ مِمَّا يَحِدُّ مِن انبعاثات غازات الاحتباس الحَراري، وبخاصةٍ غاز ثاني أكسيد الكربون $CO_2$.

٢. **المَغرب أَكْبَر مستورد للفَحمِ في إفريقيا**، وثاني أَكْبَر مستورد للفَحمِ الأمريكي في العَالَم، بَعد الهند؛ حيثُ تستوردُ حوالي **٧٥٠ ألف طن** مِن الفَحمِ شَهريًّا.

٣. تَمتلكُ المَغرب العَديد مِن **المَعايير الطبيعيَّة، كـ**(المُناخ، مظاهر السطح، موارد المياه)، التي تُمَكِّنها مِن زيادةِ وتطوير إنتاج الهيدروجين الأخضر، وبالتالي إنتاج الكهرباء.

٤. **المَملكة المَغربيَّة إحدى دول الحِزام الشمسي، التي تَمتلكُ مُعدَّلات إشعاع شمسي كبيرة**؛ حيثُ تتعرضُ أغلب أراضيها، **سَنويًّا**، لأكثرِ مِن **٣٠٠٠ ساعة** مِن **عَدَد ساعات سطوع الشمس الفِعليَّة Actual Sunshine**، وتَصلُ في بَعض المناطق الصحراويَّة الجنوبيَّة إلى **٣٦٠٠ ساعة** سَنويًّا، وتتراوحُ **كميَّة طاقة الإشعاع الشمسي** بين **٥ كيلو وات/ متر٢/ يوم** في شمال المَغرب، وبين **٦,٥ كيلو وات/ متر٢/ يوم** في الجنوب؛ مِمَّا يَجعلُ المَملكة المَغربيَّة أرضًا واعدةً للاستفادةِ وتطوير الطاقة الشمسيَّة.

٥. تَمتلكُ المَملكة المَغربيَّة، بحُكْمِ **موقعها الاستراتيجي**، دَوْرًا مِحوريًّا في جَذب الاستثمارات؛ مِمَّا يَجعلها **مركزًا إقليميًّا للطاقةِ**، يَربطُ بين شمال أفريقيا وجنوب أوروبا.

٦. **تنوَّعُ مَصادر إنتاج الطاقة الكهربائيَّة بالمَملكةِ المَغربيَّة**، بين المَصادر (الحَراريَّة، والرياحيَّة، والشمسيَّة، والمَائيَّة). تتصَدَّرُ المَصادر **الحَراريَّة المَركز الأوَّل** في إنتاج الطاقة الكهربائيَّة، خِلال فترة الدارسة، إذ بَلغت ٣٣١٢٩ مليون ك.و.س، في عام ٢٠٢٢م، يَليها المَصادر **الريحيَّة**، ثُمَّ **الشمسيَّة**، و**أخيرًا المَصادر المَائيَّة**، بكميَّات إنتاج (٥٦٨١، ٢٠٨٧، ١٩٢١ مليون/ كيلو وات/ ساعة) على التوالي.

٧. **مُتوسط استهلاك الطاقة الكهربائيَّة** بالمَملكةِ المَغربيَّة، في عام **٢٠٢٢م**، قد تجاوزَ **٢٢,٦ مليون طن مكافئ بترول**، وقد استحوذت **المُشتقات البترولِيَّة** على النصيبِ الأكبرِ مِن الاستهلاك بنحوِ **١١,٧ مليون طن مكافئ بترول**، يَليها استهلاك **الفَحم** بنحوِ **٧,٤ مليون طن مكافئ بترول**، مِمَّا وَضعَ **قِطاع الكَهرباء**، بالمغربِ، ضِمن **أَكثر القطاعات كثافةً في الانبعاثات الكربُونيَّة**.

٨. **تتركَّزُ الانبعاثات الكربونيَّة**، بأكثرِ مِن **٦ مليون طن**، فوق المناطق الساحليَّة، والمناطق الوسطى بالمَملكةِ المغربيَّة؛ لِكوْنها أكثر المناطق في عَددِ السكان، وبالتالي زيادة الطَّلب على الطاقةِ الكهربائيَّة.

٩. تُعَدُّ **المناطق الشماليَّة** للمَملكةِ المَغربيَّة، المُطِلَّة على ساحلي البَحر المتوسط والمُحيط الأطلنطي، هي **الأنْسَب لإنشاءِ مَزارع الريَاح**؛ نظرًا لزيادةِ سُرعة الريَاح عليها، بينما **المناطق الوسطى والجنوبيَّة**، هي **الأنْسَب لإنشاءِ مَحطات الطاقة الشمسيَّة**؛ نظرًا لِقلَّةِ نِسبة التغييم، وزيادة كَميَّة الإشعاع الشمسي، وبالتالي توليد طاقة كهربائيَّة نظيفة مُستدامة، يُمكِنُ استخدامها في إنتاج الهيدروجين الأخضر.

**ثانيًا: التوصيّات:**

- **تُوصي الدراسة، وفقًا لِمَا توصَّلت إليه مِن نتائجٍ، بما يلي:**

١. **رَفْع كفاءة البنية التحتيَّة واللوجستيَّة للطاقةِ المُتجدّدة**، مِثل: الاهتمام بصيانةِ شَبَكة الطُّرق البَريَّة، وشَبكة الرَبْط الكهربائي، التي تُعَزِّزُ مِن زيادةِ فُرص الاستثمار في مَشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر بالمَملكةِ المَغربيَّة.

٢. **التوسُّع في إنشاءِ مَحطات الطاقة الشمسيَّة "الفوتوفولتيَّة" Photovoltaic**، بمناطق: ورزازات، والرشيدية، وميدلت، وسوس ماسة؛ نظرًا لارتفاع درجة الحرارة، وزيادة كميَّات الإشعاع الشمسي بهذه المناطق، كما أنَّ توليد الطاقة الكهربائيَّة بواسطة الخلايا الشمسيَّة الفوتوفولتيَّة تُعَدُّ خيارًا اقتصاديًّا مَقبولًا على المَدى الطويل.

٣. **التوسُّع في إنشاء مَزارع الرياح**، في: طرفاية، والسمارة، وامتدادهما الساحلي.

٤. **استخدام مِياه الصرف (الصحي، والزراعي، والصناعي) المُعالجة في عمليَّات التبريد وغسيل الألواح الشمسيَّة**، حيثُ تَستهلكُ محطات الطاقة الشمسيَّة كمِيَّات كبيرة مِن المِياه.

٥. **تطوير تكنولوجيا وسائل التبريد الهَوائي**؛ لِخفض درجة حرارة الخَلايا والألواح الشمسيَّة، لِرفع كفاءة إنتاج الكهرباء، وارتفاع جُهد التيَّار الكهربائي، بمشروعات توليد الطاقة في ميدلت، والرشيدية، ونور ورزازات.

٦. الاتجاه نحو **استخدام تطبيقات الذكاء الاصطناعي Artificial Inelegance Apps**، و**نماذج المُحاكاة Simulation Models** لِعمل سيناريوهات أَنْسب المَواقع لإنشاءِ مَحطات الطاقة المُتجدّدة، ومَا يَترتب عليه مِن إنتاجِ الهيدروجين الأخضر.

٧. **استخدام النمذجة مُوجهة الأهداف Objects Oriented Modeling** لتحليل البيانات المَكانيَّة مُتعددة الأبعاد، وتخزينها في نُظم قواعد البيانات، واستخدام أدوات **الوسائط المُتعدِّدة المَكانيَّة Spatial Multimedia**، وكذلك استخدام تقنيات **الاستشعار عن بُعد Remote Sensing** لتصوير المَناطق الجُغرافيَّة البَعيدة، وتخزينها في قواعد بيانات مَكانيَّة، يُمكن الاستعانة بها في إنشاءِ، أو تطوير مشروعات إنتاج الهيدروجين الأخضر.

مُلحق (١) المُعَدَّلات الشهريَّة والسنويَّة لمُتوسط درجة الحَرارة (°س) في المَملكةِ المَغربيَّة، خِلال الفترة (٢٠٠٠-٢٠٢٢م)

| محطة الأرصاد | ديسمبر | يناير | فبراير | مارس | أبريل | مايو | يونيو | يوليو | أغسطس | سبتمبر | أكتوبر | نوفمبر | المتوسط |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مطار طنجة | ٧,٥ | ٧,٨ | ٩,٢ | ١٠,٩ | ١٧,٥ | ٢١,١ | ٢٥,٣ | ٢٩,٥ | ٣٠,٥ | ٢٦,٨ | ١٩,٧ | ١٣,٧ | ١٨,٣ |
| الحسيمة | ٥,٥ | ٧,٢ | ٧,٩ | ٨,٧ | ١٥,٨ | ١٩,١ | ٢٢,٧ | ٢٧,٠ | ٢٨,٣ | ٢٤,٣ | ١٧,٧ | ١٢,١ | ١٦,٣ |
| الناظور | ٥,٩ | ٧,١ | ٧,٧ | ٨,٩ | ١٦,٢ | ١٩,٤ | ٢٣,٦ | ٢٧,٦ | ٢٨,٩ | ٢٤,٣ | ١٨,٢ | ١٢,٧ | ١٦,٧ |
| وجدة | ٣,٨ | ٥,٦ | ٦,٢ | ٧,٥ | ١٤,٧ | ١٨,٦ | ٢١,٧ | ٢٦,٤ | ٢٧,١ | ٢٢,٨ | ١٦,٨ | ١٠,٥ | ١٥,١ |
| تازة | ٧,٩ | ٩,٢ | ١٠,٣ | ١١,٥ | ١٨,٧ | ٢٢,٦ | ٢٥,٨ | ٣٠,٩ | ٣٢,٠ | ٢٧,٧ | ٢٠,٤ | ١٤,٦ | ١٩,٣ |
| القنطرة | ١١,١ | ١٠,٥ | ١٢,٨ | ١٥,٤ | ٢١,٧ | ٢٥,٨ | ٢٩,٧ | ٣٣,٦ | ٣٤,٠ | ٣١,١ | ٢٤,١ | ١٧,٥ | ٢٢,٣ |
| فاس | ٨,٦ | ٩,٧ | ١١,٢ | ١٢,٦ | ٢٠,٠ | ٢٤,٤ | ٢٧,٨ | ٣٢,٦ | ٣٣,٤ | ٢٩,٢ | ٢١,٨ | ١٥,٣ | ٢٠,٥ |
| مكناس | ١٠,٠ | ١٠,٤ | ١٢,٣ | ١٤,٢ | ٢١,٣ | ٢٥,٥ | ٢٨,٨ | ٣٣,٧ | ٣٣,٩ | ٣٠,٨ | ٢٣,٢ | ١٦,٣ | ٢١,٧ |
| الرباط - سلا | ١١,١ | ١٠,٥ | ١٢,٨ | ١٥,٤ | ٢١,٧ | ٢٥,٨ | ٢٩,٧ | ٣٣,٦ | ٣٤,٠ | ٣١,١ | ٢٤,١ | ١٧,٥ | ٢٢,٣ |
| أفران | ١٠,٠ | ١٠,٤ | ١٢,٣ | ١٤,٢ | ٢١,٣ | ٢٥,٥ | ٢٨,٨ | ٣٣,٧ | ٣٣,٩ | ٣٠,٨ | ٢٣,٢ | ١٦,٣ | ٢١,٧ |
| الدار البيضاء | ١٠,٢ | ٩,٦ | ١١,٩ | ١٤,٨ | ٢٠,٨ | ٢٥,٢ | ٢٩,١ | ٣٢,٧ | ٣٢,٩ | ٣٠,٧ | ٢٣,٦ | ١٧,١ | ٢١,٦ |
| الراشيدية | ١٠,٠ | ١٠,٤ | ١٢,٦ | ١٥,٢ | ٢٢,٣ | ٢٧,٤ | ٣٠,٨ | ٣٥,٦ | ٣٥,٦ | ٣٢,٤ | ٢٣,٩ | ١٦,٥ | ٢٢,٧ |
| ميدلت | ١١,٤ | ١٠,٤ | ١٢,٩ | ١٦,٥ | ٢٢,٨ | ٢٧,٨ | ٣١,٧ | ٣٥,٩ | ٣٥,٤ | ٣٢,٧ | ٢٤,٥ | ١٨,٣ | ٢٣,٤ |
| بني ملال | ١٠,٢ | ٩,٩ | ١٢,٢ | ١٥,٢ | ٢١,٩ | ٢٦,٥ | ٣٠,٤ | ٣٤,٥ | ٣٤,٧ | ٣١,٨ | ٢٤,٠ | ١٧,٢ | ٢٢,٤ |
| مراكش | ١٠,٧ | ١٠,٧ | ١٣,٠ | ١٥,٣ | ٢١,٧ | ٢٦,٧ | ٣٠,٨ | ٣٤,٤ | ٣٤,٥ | ٣١,٨ | ٢٣,٧ | ١٨,١ | ٢٢,٦ |
| الصويرة | ١٠,٣ | ١٠,٣ | ١٢,٦ | ١٤,٦ | ٢٠,٩ | ٢٦,١ | ٣٠,١ | ٣٣,٥ | ٣٣,٦ | ٣١,١ | ٢٣,٢ | ١٧,٧ | ٢٢,٠ |
| ورزازات | ١١,٠ | ١١,٤ | ١٣,٧ | ١٦,٣ | ٢٣,١ | ٢٨,٣ | ٣٢,٢ | ٣٥,٩ | ٣٥,٨ | ٣٣,١ | ٢٤,٣ | ١٨,٥ | ٢٣,٦ |
| أغادير | ١٠,٤ | ١٠,٨ | ١٣,١ | ١٥,١ | ٢١,٦ | ٢٧,٢ | ٣١,٠ | ٣٤,٦ | ٣٤,٣ | ٣١,٧ | ٢٣,٢ | ١٨,٣ | ٢٢,٦ |
| سيدي آسفي | ٩,٩ | ٩,٨ | ١١,٩ | ١٤,٢ | ٢٠,٣ | ٢٤,٨ | ٢٩,١ | ٣٢,٣ | ٣٢,٧ | ٣٠,٢ | ٢٣,٢ | ١٧,٥ | ٢١,٣ |
| طانطان | ١١,٧ | ١١,٩ | ١٤,١ | ١٧,٢ | ٢٢,٣ | ٢٨,٣ | ٣١,٣ | ٣٣,٣ | ٣٣,٧ | ٣١,١ | ٢٣,٠ | ١٨,٠ | ٢٣,٠ |
| طرفاية | ١٢,٧ | ١٣,٤ | ١٤,٩ | ١٩,٧ | ٢٤,٣ | ٢٨,٨ | ٣١,٢ | ٣١,٢ | ٣٢,٠ | ٢٩,٨ | ٢٣,٠ | ١٩,٤ | ٢٣,٤ |

المصدر: https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/morocco

## المَصادر والمَراجع

### أولاً: المَصادر والمَراجع باللغة العربيَّة:


١. **أطالس أفريقيا (٢٠١٣).** *أطلس المَغرب*. جامعة محمد الخامس. المَغرب: الرباط.

٢. **التركماني، جودة فتحي (٢٠٠٤).** *أصول البحث الجُغرافي: النظريَّة والتطبيق*. (ط. ١). المملكة العربية السعودية. الرياض: مكتبة العبيكان.

٣. **الكعبية، عائشة بنت سالم بن جمعة (٢٠٢٣).** *تحديد وتقييم أفضل المَواقع لمشاريع إنتاج الهيدروجين الأخضر في سلطنة عُمان*. (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة السلطان قابوس. كُليَّة الآداب والعلوم الاجتماعيَّة. قِسم الجُغرافيَا.

٤. **المَندوبيَّة الساميَّة للتخطيط (٢٠٢٣).** الهيئة العامة للإحصاءِ بالمَملكةِ المَغربيَّة، نشرة إحصاءات النقل البَري. المَملكة المَغربيَّة: الرباط.

٥. **المَندوبيَّة الساميَّة للتخطيط (٢٠١٦م، ٢٠٢٠م، ٢٠٢٢م).** في أرقام، الطبعات: (٥٤ و٥٨ و٦٠). المَملكة المَغربيَّة: الرباط.

٦. **المُنظمة العالميَّة للأرصاد الجويَّة (WMO) (١٧مايو٢٠٢٢).** *تقرير أربعة مُؤشِّرات رئيسية لتغيُّر المُناخ تُحطِّم الأرقام القياسيَّة في عام ٢٠٢١*، تمّ الاسترجاع **في:** ١٧ **أكتوبر ٢٠٢٣** **https://wmo.int/ar/media/arbt-mwshrat-ryysyt-ltghyr-almnakh-thtm-alarqam-alqyasyt-fy-am-2021**

٧. **تقرير المُناخ والتنمية (أكتوبر٢٠٢٢).** *المَغرب: المُلخص التنفيذي*. مجموعة البنك الدولي. **https://documents1.worldbank.org/curated/en/0990522231710142 48/pdf/P17737605e17bf01c09620072cbe46dd96d.pdf**

٨. **طُلْبة، شحاتة سيد أحمد (١٩٩٠).** *المَطَر في مِصر: دراسة في الجُغرافية المُناخيَّة*. (رسالة ماجستير غير منشورة). جامعة القاهرة. كُليَّة الآداب. قِسم الجُغرافيَا.

٩. **عنبر، محمود عبد الفتاح محمود عبد اللطيف (٢٠١٠).** *مُناخ شرقي دلتا النيل وآثاره البيئيَّة: باستخدام نُظم المعلومات الجُغرافيَّة والاستشعار عن بُعد*. (رسالة ماجستير منشورة). جامعة القاهرة. كلية الآداب. قسم الجُغرافيَا.

١٠. **عنبر، محمود عبد الفتاح محمود عبد اللطيف (٢٠١٥).** *الأخطار المُناخيَّة والبيئيَّة في مُنخفض الواحات البَحريَّة: دراسة باستخدامِ تقنيات الاستشعَار عن بُعد وتطبيقات نُظم المَعلومات الجُغرافيَّة*. (أطروحة دكتوراة مَنشورة). جامعة القاهرة. كلية الآداب. قسم الجُغرافيَا.

١١. **ماتيس، كورنيليوس & أوفو، فاليريا & برادو، لويس ريتبي. ترجمة: خليفات، نهى فؤاد (٢٠٢٠).** *تحديات وفُرص إنتاج الهيدروجين الأخضر وتصديره مِن منطقةِ الشرق الأوسط وشمال أفريقيا إلى أوروبا*. تقرير موجَّه إلى مُؤسسة فريدريش إيبرت. المَملكة الأردنيَّة الهاشميَّة. عَمَّان: المكتبة الوطنيَّة.

١٢. **موسى، على حسن (١٩٨٣).** *الوجيز في المُناخ التطبيقي*. دمشق: دار الفِكْر.

**ثانيًا: المَصادر والمَراجع باللغةِ الإنجليزيَّة:**

1. **Aarich, N. & Bennouna, A. & Erraissi, N. & Raoufi, M. & Asselman, A. & Barhdadi, A. & Aboufrass, M., (2024).** *Assessment the long-term performance ratio maps of three grid-connected photovoltaic systems in the Moroccan climate*, Energy for Sustainable Development, Vol.79, https://doi.org/10.1016/j.esd.2024.101388
2. **Abdel-Basset, M. & Gamal, A. & Chakrabortty, R. K. & Ryan, M. J., (2021).** *Evaluation of Sustainable Hydrogen Production Options Using an Advanced Hybrid MCDM Approach: A Case Study*, International Journal of Hydrogen Energy,Vol.46, No.(5), Pp.4567-4591, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.10.232
3. **Acar, C. & Beskese, A. & Temur, G. T., (2018).** *Sustainability Analysis of Different Hydrogen Production Options Using Hesitant Fuzzy AHP*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.43, No. (39), Pp.18059-18076, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.024
4. **Adeli, K. & Nachtane, M. & Faik, A. & Rachid, A. & Tarfaoui, M. & Saifaoui, D., (2024).** *A Deep Learning-Enhanced Framework for Sustainable Hydrogen Production from Solar and Wind Energy in the Moroccan Sahara: Coastal Regions Focus*. Energy Conversion and Management, Vol.302, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118084
5. **Adeli, K. & Nachtane, M. & Faik, A. & Saifaoui, D. & Boulezhar, A., (2023).** *How Green Hydrogen and Ammonia are Revolutionizing the*

*Future of Energy Production: A Comprehensive Review of the Latest Developments and Future Prospects*, Vol.13, No. (15), https://doi.org/10.3390/app13158711

6. **Ademola A. Adenle (2020).** *Assessment of solar energy technologies in Africa-opportunities and challenges in meeting the 2030 agenda and sustainable development goals*, Energy Policy,Vol.137, Pp.812-828, https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111180
7. **African Development Bank (2023).** *Ouarzazate Solar Power Station Project II, Environmental and Social Impact Assessment (ESIA)*.
8. **Ahmed, M., & Aqnouy, M., & El Messari, J., (2021).** *Sustainability of Morocco's groundwater resources in response to natural and anthropogenic forces*. Journal of Hydrology,Vol.603, Part (A), https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126866
9. **Akarsu, B. & Serdar, M., (2022).** *Optimization of electricity and hydrogen production with hybrid renewable energy systems*, Vol.324, Part (A), https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.124465
10. **Alhamed, H., & Biad, M., & Saad, S., Masaki, M., (2018).** *Business Opportunities Report for Reuse of Wastewater in Morocco*, Commissioned by the Netherlands Enterprise Agency, Netherlands Enterprise Agency, RVO. https://nabc.nl/wp-content/uploads/2020/08/BOR-Re-use-of-Waste-water-Morocco_16_4_2018.pdf
11. **Anas, H., & Youness, E., & Halima,Y., Nawal, A., & Mohamed, C., (2021).** *Novel climate classification based on the information of solar radiation intensity: An application to the climatic zoning of Morocco*, Energy Conversion and Management, Vol.247, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114770
12. **Ben Fares, M, S., & Abderafi, S., (2018).** *Water consumption analysis of Moroccan concentrating solar power station*, Solar Energy, Vol. 172, Part (2), Pp.146-151, https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.06.003
13. **Bouchaala, A. & Merroun, O. & Arkam, Y. & Sakim, A. & Mikdam, A., (2024).** *Energy saving and economic competitiveness of solar desiccant cooling technology – A case study of the Moroccan*

*Kingdom*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.192, https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114188

14. **Chang, P. L. & Hsu, C. W. & Chang, P. C., (2011).** *Fuzzy Delphi Method for Evaluating Hydrogen Production Technologies*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.36, No.(21), Pp.14172 - 14179, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2011.05.045
15. **El Hafdaoui, H. & Khallaayoun, A. & Ouazzani, K., (2024).** *Long-Term Low Carbon Strategy of Morocco: A Review of Future Scenarios and Energy Measures*, Results in Engineering, Vol.21, https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101724
16. **FAO (2020).** *Groundwater Management in Morocco*, Synthesis Report, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, P.P. 22-39
17. **Haines, M. B. & Moore, Sh. & Adornetto, T., (2023).** *Suspending democratic (dis)belief: Nonliberal energy polities of solar power in Morocco and Tanzania*, Energy Research & Social Science, Vol.96, https://doi.org/10.1016/j.erss.2023.102942
18. **Hajou, A. & EL-Mghouchi, Y. & Chaoui, M., (2024).** *Novel approaches for wind speed evaluating and solar-wind complementarity assessing*, Renewable Energy Focus, Vol.48, https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100547
19. **Jbaihi, O. & Ouchani, F. & Merrouni. A. & Cherkaoui, M. & Ghennioui, A. & Maarouf, M., (2024).** *An AHP-GIS based site suitability analysis for integrating large-scale hybrid CSP+PV plants in Morocco: An approach to address the intermittency of solar energy*, Journal of Cleaner Production, Vol.369, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133250
20. **Kabir, M. M., & Roy, S. K., & Alam, F., & Nam, S. Y., & Im, K. S., & Tijing, L., & Shon, H. K., (2023).** *Machine learning-based prediction and optimization of green hydrogen production technologies from water industries for a circular economy*, Desalination, Vol.567, https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116992

21. **Khouya, A., (2020).** *Levelized costs of energy and hydrogen of wind farms and concentrated photovoltaic thermal systems. A case study in Morocco*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.45, No. (56), Pp.31632-31650, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.08.240
22. **Lee, B. & Lim, D. & Lee, H. & Lim. H., (2021).** *Which Water Electrolysis Technology is Appropriate?: Critical Insights of Potential Water Electrolysis for Green Ammonia Production*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.143, https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110963
23. **Leonard, A. & Ahsan, A. & Charbonnier, F. & Hirmer, S., (2024).** *Renewable Energy in Morocco: Assessing Resource Curse Risks*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 192, https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.114210
24. **Mahdavi, M., & Vera, D., (2023).** *Importance of renewable energy sources and agricultural biomass in providing primary energy demand for Morocco*, International Journal of Hydrogen Energy,Vol.48, No.(88), Pp.34575-34598, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.246
25. **Mensour, O. N. & El Ghazzani, B. & Hlimi, B. & Ihlal. A., (2019).** *A geographical information system-based multi-criteria method for the evaluation of solar farms locations: A case study in Souss-Massa area, southern Morocco*, Energy, Vol.182, P.P. 900-919, https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.06.063
26. **Nikolaidis, P. & Poullikkas. A., (2017).** *A Comparative Overview of Hydrogen Production Processes*, Renewable and Sustainable Energy Reviews,Vol.67, Pp.597-611, https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.044
27. **Ougazzou, M. & El Maakoul, A. & Khay, I. & Degiovanni, A. & Bakhouya, M., (2024).** *Techno-economic and environmental analysis of a ground source heat pump for heating and cooling in Moroccan climate regions*, Energy Conversion and Management, Vol.304, https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118250
28. **Pilavachi, P. A. & Chatzipanagi. A. I. & Spyropoulou. A. I., (2009).** *Evaluation Of Hydrogen Production Methods Using the Analytic*

*Hierarchy Process*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.34, No.(13), Pp.5294-5303, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2009.04.026

29. **Rashid, M. & Al Mesfer, M. K. & Naseem, H. & Danish, M., (2022).** *Hydrogen Production by Water Electrolysis: A Review of Alkaline Water Electrolysis, PEM Water Electrolysis and High Temperature Water Electrolysis*, International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), Vol.4, No. (3), Pp.80-94, https://www.ijeat.org/portfolio-item/C3749024315/
30. **Ren, J. & Fedele, A. & Mason, M. & Manzardo, A. & Scipioni, A., (2013).** *Fuzzy Multi-Actor Multi-Criteria Decision Making for Sustainability Assessment of Biomass-Based Technologies for Hydrogen Production*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.38, No.(22), Pp.9111-9120, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.05.074
31. **Ren, J. & Gao, S. & Tan, S. & Dong. L. & Scipioni, A. & Mazzi, A., (2015).** *Role Prioritization of Hydrogen Production Technologies for Promoting Hydrogen Economy in the Current State of China*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.41, Pp.1217-1229, https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.09.028
32. **Seker, S. & Aydin. N., (2022).** *Assessment of Hydrogen Production Methods Via Integrated MCDM Approach Under Uncertainty*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.47, No. (5), Pp.3171-3184, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.07.232
33. **Taoufik, M., & Fekri, A., (2023).** *A GIS-based multi-criteria decision-making approach for site suitability analysis of solar-powered hydrogen production in the Souss-Massa Region, Morocco*, Renewable Energy Focus, Vol.46, Pp.385-401, https://doi.org/10.1016/j.ref.2023.08.004
34. **Taoufik, M., & Meriem, L., & Fekri, A., (2021).** *Land suitability analysis for solar farms exploitation using the GIS and Analytic Hierarchy Process (AHP) – A case study of Morocco*, ENERGY POLICY JOURNAL, Vol.24, Issue (2), Pp.79-96, https://doi.org/10.33223/epj/133474
35. **Touili, S., & Bouaichi, A., & Merrouni, A., & Amrani, A., & El Amrani, A., & El Hassouani, Y., & Messaoudi, C., (2022).**

*Performance analysis and economic competiveness of 3 different PV technologies for hydrogen production under the impact of arid climatic conditions of Morocco*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.47, Issue. 74, P.P. 31596-31613, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.07.088

36. **Yakoubi, H. & EL Mghouchi, Y. & Abdou, N. & Hajou, A. & Khellouki, A., (2021).** *Correlating clearness index with cloud cover and other meteorological parameters for forecasting the global solar radiation over Morocco*, Optik, Vol. 242, Pp.145-167, https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2021.167145
37. **Xu, D. & Li, W. & Ren, X. & Shen, W. & Dong, L., (2020).** *Technology Selection for Sustainable Hydrogen Production: A Multi-Criteria Assessment Framework Under Uncertainties Based on the Combined Weights and Interval Best-Worst Projection Method*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol.45, No. (59), Pp.34396-34411, https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.030

**ثالثًا: المَواقع الإلكترونيَّة:**

١. **هيئة المساحة الجيولوجيَّة الأمريكيَّة *(United States Geological Survey (USGS)*،** تمّ الاسترجاع **في: ٢٠ مايو٢٠٢٣**

- *https://earthexplorer.usgs.gov/*

٢. **جوجل إيرث برو *Google Earth Pro*،** تمّ الاسترجاع **في: ٢٠ مايو٢٠٢٣**

- *https://earth.google.com/web/*

٣. **القاموس الموسوعي للمُفردات البيئيَّة *General Multilingual Environmental Thesaurus (GEMET)*،** تمّ الاسترجاع **في: ١٥ يونيو٢٠٢٣**

- *https://www.eionet.europa.eu/gemet/ar/concept/4612*

٤. **البيانات المُناخيَّة للمَملكةِ المغربيَّة،** تمّ الاسترجاع **في: ٢٠ يوليه٢٠٢٣**

- *https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/morocco*
- *https://solargis.com/resources/free-maps-and-gis-data?locality=morocco*

٥. الطاقة ***"ATTAQA"*، تمّ** الاسترجاع **في: ٣٠ أغسطس٢٠٢٣**

- *https://attaqa.net/2022/08/24/أول-قطار-يعمل-بالهيدروجين-في-العالم-بن/*

٦. صوت المغرب "the Voice"، تمّ الاسترجاع **في: ١٧ سبتمبر٢٠٢٣**

- *https://www.thevoice.ma/المغرب-ثاني-أكبر-مستورد-للفحم-الأمريكي/*

٧. **إنتربرايز** *"The State of Nation" Enterprise*، تمّ الاسترجاع **في: ٢١ أكتوبر ٢٠٢٣**
- https://enterprise.press/ar/greeneconomys

٨. ***"i24 News"***، تمّ الاسترجاع **في: ٢٧ أكتوبر٢٠٢٣**
- https://www.i24news.tv/ar/أخبار/دولي/افريقيا/١٦٨٣٠١٨٩٧٨-المغرب-ألمانيا-تمول-بناء-مصنع-لإنتاج-الهيدروجين-الأخضر-في-مدينة-طرفاية-بالصحراء-بمبلغ-٣٠٠-مليون-يورو

٩. **خريطة المغرب ٣٦٠° *MoroccoMap360°***، تمّ الاسترجاع **في: ٣٠ أكتوبر٢٠٢٣**
- https://ar.moroccomap360.com/خريطة-المغرب

١٠. **وكالة الطاقة الدوليَّة *"IEA"*** *International Energy Agency*، تمّ الاسترجاع **في: ٣٠ أكتوبر٢٠٢٣**
- https://www.iea.org/energy-system/fossil-fuels

١١. **المَركز المِصري للفِكرِ والدراسات الاستراتيجيَّة *"ECSS"*** *Egyptian Center for Strategic Studies*، تمّ الاسترجاع **في: ١٠ ديسمبر٢٠٢٣**
- https://ecss.com.eg/38903

١٢. **مدينة ورزازات المَغربيَّة**، جماعة ورزازات، تمّ الاسترجاع **في: ٢١ مارس٢٠٢٤**
- https://www.commune-ouarzazate.ma/ar محطة-نور-للطاقة-الشمسية-ورزازات

١٣. **أطلس المَوارد الشمسيَّة للمَغرب *Solar Resource Atlas of Morocco***، تمّ الاسترجاع **في: ١٠ أبريل٢٠٢٣**
- https://solaratlas.masen.ma/map?c=28.886494:-9.05077:5&s=31.625815:-7.989137

١٤. **الأطلس الشمسي العَالَمي *"GSA"* (V.2.11) Global Solar Atlas مايو٢٠٢٤).**
- https://globalsolaratlas.info/map

١٥. **أطلس الريَـاح العَالَمي *"GWA"* (V.3.3) Global Wind Atlas مايو٢٠٢٤).**
- https://globalwindatlas.info/ar/area/Morocco

١٦. **الوكالة المَغربيَّة للطاقةِ المُستدامة *"MASEN"***، تمّ الاسترجاع **في: ٥ مايو٢٠٢٤**
- https://www.masen.ma/en

١٧. **مركز البحوث البيئيَّة العَالمي "CGER"** The Center for Global Environmental Research، تمّ الاسترجاع **في: ٢٠ مايو٢٠٢٤**
- https://db.cger.nies.go.jp/dataset/ODIAC/DL_odiac2023.html

**********