الملاءمة المكانية لتقييم الموقع الأمثل لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بمنطقة ورزازات بالمملكة المغربية
باستخدام نظم المعلومات الجغرافية وعملية التسلسل الهرمي التحليلي

د. ماهر حامد سعداوي(*) د. جابر سمير عبد الحميد(*)

- **مُلخص:**

تهدف الدراسة إلى تطبيق تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وعملية التسلسل الهرمي التحليلي في الوصول إلى الملاءمة المكانية لتقييم الموقع الأمثل لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بمنطقة ورزازات بالمملكة المغربية، مع بناء نموذج مقترح لتقييم الاختيار القائم لمحطات نور ورزازات لإنتاج خرائط توضح المناطق الأكثر ملاءمة لإقامة محطات كهرباء تعتمد على الطاقة الشمسية، للحد من استهلاك الوقود الأحفوري. ولتحقيق أهداف البحث تم الاعتماد على البيانات المناخية من المرئيات الفضائية، والتي تضمنت: الإشعاع الشمسي، ودرجة الحرارة، والرطوبة النسبية، وسرعة الرياح.

كما اعتمد الباحثان على المعايير الطبيعية والبشرية بمنطقة ورزازات التي تساعد على إنتاج الطاقة الشمسية وذلك من خلال بناء طبقات البيانات التي تضمنت الإشعاع الشمسي والرطوبة، وشبكات الكهرباء، وشبكات الطرق الرئيسية، وتوزيع مراكز العمران وخرائط المناسيب والقرب من الخدمات، وخرائط استخدام الأرض. وكذلك تم تطبيق الأساليب الكارتوجرافية والإحصائية لمعرفة طبيعة العلاقات بين معايير الملاءمة الطبيعية والبشرية لبناء نماذج التحليل المكاني من خلال برنامج نظم المعلومات الجغرافية لاختيار الموقع الأكثر ملاءمة بمنطقة الدراسة، وقد أظهرت نتائج الدراسة أن منطقة ورزازات تصنف ضمن المناطق الغنية بالإشعاع الشمسي في المملكة المغربية لتطوير استثمارها في توليد الطاقة الكهربائية، وطبقاً لنتائج عملية التحليل والنمذجة في بيئة نظم المعلومات الجغرافية بناءً على معايير الملاءمة المكانية التي تم الاعتماد عليها، تم بناء نموذج معلومات جغرافي لتحليل البيانات المكانية لاختيار الموقع الأمثل لإنتاج الكهرباء من طاقة الشمس، كما كشفت النتائج أن المنطقة الجنوبية الشرقية من منطقة ورزازات تعد من أكثر المناطق التي تتلقى الإشعاع الشمسي، كما تتميز باعتدال الحرارة والرطوبة النسبية، وكذلك ملاءمتها من حيث سرعة الرياح والقرب من خدمات الطرق.

الكلمات المفتاحية: الملاءمة المكانية، الكهرباء، الطاقة الشمسية، المحطات الفوتوفولطية، نظم المعلومات الجغرافية، ورزازات، التسلسل الهرمي التحليلي.

(*) أستاذ الجغرافيا الاقتصادية ونظم المعلومات الجغرافية المساعد، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الدراسات الأفريقية العليا، جامعة القاهرة.

(*) أستاذ الجغرافيا الاقتصادية ونظم المعلومات الجغرافية المساعد، المعهد العالي للدراسات الأدبية، كينج مريوط، الإسكندرية.

Spatial suitability to evaluate the optimal site for solar electricity production in the Ouarzazate region, Kingdom of Morocco using GIS & AHP

Dr. Maher Sadawy **Dr. Gaber Samer**

- **Abstract**

The study aims to apply GIS and AHP Spatial suitability to evaluate the optimal site for solar electricity production in the Ouarzazate region, Kingdom of Morocco, while building a proposed model to evaluate the existing selection of Ouarzazate light stations to produce maps showing the most suitable areas for establishing Power plants based on solar energy, to reduce fossil fuel consumption. To achieve the research objectives, climate data from space visualizations were relied upon, which included: solar radiation, temperature, relative humidity, and wind speed.

The researcher also relied on the natural and human criteria in Ouarzazate that help produce solar energy by building data layers that included solar radiation and humidity, electricity networks, main road networks, the distribution of urban centers, level maps, proximity to services, and land use maps. Cartographic and statistical methods were also applied to determine the nature of the relationships between natural and human suitability criteria to build spatial analysis models through the Geographic Information Systems program to choose the most suitable location in the study area. The results of the study showed that the Ouarzazate region is classified among the areas rich in solar radiation in the Kingdom of Morocco to develop its investment in Electrical power generation, and according to the results of the analysis and modeling process in the geographic information systems environment based on the spatial suitability criteria that were relied upon, a geographic information model was built to analyze spatial data to choose the optimal location for producing electricity from solar energy. The results also revealed that the southeastern region of the region Ouarzazate is one of the areas that receives the most solar radiation. It is characterized by moderate temperature and relative humidity, as well as its suitability in terms of wind speed and proximity to road services.

Keywords: spatial suitability, electricity, solar energy, photovoltaic stations, geographic information systems, Ouarzazate, AHP

- **مقدمة:**

تزايد الاهتمام الدولي في الآونة الأخيرة في تنويع وتجديد مصادر الطاقة المتجددة (الشمس، الرياح، المصادر المائية) لاسيما إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بحثاً عن بيئة نظيفة؛ بغرض تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، ومواجهة التهديدات البيئية للتغير المناخي وخاصة تزايد خطورة الانبعاثات الحرارية والاحتباس الحراري. وقد أخذ موضوع إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية اهتماماً لدى المنظمات والمؤسسات الدولية المختصة بغرض الحد من استخدام الوقود الأحفوري غير المتجدد؛ لتعرضه لكميات هائلة من الملوثات بكافة أشكالها، والحصول على مورد طاقة لا ينضب وليس له أثراً سلبياً على البيئة.

ويساعد توفير الكهرباء على تسهيل العديد من الخدمات كزيادة ساعات العمل وتوفير الرعاية الصحية بجانب خدمات التعليم والاستخدامات الصناعية والخدمية والمنزلية وغيرها من كافة الأنشطة الحياتية. وتعتبر المملكة المغربية أحد الدول الأفريقية التي تفتقر لمصادر الطاقة التقليدية التي تساعد على توليد الكهرباء، مما جعلها تهتم ببناء وتطوير قطاع الطاقة المتجددة من خلال زيادة الاستثمار[*] بنسبة بلغت 32% كما ورد في تقارير المركز الإقليمي للطاقة المتجددة وكفاءة الطاقة؛ حيث تمتلك المغرب إمكانات كبيرة للاستفادة من الطاقة الشمسية بحكم موقعها الجغرافي المثالي في شمال غربي القارة الأفريقية المطل على المحيط الأطلنطي والبحر المتوسط ومساحتها البالغة 710,850كم2؛ مما ساعد على إقامة العديد من مشروعات إنتاج الكهرباء، لذا سعت المغرب في تقليص حجم الوقود الاحفوري المستورد من الدول العربية لتلبية الطلب المحلي بنسبة 68% من القدرة المركبة لما له من تأثير على البيئة من خلال انبعاثه للغازات الدفيئة.

---

[*] صنفت المغرب منذ عام 2017م في المرتبة الثانية عالمياً بعد الولايات المتحدة الأمريكية من حيث جاذبيتها للاستثمارات في مجال الطاقة المتجددة؛ ويرجع ذلك لوضع المملكة لبرامج تنموية للاستفادة من مواردها الطبيعية (البنك الدولي، 2018م، ص61).

كما تلعب نظم المعلومات الجغرافية دوراً مهماً في موضوع الدراسة من خلال بناء قواعد البيانات ومعرفة عدد ساعات السطوع الشمسي وتحديد المعايير لبناء نموذج مقترح وتحديد رتبة كل طبقة بيانات والوزن العشري لاختيار أنسب المواقع لمحطات إنتاج الكهرباء.

الموقع الجغرافي لمنطقة ورزازات

تقع منطقة ورزازات[*] كما هو موضح بشكل (1) جنوب وسط المملكة المغربية، تحديداً جنوب جبال أطلس العليا بارتفاع 1135م عن مستوى سطح البحر ضمن إقليم درعة/تافيلالت، فلكياً تمتد بين دائرتي عرض 05" 38' 30° شمالاً، 09" 40' 31° شمالاً وخطي طول 02" 5' 6° غرباً : 55" 5' 6° غرباً وتبلغ مساحتها 4522 كم2 (Julia. C.,& et. al., 2021, P.88) وتقع مدينة ورزازات[**] ذاتها على ضفة وادي زات عند مفترق الطرق المؤدية إلى واحات وادي درعة بالصحراء الغربية من جهة وواحات وادي زيز بالصحراء الشرقية من جهة أخرى، ويقع مشروع نور ورزازات على بُعد 7 كم شمال شرق المدينة ذاتها وعلى بعد 4 كم من سد منصور الذهبي[*]، الذي

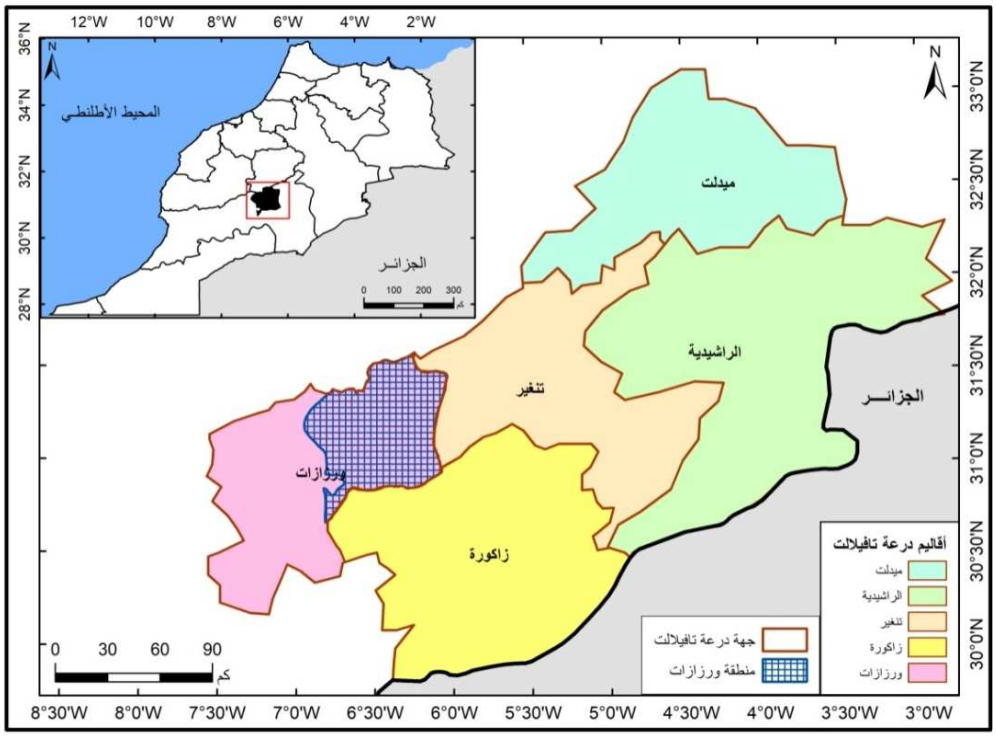
---

[*] ورزازات كلمة أمازيغية تعني بالعربية (دون ضجيج) وهي عبارة مركبة من كلمتين، «وار» وتعني دون، و«زازات» وتعني الضجيج. هكذا اختار أهل المنطقة أن يطلقوا هذه التسمية التي تعني «دون ضجيج» على هذه المدينة، كذلك كلمة ورزازات (بالبربرية: Warzazat، والعربية: ورزازات . أي باب الصحراء . ويسمونها "هوليوود الصحراء"، لكثرة تصوير الأفلام الغربية عن الصحراء فيها. كما تعد ورزازات مركزًا للسياحة في الصحراء المغربية، ولذلك فهي تزخر بالفنادق الضخمة. كما تعتبر ورزازات منطقة جاذبة لمصوري الأفلام السينمائية لما بها من مناظر رائعة للصحراء ويوجد فيها مطار دولي (Ryser. S., 2019, P44).

[**] تم إنشاء تلك المدينة على يد الاستعمار الفرنسي عام 1920م حتى تكون ثكنة عسكرية لسلطات الاستعمار، ووصل عدد سكان منطقة ورزازات عام 2022م نحو 172,2 ألف نسمة علي مساحة قدرها 4522 كم2 (Dahlioui. D.,& et al., 2022, P18).

[*] توفر الموارد المائية لهذا السد ميزة من حيث المردودية وذلك عن طريق دورة تبريد مختلط رطب وجاف أما بالنسبة للتزود من الشبكة، فإن الطاقة التي تنتجها المحطة تنقلها إلى مركز ورزازات

تبلغ سعته التخزينية 439م3 (Ben Fares. M.,& et. al., 2018, P147). **وتظهر أهمية الموضوع** في كونه يبرز **مدى** الاحتياج لإنتاج الكهرباء من المصادر المتجددة بالمملكة المغربية بواسطة دراسة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية باعتبارها إحدى مكونات الطاقة المتجددة من منظور جغرافي لكونه فرع من فروع الجغرافيا الاقتصادية.



المصدر:(1) أطالس أفريقيا، أطلس المغرب، 2013م، ص 56. (2) Julia. C., & et al., 2021, P 7

شكل (1) الموقع الجغرافي لمنطقة ورزازات بالمملكة المغربية

- **ويرجع اختيار الباحثان لهذا الموضوع لعدة أسباب** منها: تعدد الأقاليم المناخية التفصيلية بالمغرب ووجود مساحات شاسعة بالوسط والجنوب تساعد على الاستفادة منها في إنتاج الكهرباء من المصادر المتجددة، امتلاك منطقة ورزازات مواقع ذات

للطاقة بكمية قدرها 225 كيلو فولت/الساعة نظراً للقرب من المحطة (Alaoui .M., 2013, P111).

إمكانات عالية لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية؛ مما وضعها في المرتبة الأولى بالمناطق المغربية في هذا المصدر، تساعد زيادة ساعات السطوع الشمسي بمنطقة ورزازات في وضع خلايا شمسية لإنتاج الطاقة الكهربائية، إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة النظيفة للحد من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري الناتج عن استهلاك مصادر الطاقة الاحفورية والتغيرات المناخية، تقليل انبعاث غازات الاحتباس الحراري الناتجة عن استغلال مصادر الطاقة الاحفوريه الملوثة للبيئة وإنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة البديلة النظيفة، امتلاك منطقة ورزازات إمكانات اقتصادية تؤهلها للاستثمار في تشييد مشاريع أكثر استدامة لتوليد الكهرباء وتوفير طاقة رخيصة للاستهلاك المنزلي وفتح أسواق جديدة للتسويق، تخفيف عبء الديون الأجنبية الناجمة عن استيراد الطاقة التقليدية والتخلص من تكلفة النقل على المستهلك نظراً للاستهلاك اللامركزية لهذه الطاقة، الحد من الارتفاع المستمر لأسعار مشتقات الطاقة وتوفير فرص عمل عديدة.

- **ويهدف البحث:** إلى إظهار إمكانية توليد الكهرباء بمنطقة ورزازات عن طريق خلايا الطاقة الشمسية وإنتاج طاقة تلبي كافة احتياجات السكان لا سيما سد مشكلة نقص الكهرباء في المملكة المغربية، تحليل الوضع الحالي لتطوير وتخطيط مشروعات الطاقة لمعرفة مصادر الطاقة المتجددة التي تستخدمها المغرب في الوقت الراهن أو الأعوام المقبلة.

- الاستفادة من نظم المعلومات الجغرافية GIS، والاستشعار عن بعد RS، ونظم دعم القرار المرتبطة بالبيانات المكانية Spatial Decision Support Systems، وذلك في دراسة مشروعات الطاقة المتجددة في منطقة ورزازات، التي تمثل جزء من مشروعات التنمية المستدامة بالمملكة المغربية استناداً إلى بناء نظم قواعد بيانات للإمداد بالمعلومات الفورية والدقيقة.

- استعراض وتحليل نماذج وتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية، مع اقتراح نموذج لنظام معلومات جغرافي يهدف إلى تطوير وتحديد مصادر الطاقة المتجددة.

- إعداد خريطة قياسية لتحديد المواقع المثلى لإقامة مشروعات محطات الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات اعتماداً على تقنيات نظم المعلومات الجغرافية.

- **أما عن الدراسات السابقة:** فقد أظهرت بعض الدراسات السابقة بناء نموذج ملاءمة متعدد المعايير، ودراسات اهتمت بإنشاء نموذج لتحديد ملاءمة المناطق المثلى Optimum localities لإقامة مشاريع الطاقة الشمسية لنطاقات محلية وإقليمية وعالمية خلال العشرين سنة الماضية ومنها:

- دراسة: **(حسن يونس، 2009م)** بعنوان: **الإشعاع الشمسي والرياح كمصادر للطاقة الجديدة والمتجددة في مصر –** دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة طنطا، وتناولت العوامل الطبيعية المؤثرة في الإشعاع الشمسي في مصر، ثم دراسة كمية الطاقة المتوقعة منه، ثم دراسة الاستخدام الحالي والمستقبلي لطاقة الإشعاع الشمسي في مصر.

- دراسة: **(Effat, 2013)** بعنوان: **اختيار المواقع المحتملة لمزارع الطاقة الشمسية بالإسماعيلية (مصر)** –باستخدام SRTM والتحليل متعدد المعايير، وتوصلت الدراسة إلى تصميم نموذج تقييم مكاني، بإنتاج خريطة لدرجات الملاءمة لإقامة مشاريع مزارع الطاقة الشمسية في محافظة الإسماعيلية.

- دراسة: **(Uyan, 2013)** بعنوان: **اختيار مواقع المزارع الشمسية القائمة على نظم المعلومات الجغرافية باستخدام عملية التحليل الهرمي (AHP) في منطقة كارابينار، (قونيا – تركيا)**، وقد جمع الباحث بين AHP وGIS لاختيار الموقع المنطقي لمحطة الطاقة الشمسية في منطقة كارابينار، من أجل الحصول على خريطة آلية بناء على استخدام خمسة معايير ملاءمة وفقاً لخصائص المنطقة.

- دراسة: **(Dawod & Mandor, 2016)** بعنوان: **المواقع المثلى لإقامة مزارع الطاقة الشمسية في مصر** اعتماداً على نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير Multi-criteriaanalysis، وتم التركيز على عشرة معايير ووجد أن معظم

الأراضي المصرية واعدة بالطاقة الشمسية، وهناك مناطق مثلى للإنتاج على مساحة تقدر بنحو 25 ألف كم2، تتركز في الوادي الجديد والسويس وأسوان.

- دراسة: **(هالة عادل عفت 2016م)** وموضوعها: **رسم خرائط المناطق المحتملة للطاقة الشمسية باستخدام بيانات (SRTM)** ونماذج التحليل المكاني في إقليم بحيرة ناصر، وانتهت الدراسة إلى استخدام عملية التحليل الهرمي (Analytic Hierarchy Process) بالتكامل بين نظم المعلومات الجغرافية؛ لتحديد مناطق إنشاء المحطات الشمسية في منطقة بحيرة ناصر.

- دراسة: **(جمعة داود، وآخرين، 2017م)** عن: **تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية –** باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، وقد تم التوصل من خلال تطبيق نموذج الملاءمة الرقمي متعدد المعايير الجغرافية والفنية والبيئية والاقتصادية إلى أن معظم أنحاء منطقة مكة المكرمة الإدارية مناسبة لإقامة مشروعات تجميع الطاقة الشمسية بدرجات ملاءمة تتراوح ما بين 47% و97%.

- دراسة: **(Mierzwiak & calke. 2017)** بعنوان: **التحليل متعدد المعايير لاختيار المناطق الملائمة لإقامة محطات طاقة شمسية تطبيقاً على منطقة لوجيونو (بولندا)**، وخلصت الدراسة إلى بناء نموذج ملاءمة متعدد المعايير بواسطة GIS أشار إلى تركز النطاقات المثلي لإقامة مزارع الطاقة الشمسية في جنوب لوجيونو بعد استبعاد نحو 60% من المساحة الإجمالية للمنطقة.

- دراسة: **(حسام ثابت، 2017م)** بعنوان: **الإشعار الشمسي والرياح ودورهما في إنتاج الطاقة في صحراء مصر الشرقية –** دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة القاهرة، وتوصلت الدراسة لإنشاء نموذج ملاءمة لتحديد أنسب المواقع لإقامة محطات الطاقة الشمسية.

- دراسة: **(هبة محمود، 2017م)** بعنوان: **الإشعاع الشمسي والرياح في شبه جزيرة سيناء** – دراسة في المناخ التطبيقي، رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة القاهرة، تناول الدراسة تحديد أنسب المواقع لإقامة محطات الطاقة الشمسية، في سيناء، وقد طبقت طريقة SWAT Analysis: Thinking Strategically التي تقوم على نقاط القوة Strength ونقاط الضعف Weaknesses والفرص Opportunities والتهديدات Threats لتحديد أنسب المناطق لإقامة مشروعات الطاقة الشمسية.

- دراسة: **نورا عرفات، (2021م):** عن إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية، وتحديد المواقع المثلى لتوطنها في محافظة الوادي الجديد. وتناولت خلالها دراسة مكونات أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وأنواع المحطات بمحافظة الوادي الجديد حسب اتصالها بالشبكة الموحدة للكهرباء وتوزيعها الجغرافي.

- دراسة: **(ياسر عبد الموجود، (2017م):** بعنوان: **إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات،** تناولت الدراسة نسب الإشعاع الشمسي في مصر وعوامل توطن محطات الكهرباء من الطاقة الشمسية، ودراسة مستقبل الطاقة الشمسية واستخدام تطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في اختيار أنسب المواقع لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في مصر.

- دراسة: **ياسر عبد الموجود، ومحمد ربيع، (2021م):** عن إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان مع التطبيق على محطة ببيان وتناولت الدراسة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة أسوان من خلال دراسة المتوسط السنوي لعدد ساعات السطوع الشمسي، وقيم الإشعاع الشمسي المباشر بالمحافظة، وحجم الطاقة الفوتوفولطية المقدرة.

- دراسة: **Imamverdiev (2022م):** وقد اهتمت بالاختيار الأمثل لمواقع الطاقة الشمسية الكهروضوئية، وقد اعتمدت الدراسة على عملية التسلسل الهرمي التحليلي المستند إلى أساليب اتخاذ القرار متعدد المعايير، وقد وظفت الدراسة معايير لاختيار تلك المواقع، تضمنت الإشعاع الشمسي، ونسبة الميل، واستخدام الأراضي، والمسافة

الفاصلة بين المناطق ذات الإمكانات العالية للطاقة الشمسية والمناطق السكنية، والقرب من الطرق السريعة، وخطوط الكهرباء، ودمجت تلك المعايير من خلال تطبيق تقنية التراكب الموزون في نظم المعلومات الجغرافية.

- دراسة: **Elkadeem, et, al (2022م)**: بعنوان : تحليل متعدد المعايير لتقييم الإمكانات الجغرافية والتقنية والاقتصادية المحتملة للطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وقد اقترحت الدراسة نموذجاً جديداً لصنع القرار الجغرافي، بهدف الوصول إلى رسم خرائط الإمكانات الجغرافية والفنية والاقتصادية، وتقييم محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية، وتوربينات الرياح بمستوى عال من الدقة.

- اتخذت دراسة **(نورا الصباغ، 2023م) بعنوان خريطة الملاءمة لمواقع محطات الطاقة الشمسية لمحافظة المنيا-** نهج تطبيقي لأسلوب اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير في بيئة نظم المعلومات الجغرافية وقد تناولت إنشاء خريطة رقمية توضح درجات الملاءمة المكانية لمواقع محطات الطاقة الشمسية في محافظة المنيا، وقد وظفت الدراسة تقنيات نظم المعلومات الجغرافية، وأسلوب التحليل المكاني متعدد المعايير من خلال توظيف عدد من معايير الملاءمة المختلفة. وقد خلصت الدراسة إلى إنشاء خريطة رقمية توضح درجات الملاءمة وفقا للمعايير المنصوص عليها في الدراسة.

- دراسة: **Aadi, et al (2023م)**: عن المواقع المثلى لمحطات الطاقة الشمسية في إيران باستخدام التحليل الهرمي "AHP"، وقد استخدمت الدراسة بعض المعايير مثل: كمية الإشعاع الشمسي، وعدد الأيام المشمسة، ومتوسط درجة الحرارة، ونسبة الرطوبة، وكمية هطول الأمطار، ومستوى الرؤية، والغيوم.

أظهر العرض السابق، تنوع الدراسات التي تناولت موضوع البحث على الصعيد الدولي، وفقاً لتقنيات مختلفة. وأيضاً وجهات نظر متباينة، تراوحت بين علوم الطاقة، والهندسة، والبيئة، والجغرافيا ... الخ، تميزت تلك الدراسة بتوظيف معايير جديدة، لم يتم تناولها من قبل في الدراسات المماثلة.

مناهج وأساليب البحث

استخدم الباحثان **المنهج التاريخي** الذي طبقاه في دراسة تطور إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بالمملكة المغربية والتطور التاريخي لإنشاء مشروع ورزازات على مراحله المتنوعة، كما استعانا **بالمنهج الإقليمي** المتمثل في دراسة إمكانات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بمنطقة ورزازات بالمملكة المغربية وأقسامها الإدارية، **كما اعتمداً أيضاً على المنهج الوصفي التحليلي** من خلال وصف البيانات المناخية والتحليل المكاني للعوامل الجغرافية الخاصة بالدراسة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية، تبين لمتخذي القرار إمكانات الطاقة الشمسية بمنطقة الدراسة. واستخدما أيضاً **المنهج الموضوعي** الذي يتناول الكهرباء المنتجة من الطاقة الشمسية كسلعة لها أهميتها والمشكلات المتعلقة بإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية، و**منهج تحليل نظم الطاقة** لكون الكهرباء المنتجة من الطاقة الشمسية نظاماً يتكون في المحطات الشمسية والمحطات الفوتوفولتية ومحطات محولات رفع الجهد وشبكات نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية. ومن ثم لا يمكن فهم أي عنصر بمعزل عن باقي العناصر الأخرى.

وطبقت الأساليب الكمية الإحصائية والرياضية في إبراز إمكانية توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية مع تحليل أثر العوامل الجغرافية في الإشعاع الشمسي بغرض إعداد خرائط تحتوي على أفضل الأماكن لإنشاء المزارع الخاصة بتوليد الطاقة الشمسية، وكذلك القيام بالعديد من المعالجات والمعاملات الإحصائية بغرض إعداد الأشكال البيانية التي يتطلبها البحث و**الأساليب الكارتوجرافية:** من خلال استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية، الأداة الأكثر أهمية بين أدوات البحث الجغرافي مثل: برنامج Arc Gis10.8 وكذلك استخدام برنامج Goggle Earth 5 و Global mapper v12 فضلاً عن استخدام العديد من الأطالس الوطنية الخاصة بالموقع الفلكي والجغرافي والحدود الدولية والإدارية والموارد المائية والتوصل إلى المرئيات الفضائية الخاصة بملفات DEM بغرض استخراج خطوط الارتفاع المتساوي بمنطقة ورزازات ودرجات اتجاهات الانحدار.

- **مشكلة البحث:** تتمثل مشكلة البحث في التساؤلات والفرضيات التالية:

1- هل تمتلك منطقة ورزازات مقومات إنتاج الطاقة من الإشعاع الشمسي؟

2- هل هناك مناطق لم تحدد بعد لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية بمنطقة ورزازات؟

3- ماهي معايير تفضيل المواقع على بعضها البعض في منطقة ورزازات؟

4- ما هي المواقع المثلى لإقامة مشروعات الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات؟

- **فرضيات البحث:** تتمثل فرضيات البحث في:

1- تلعب العوامل الطبيعية لا سيما المناخ والتضاريس دوراً مهماً في توفير الطاقة الشمسية بالمملكة المغربية بصورة عامة ومنطقة ورزازات بصورة خاصة.

2- للعوامل البشرية دوراً أقل في توفير مقومات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بمنطقة الدراسة.

3- تمتلك منطقة ورزازات العديد من المقومات الجغرافية في توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية لم تستغل بعد.

- **مصادر البيانات:** تنوعت مصادر بيانات البحث وتمثلت فيما يلي:

ـ تم تجميع بعض المادة العلمية حول موضوع البحث أثناء الرحلة العلمية لأحد الباحثين إلى المملكة المغربية خلال شهر إبريل من عام 2015م وتمثل ذلك في زيارة الجهات ومؤسسات الطاقة المختصة بالمغرب المتمثلة في الوكالة الوطنية لتنمية الطاقات المتجددة والكفاءة الطاقية (ADEREE) والوكالة المغربية للطاقة الشمسية (MASEN) وشركة الاستثمار الطاقية "اتفيمجا للطاقة" (SIE) ومعهد البحث في الطاقة الشمسية والطاقات المتجددة (IRESEN)، ومؤسسات الطاقة المتجددة ووزارة الطاقة والمعادن والماء والبيئة، كما تم تجميع مصادر البحث من بواسطة شبكة الانترنت من خلال تجميع الأبحاث والرسائل والكتب حول الموضوع، بجانب المكتبات والجهات العلمية بمصر كمكتبة كلية الدراسات الأفريقية العليا، والمكتبة المركزية بجامعة القاهرة، وجهاز شئون الطاقة، والجمعية الجغرافية المصرية.

وتسير **خطة البحث** في ثلاثة محاور رئيسية هي: إنتاج الكهرباء من المحطات الشمسية بورزازات، ووضع معايير الملاءمة المكانية لتقييم اختيار أنسب المواقع لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات، وبناء نموذج للملاءمة المكانية لاختيار مواقع أمثل لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات.

أولاً: إنتاج الكهرباء من المحطات الشمسية بورزازات:

تعوّل المغرب على مشروع مجمع ورزازات للطاقة الشمسية الذي يعد أكبر المشروعات في المملكة، ومن ثم يعزز مكانة البلاد الإقليمية والأفريقية والدولية لإحداث نقلة نوعية في توفير إمدادات الكهرباء ضمن الجهود الرسمية المكثفة بالآونة الأخيرة، الرامية إلى نشر الطاقة المتجددة بمعدلات فائقة، ويتمثل مجمع الطاقة الشمسية نور ورزازات في أربع محطات تمتد على مساحة 3000 هكتار(30 كم2) في جنوبي المملكة المغربية، وقد تم اختيار الموقع لتركز أشعة الشمس (Ryser. S., 2019, p76).

1-مراحل إعداد مشروع نور ورزازات:

بدأ التنفيذ والإنتاج لمشروع نور ورزازات المتمثل في أربع مراحل[*]، تم تنفيذ المرحلة الأولى(محطة نور1) في عام 2016م كانت تحمل اسم "نور الكهروضوئي 1"، وذلك على مساحة قدرها 480 هكتار (4,8 كم2) تضم نصف مليون لوح شمسي لاقط مقعر يعتمد على تقنية الأملاح الذائبة وتكنولوجيا الطاقة الشمسية الحرارية، بقدرة إنتاج قدرها 160 ميجاواط من الطاقة المركبة، وبقدرة تخزين حراري قدرها 3 ساعات تخزين، وقد

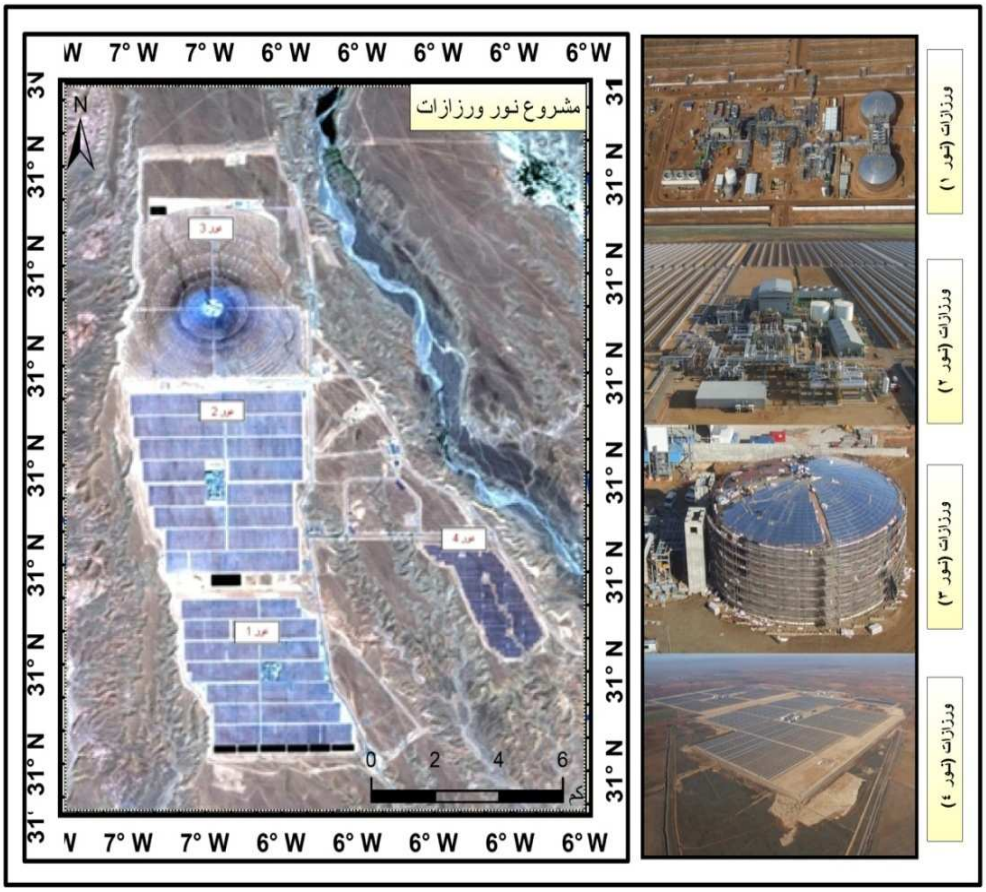
[*] قامت السلطات المغربية بتمويل نور ورزازات بمراحله الأربعة، مع مساهمة العديد من المؤسسات الدولية، وهي: (صندوق الحسن الثاني للتنمية الاقتصادية والاجتماعية، ووكالة مازين "الوكالة المغربية للطاقة الشمسية" والمكتب الوطني للماء والكهرباء، وصندوق تنمية الطاقة السعودي/الإماراتي، وبنك الائتمان وإعادة الإعمار الألماني، والبنك الألماني للتنمية، والبنك الدولي، والبنك الأفريقي للتنمية، وبنك الاستثمار الأوروبي، والوكالة الفرنسية للتنمية، وشركة الاستثمارات في مجال الطاقة (SIE)، والبنك الأوروبي للتنمية، وصندوق التكنولوجيات النظيفة، والاتحاد الأوروبي)، وذلك بإجمالي تمويل قدرة 2,4 مليار دولار(Pfaff.J. T.,& et. al.,2019, P187).

فازت بتطوير وتفعيل هذه المحطة شركة أكوابوار السعودية وذلك بتكلفة بلغت إلى 220 مليون دولار (African Development Bank, 2014, P90).

وتساعد تلك المحطة على توفير الكهرباء لأكثر من مليون أسرة مغربية، وافتتحت المرحلة الثانية (محطة نور2) المعتمدة على تقنية تكنولوجيا الطاقة الشمسية الحرارية مع استخدام الألواح اللاقطة المقعرة في نهاية عام 2017م بتكلفة 810 مليون يورو على مساحة 680 هكتار (6,8 كم2)، وبطاقة إنتاجية قدرها 200 ميجاواط، وبطاقة تخزين حراري بلغت سبع ساعات تخزين(Aqachmar. Z.,& et al., 2009, P579)، والمرحلة الثالثة (محطة نور3) تم تشغيلها في 2018م على مساحة 750 هكتار (7,5 كم2) وتعتمد تلك المحطة على نفس تقنية محطة نور2 بالإضافة إلى وجود برج لتجميع الطاقة الشمسية بقدرة إنتاج بلغت 150 ميجاواط من الطاقة الكهروضوئية، وبطاقة تخزين قدرها ثمان ساعات تخزين(Merrouni.A.A.,& et al., 2018, P863)، وتجدر الإشارة للقول بوجود توسعات تمت على محطتي نور2، ونور3 حتى بلغ إجمالي مساحتهم نحو 3000 هكتار (30 كم2)(Ryser. S., 2019, p77).

ودخلت المرحلة الرابعة (محطة نور 4) من مجمع نور ورزازات للطاقة الشمسية المركزة حيز العمل في عام 2022م على مساحة 210 هكتار (2.1 كم2) وبتكلفة قدرها 74,4 مليون دولار، وكانت آنذاك تمثل أكبر محطة في العالم لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية تعتمد على تقنية الطاقة الشمسية الضوئية(الطاقة الفوتوضوئية)، وبلغ إنتاجها نحو 72 ميجاواط[*]، ومن المتوقع أن يصل إنتاج هذه المرحلة في عام 2030م إلى 570 ميجاواط (Pfaff.J. T.,& et. al., 2019, P189).

[*] وضعت شركة أكو باور المسئولة عن التسويق، تعريفة للطاقة الكهروضوئية من محطة "نور 4"، بقيمة 4,797 سنت للكيلوواط/الساعة، وقد كان ذلك السعر تنافسي مقارنة مع أقل أسعار الكهرباء من نفس المصدر على مستوى العالم(Aarich.N.,& et. Al.,2024, P55).



المصدر: من اعداد الباحثان اعتمادا على (1) Google Earth Engine (2) Bouchaala. A.,& et. al., 2024, P61. (3) Chaibi. M.,& et. al., 2021, P466 (4) Leonard. A.,& et. al., 2024,P531

صورة (1) صورة جوية لمجمع محطات نور ورزازات حتى 2023م

وتساعد تلك المحطات على الحد من استهلاك الوقود الأحفوري من خلال توفير 2,5 مليون طن من مشتقات البترول، والمضي قدماً نحو التنمية منخفضة الكربون، إلى جانب المساهمة في الحفاظ على المحيط البيئي من خلال تجنب انبعاث 3,7 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون في السنة(El Hafdaoui. H.,& et. al., 2024, P381)، فضلاً عن توفير الكهرباء لنحو 1,4 مليون مغربي، ومن المتوقع في عام 2030م أن يبلغ الاعتماد على الطاقة الشمسية بنسبة 52%، ووصلت التكلفة الإجمالية لمشروع ورزازات إلى مليارين و470 مليون دولار، على مساحة تعادل مساحة العاصمة المغربية

الرباط، كما يساعد المشروع على خلق فرص عمل وتحقيق التنمية الاقتصادية المعتمدة على الطاقة المتجددة مثل إنتاج الهيدروجين الأخضر(Bouchaala. A.,& et. al., 2024, P67).

2- إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في مشروع نور ورزازات:

بدأ إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في المملكة المغربية من خلال مشروع ورزازات، ويوضح جدول (1) مراحل مشروع نور ورزازات.

جدول (1) محطات الطاقة الشمسية نور ورزازات بين عام 2013: 2022م

المحطة	المساحة		الطاقة الإنتاجية	الطاقة التخزينية	سنة البدء	سنة الانجاز
	(هكتار)	(كم)	(ميجاواط)	(ساعة)		
نور 1	480	4,8	160	3	2013	2016
نور 2	680	6,8	200	7	2016	2017
نور3	750	7,5	150	8	2016	2018
نور 4	220	2,2	70	–	2019	2022
الاجمالي	2130	2,1	580	18	–	–

المصدر: El Hafdaoui. H.,& et. al., 2024, (2) Bouchaala. A.,& et. al., 2024, P69(1) P383

يلاحظ من جدول (1) توزيع محطات مشروع نور على أربع محطات هي: محطة نور (1) التي دخلت حيز الانتاج في عام 2016م بقدرة انتاجية بلغت 160 ميجاواط على مساحة 480 هكتار، حتى محطة نور (4) على مساحة 220 هكتار والتي بدأ انتاجها عام 2022م بنحو 70 ميجاواط، وكانت محطة نور (2) الاكثر انتاجاً بمقدار 200 ميجاواط.

ثانياً: معايير الملاءمة المكانية لتقييم اختيار أنسب المواقع لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات:

تُعد الملاءمة المكانية نقطة في غاية الأهمية لاتخاذ القرار لاختيار الموقع الأمثل لمحطة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية، وتتعدد معايير الملاءمة المكانية لتقييم إقامة

محطات الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات بالمملكة المغربية، فيلعب معيار الموقع دوراً مهماً في ذلك الشأن، فاختيار الموقع المناسب من أهم وظائف تقنية نظم المعلومات الجغرافية.

من خلال برنامج نظم المعلومات الجغرافية يتم تقييم اختيار المواقع الأنسب لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بمنطقة ورزازات وكذلك وضع مقترح لمواقع أخرى من خلال المعايير الآتية:

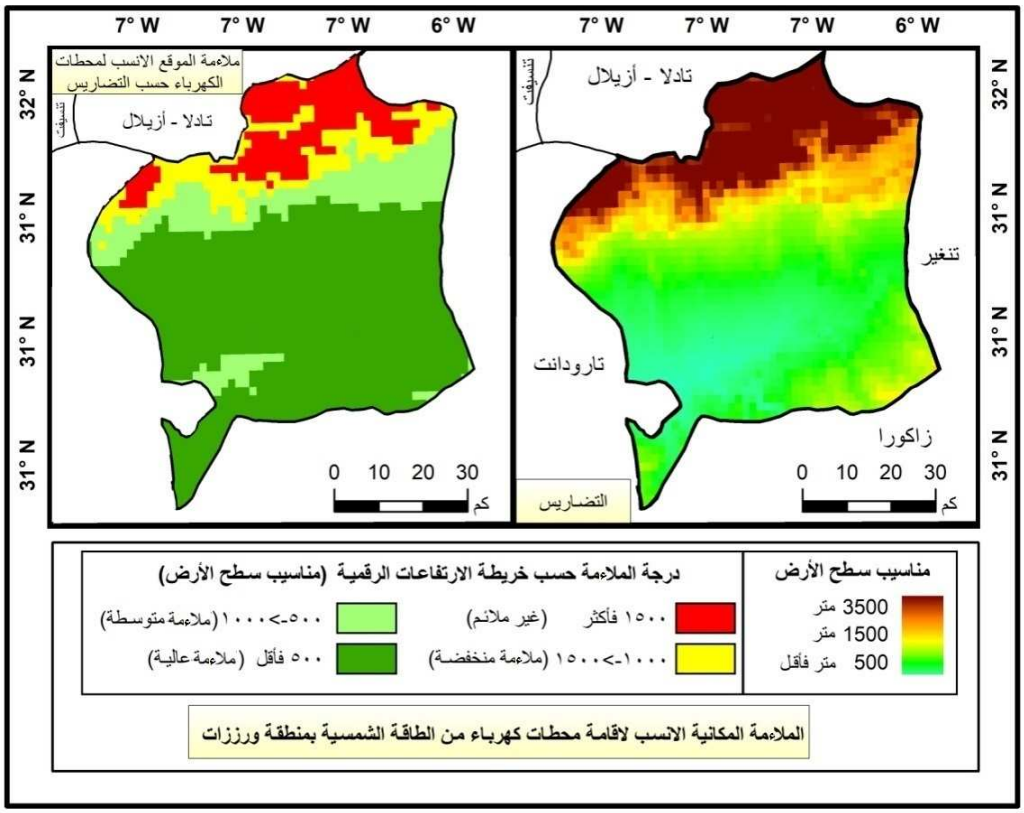
1- معايير الملاءمة حسب حالة التضرس:

تتميز جهة درعه/تافيلالت التي تضم ورزازات بتنوع تضاريسها التي تتكون من السلاسل الجبلية والسهول والأراضي الصحراوية، وتمثل جبال الأطلس الكبير وجبال الأطلس الصغير أهم السلاسل الجبلية بالجهة وهي تقسمها إلى حوضين كبيرين، هما: حوض سوس ماسة والذي يضم سهول سوس واشتوكة وماسة من جهة وحوض درعة من جهة أخرى.

أ- معيار ملاءمة مناسيب سطح الأرض:

يلعب معيار الارتفاع دور مهم في تركيب المحطات الشمسية، فلا ينبغي تركيب المحطات في مناطق منخفضة معرضة للفيضان أو في مناطق شاهقة الارتفاع قد تؤثر على دقة القياسات، كما يفضل وضع المحطات في مناطق مسطحة ومستوية تضاريسياً؛ لضمان الاتجاه الصحيح للألواح الشمسية.

ويتبين من شكل (2) أن الأطراف الشمالية من ورزازات يصل منسوب ارتفاعها إلى 3500 متر وهي غير ملائمة لإنشاء محطات كهربائية ومعظم الارتفاع بمنطقة الدراسة لا يتعدي 500 متر وهي أكثر ملاءمة لإقامة تلك المحطات الكهربائية.

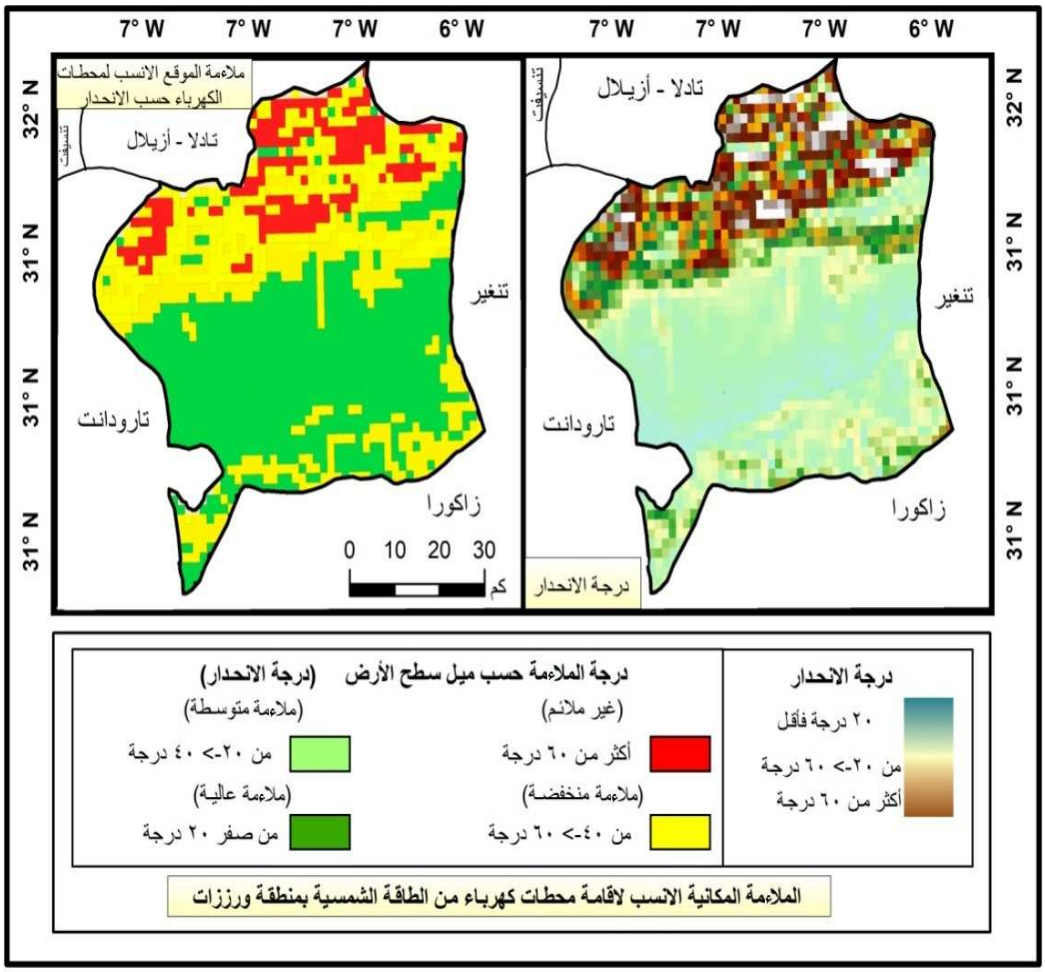


المصدر: من اعداد الباحثان اعتمادا على خريطة (1) الارتفاعات الرقمية DEM
./https://eosweb.larc.nasa.gov/sse(3) http://satel-light.com(2)

شكل (2) الملاءمة المكانية لمواقع إنتاج الكهرباء حسب التضاريس بمنطقة ورزازات

ب-معيار ملاءمة درجة واتجاه الانحدار

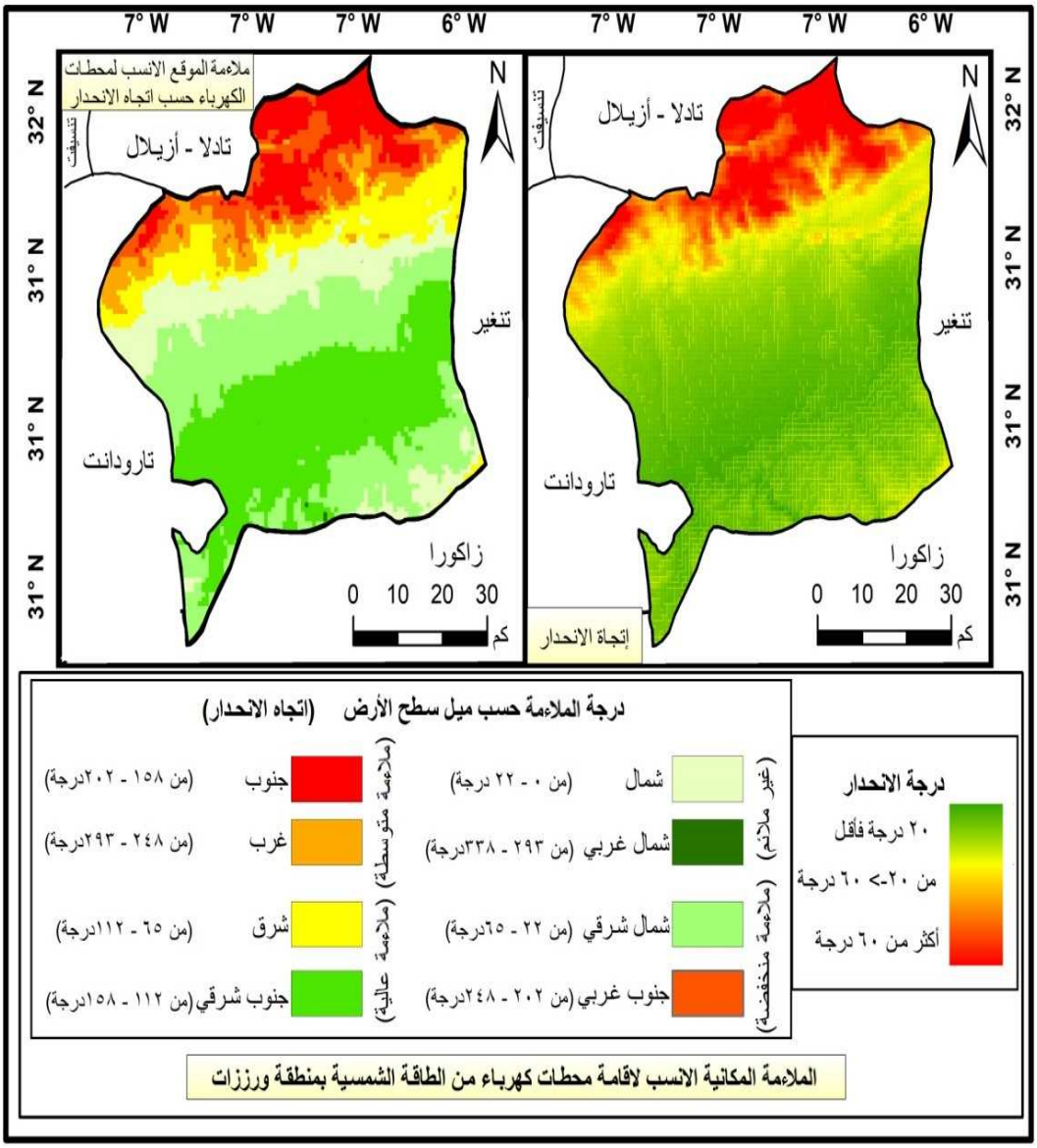
وهو ما يعرف بميول سطح الأرض Slope، ويفضل عند اختيار أنسب موقع لمحطة طاقة شمسية أن تقع ضمن منطقة ذات انحدار بسيط وذلك لتقليل تكاليف الإنشاء بالإضافة لسهولة تركيب ألواح الطاقة الشمسية، ولتطبيق هذا المعيار بمنطقة الدراسة، ومن خلال نموذج الارتفاع الرقمي SRTM 3 تم إنشاء خريطة الانحدار لورزازات وإعادة تصنيف Reclass درجات الانحدار من خلال برنامج ArcGIS10.8؛ كما هو موضح بشكل (3). حيث أخذت أعلى درجة ملاءمة قيمة (20 درجة فأقل) وعبرت عن الانحدار الخفيف، ويتدرج الانحدار إلى أن يتراوح بين (40 درجة–60 درجة) ممثلاً ذلك للملاءمة المنخفضة، أما المناطق غير الملائمة فيزيد انحدارها عن 60 درجة.



المصدر: (1) http://satel-light.com (2)Leonard. A.,& et. al., 2024,P535

شكل (3) درجة الانحدار وميول سطح الأرض بمنطقة ورزازات بالمملكة المغربية

أما عن الملاءمة حسب اتجاه الانحدار Aspect، فيجب أن يراعى عند اختيار مكان المجمع الشمسي أن يكون الانحدار الذي سيتم وضع المجمع عليه مواجهاً للإشعاع الشمسي لفترة طويلة يومياً وليس في المناطق التي تقع في ظل الإشعاع الشمسي، وقد قام الباحثان بإعداد خرائط باستخدام GIS وتم تصنيفها من خلال Reclass وإعطائها 8 اتجاهات للتصنيف متمثلة بالاتجاهات الأربعة الرئيسية الشرق والغرب والجنوب والشمال، بالإضافة إلى الاتجاهات الثانوية الأربعة التي توضح هذه الاتجاهات وتوزيعها في منطقة ورزازات، راجع الشكل (4).



المصدر: (1) http://satel-light.com Leonard. A.,& et. al., 2024,P535(2)

شكل (4) اتجاه الانحدار وميول سطح الأرض بمنطقة ورزازات بالمملكة المغربية

وقد تبين أن درجة الانحدار قليلة إذا كانت أقل من 20 درجة، كما هو الحال في المناطق الشمالية؛ حيث تكون أفضل لإنشاء المحطات؛ وذلك لتعرض هذا الجانب للشمس بشكل أكبر لقلة الانحدار، وتقل تأثيرات الموقع مع زيادة معدلات درجات الانحدار، كما هو في المناطق التي يصل فيها معدل الانحدار إلى 60 درجة فأكثر.

2- معايير الملاءمة حسب حالة المناخ:

يتميز مناخ منطقة ورزازات بكونه مناخاً جافاً، فهو بشكل عام جزء من مناخ جهة سوس ماسة درعه وذلك بفضل تأثر التضاريس والصحراء والبعد عن مؤثرات المحيط الأطلنطي. وقد قام الباحثان بالحصول على البيانات المناخية من خلال عدة نقاط مختارة في محيط منطقة ورزازات كما هو وارد بالجدول (2)، ومن خلال الاعتماد على صور الأقمار الصناعية لمنطقة ورزازات قد تم رصد ثماني نقاط وتم الحصول على بيانات الإشعاع الشمسي.

ويعتبر الإشعاع الشمسي وعدد ساعات السطوع الشمسي والطاقة الفوطوفولتية Pvout، وكثافة السحب: من العوامل ذات الكفاءة العالية في تشغيل محطات الطاقة الشمسية، وكذلك الرطوبة النسبية وسرعة الرياح: من العوامل غير المباشرة لتحديد حجم الطاقة المولدة من الشمس، كما يؤدي الغبار الجوي الكثيف وتلوث الجو إلى انخفاض الإنتاج الكهربائي. لا سيما المناطق التي تتلقى القدر الأكبر من أشعة الشمس المباشرة طوال اليوم، وفي المناطق غير المحجوبة بالأشجار أو المباني حتى لا تغطي على الألواح الشمسية (Al-Hasan. A.Y, Ghoneim. A.A., 2005, P188).

جدول (2) موقع نقاط بيانات المناخ المختارة في منطقة ورزازات

النقاط	خطوط الطول	دوائر العرض	الارتفاع بالمتر	النقاط	خطوط الطول	دوائر العرض	الارتفاع بالمتر
نقطة 1	7,03-	31,2	1556,8	**نقطة 6**	6,36-	30,96	1522,4
نقطة 2	6,71-	31,38	1718,5	**نقطة 7**	6,59-	30,92	178,1
نقطة 3	6,35-	31,32	2007,8	**نقطة 8**	6,89-	30,74	1223,2
نقطة 4	6,5-	31,48	2007,8	**المتوسط**	6,9-	30,93	1169,3
نقطة 5	6,62-	31,1	1556,8				

المصدر: (1) قام الباحثان بتوقيع نقاط مختارة في محيط منطقة الدراسة اعتماداً على برنامج ArcGIS، ونقاط الارتفاع من خريطة الارتفاعات الرقمية. (2)https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/ .
(3)http://datapages.com/gis-map-publishing-program/gis-open-files/global-framework/global-heat-flow-database/shapefiles-list.

وتلعب المعايير المناخية دوراً بالغ الأهمية في تحديد المواقع الأكثر ملاءمة في إنتاج الكهرباء من الشمس، وتتمثل إمكانات الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات في دراسة مجموعة من العوامل على رأسها عناصر المناخ وهو ما يوضحه الجدول التالي:

جدول (3) المتوسطات الشهرية والفصلية والسنوية لبعض عناصر المناخ في محطة ورزازات بالمملكة المغربية خلال الفترة(2000-2022م)

الشهر/العنصر	درجة الحرارة (درجة سيليزية)	الرطوبة النسبية (%)	سطوع الشمس (ساعة)		سرعة الرياح (متر/الثانية)
			الفعلي	الممكنة	
يناير	11,4	32,3	8,2	10,8	3,3
فبراير	13,7	23,1	8,6	11,7	3,4
مارس	16,3	19,6	10,1	12,8	4,5
الشتاء	**13,8**	**25,0**	**9,0**	**11,8**	**3,7**
ابريل	23,1	16,6	9,9	13,2	3,8
مايو	28,3	16,2	11,5	14,2	4,3
يونيو	32,2	12,8	13,7	14,7	4,4
الربيع	**27,9**	**15,2**	**11,7**	**14,0**	**4,2**
يوليو	35,9	14,8	13,3	14,4	4,3
اغسطس	35,8	15,6	12,5	13,7	3,9
سبتمبر	33,1	18,3	11,8	12,8	3,9
الصيف	**34,9**	**16,2**	**12,5**	**13,6**	**4,0**
أكتوبر	24,3	21,6	10,4	11,6	3,0
نوفمبر	18,5	24,4	9,1	10,9	3,5
ديسمبر	11	34,8	8,2	10,4	3,4
الخريف	**17,9**	**26,9**	**9,2**	**11,0**	**3,3**
المتوسط	**23,6**	**20,8**	**10,6**	**12,6**	**3,8**

المصدر: من اعداد الباحثان اعتمادا على: (1) http://datapages.com/gis-map-publishing-program/gis-open-files/global-framework/global-heat-flow-database/shapefiles-li (2) Hajou. A.,& et. al.,2024, P87 (3)http://www.solar-med-atlas.org

وقد وضعت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO)، عدة معايير مناخية في هذا الشأن، فهناك عناصر مناخية ذات ارتباط وثيق في عملية إنتاج الطاقة الكهربائية، وسوف يتم ترتيب هذه العناصر حسب تأثيرهم على المتغير المراد دراسته، وتتمثل تلك العناصر في الأتي:

أ- معيار الإشعاع الشمسي والطاقة الضوئية

يعتبر الإشعاع الشمسي Solar Radiation هو المصدر الرئيسي للطاقة الشمسية(*)، حيث تمتلك ورزازات واحدة من أعلى معدلات الإشعاع الشمسي في العالم يتراوح بين3,600:3,000 ساعة/السنة في الصحراء (Merrouni.A.A.,& et. al., 2018, P864) وتقل السحب في فصل الربيع ويجني كل متر مربع معرض للطاقة

الشمسية من منطقة ورزازات ما بين 2100 : 2350 ك.و.س، وهو رقم كبير لو تم استخدام هذه الطاقة عبرطريق محطات الطاقة الشمسية الحرارية (Aqachmar. Z.,& et. al., 2009, P577)، وذلك لوقوع وسط وجنوب ورزازات في النطاق شبة المداري، مما كان له بالغ الأثر من الأشعة الواصلة إليه؛ ويرجع ذلك إلى طول الفترة التي تتعامد فيها الشمس على الإقليم الجنوبي وطول ساعات السطوع الشمسي اليومي عليها.

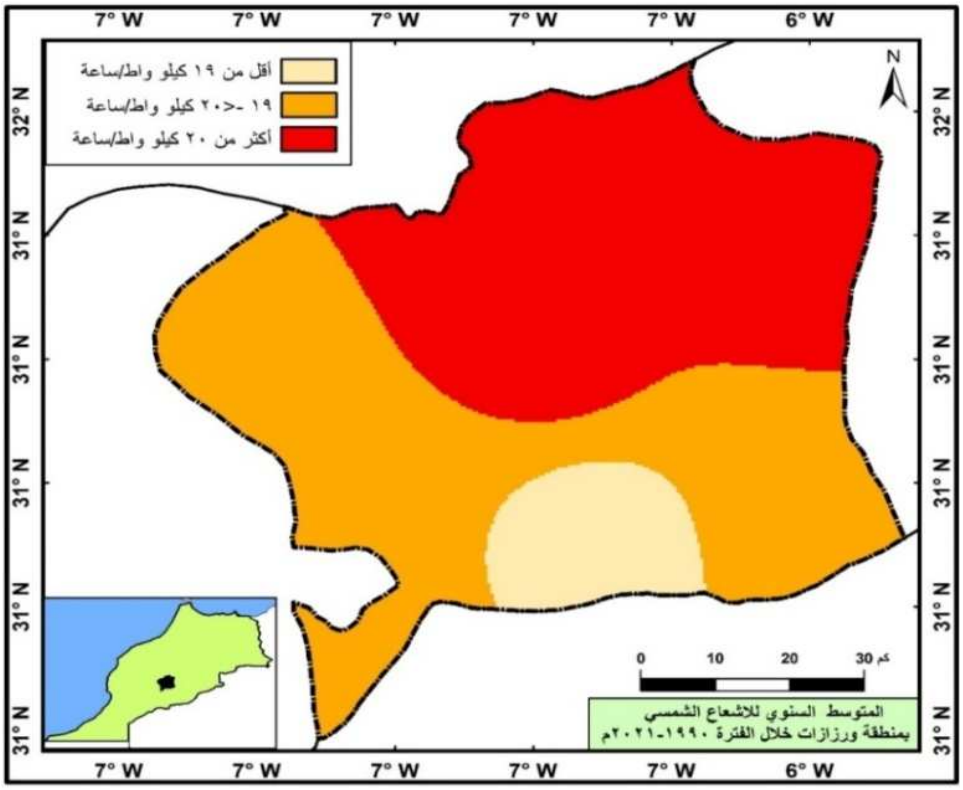
وتمتاز المنطقة بكميات كبيرة من الإشعاع الشمسي(*) إلا أنها تتباين من منطقة لأخرى، وهذا ما يوضحه الجدول (4)، وقد قام الباحثان بتصنيف وملاءمة الإشعاع الشمسي وتم تقسيمها إلى ثلاث فئات؛ بحيث تكون المنطقة ذات الإشعاع العالي والتي تكون أكثر من 20 كيلوواط/ م2/يوم، هي الأفضل والأكثر ملاءمة، وتقل درجة الملاءمة مع انخفاض كمية الإشعاع الشمسي الواصلة بجميع مناطق الدراسة.

جدول (4) متوسط الإشعاع الشمسي لموقع النقاط المختارة في منطقة ورزازات بالكيلو واط/الساعة/م2/اليوم خلال الفترة 1990-2021م

النقاط	المتوسط السنوي	الصيف	الشتاء	النقاط	المتوسط السنوي	الصيف	الشتاء
نقطة 1	19,8	22,6	14,7	نقطة 6	19,8	23	14,4
نقطة 2	20,2	23,1	15	نقطة 7	18,8	21,6	13,9
نقطة 3	20,2	23,1	15	نقطة 8	19,8	22,9	14,4
نقطة 4	20,2	23,1	15	المتوسط	19,8	23	14,4
نقطة 5	19.8	23.1	15				

المصدر: (1) قام الباحثان بتوقيع إحداثيات المحطات اعتماداً على برنامج ArcGIS، ونقاط الارتفاع من خريطة الارتفاعات الرقمية.(2)-http://datapages.com/gis-map-publishing-program/gis-open-files/global-framework/global-heat-flow-database/shapefiles-list.

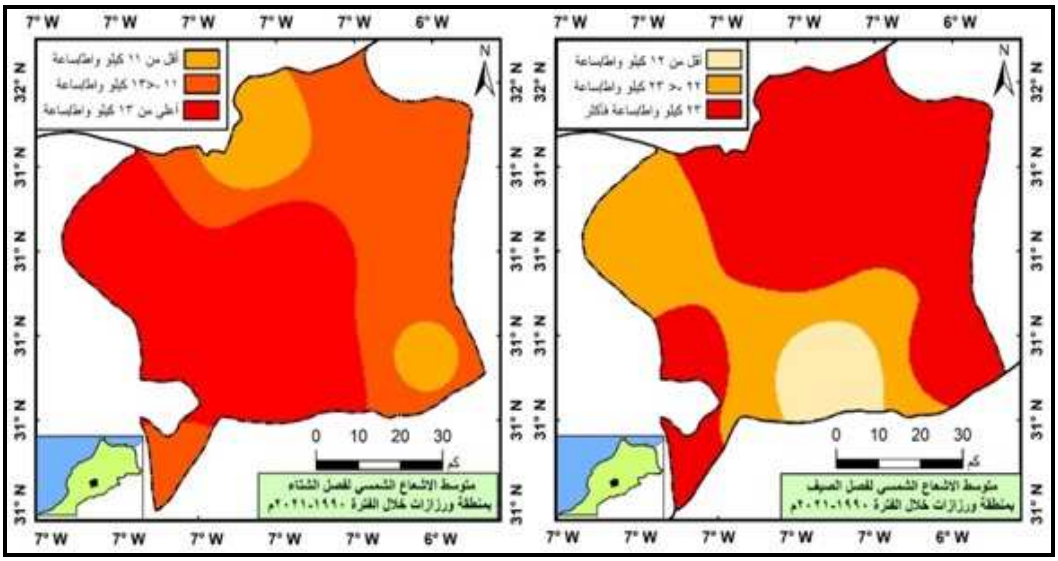
(*) ليس الإشعاع الشمسي بمفردة هو المتحكم في إنتاج الكهرباء بل أن هناك عوامل أخرى أهمها كفاءة الألواح الشمسية، ومعامل الحرارة بها، وعمليات الصيانة والتنظيف لتلك الألواح(Bentamy. A.,& et. al., 2022, P517).



المصدر: من اعداد الباحثان اعتمادا على بيانات جدول (4)

شكل (5) المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي في منطقة ورزازات خلال الفترة 1990-2021م

ويلاحظ من الجدول (4) والشكل (5) أن ما يقرب من نصف مساحة ورزازات لا سيما الجهات الشمالية والشمالية الوسطي منها هي الأوفر حظاً في متوسط الإشعاع الشمسي، مما يساعد على إنتاج أكثر من 20 كيلو واط/ساعة من الكهرباء، وتقل كميات الإنتاج المتوقعة في الوسط والشمال الغربي والجنوب حتى تصل إلى 19 كيلو واط/ساعة. وبتحليل بيانات الشكل (6) يتبين أن معدل الإشعاع الشمسي يتراوح خلال فصل الشتاء بين 11 : 13 كيلو واط/الساعة في الغرب والجنوب الغربي، أما خلال فصل الصيف فتتراوح بين 12 : 23 ك.و.س في الشرق والشمال الشرقي والوسط الشمالي.



المصدر: من اعداد الباحثان اعتمادا على بيانات جدول (4)

شكل (6) المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي في منطقة ورزازات خلال فصلي الشتاء والصيف بين عامي 1990-2021م

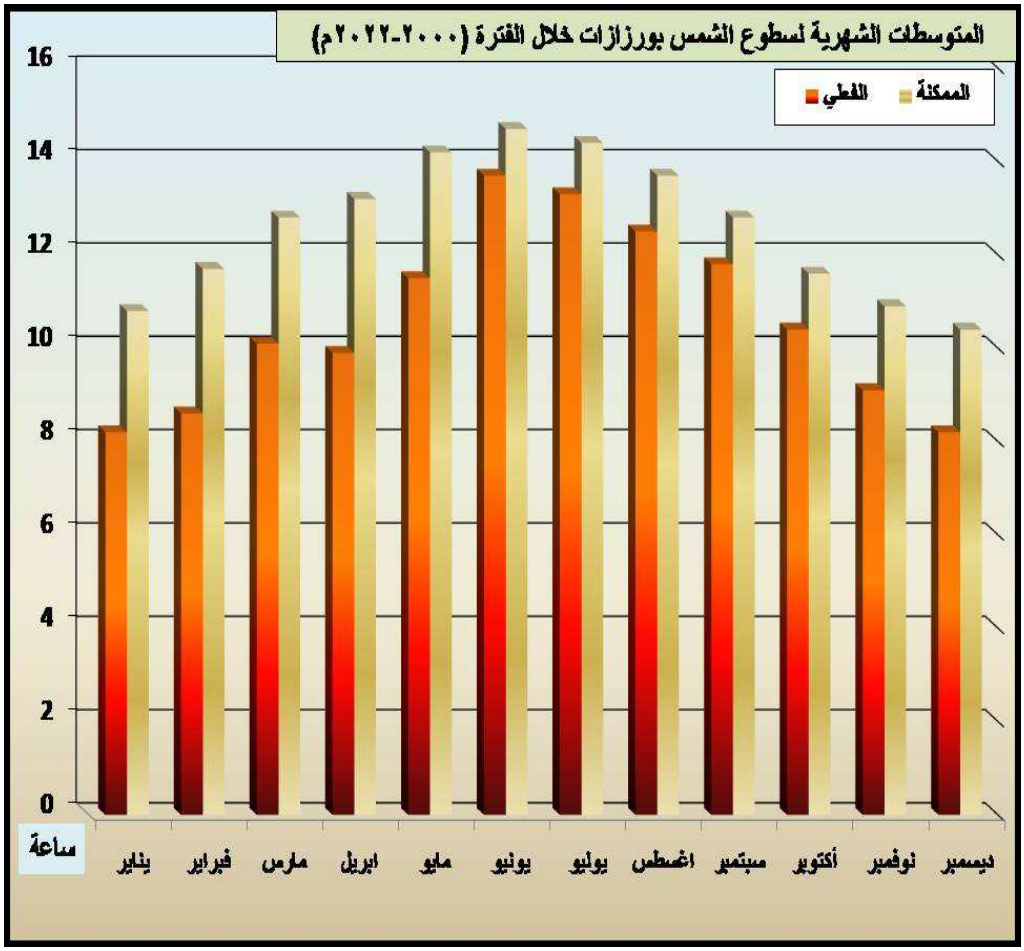
وجدير بالذكر أن الاشعاع الشمسي ليس هو المتحكم فقط في إنتاج الكهرباء بل هناك عوامل أخرى أهمها: مدي كفاءة الألواح الشمسية، ومعامل الحرارة بها، وعمليات الصيانة والتنظيف لتلك الألواح.

ب-معيار ساعات السطوع الشمسي والطاقة الضوئية (الفوتوفولطية)

تحسب ساعات سطوع الشمس الواصل إلى سطح الأرض طوال اليوم(*) بتلك الفترة حيث يتفاوت الإشعاع الشمسي على منطقة ورزازات: ففي الجنوب تزداد كثافة السحب ومن ثَمَّ يحجب الإشعاع الشمسي الذي لم يزد عن 23%، بينما تنخفض كثافة السحب شمالاً مما يزيد من معدل الإشعاع ليصل إلى 92% (Al-Hasan. A.Y, Ghoneim. A.A., 2005, P193).

(*) هناك نوعان من ساعات سطوع الشمس وهما: ساعات السطوع المحتملة: تحسب تبعاً لدرجات العرض، ويبلغ متوسط ساعات السطوع المحتملة بمنطقة ورزازات (النهار) حوالي 12 ساعة، وهناك ساعات السطوع الفعلية: التي تحسب بالوصول الفعلي للإشعاع الشمسي(Anas. H.,& et. al., 2021, P96)

وطبقاً لجدول (3) وشكل (7) أن المتوسط الشهري لساعات السطوع الشمسي الممكنة والفعلية في منطقة ورزازات خلال الفترة بين 2000: 2022م، ويلاحظ أن المتوسط السنوي لورزازات قد بلغ 10,6 ساعة فعلية، و12,6 ساعة ممكنة، أما على المستوى الشهري فان الوقت الأكبر لعدد ساعات السطوع الشمسي يتمثل في شهر يونيو(13,7 ساعة فعلية، و14,7 ساعة ممكنة)، وتمثل عدد الساعات الأقل خلال شهري ديسمبر ويناير (8,2 ساعة فعلية، 10,4 ساعة ممكنة) أثناء شهر ديسمبر.



المصدر: من إعداد الباحثين اعتماداً على بيانات جدول (3)

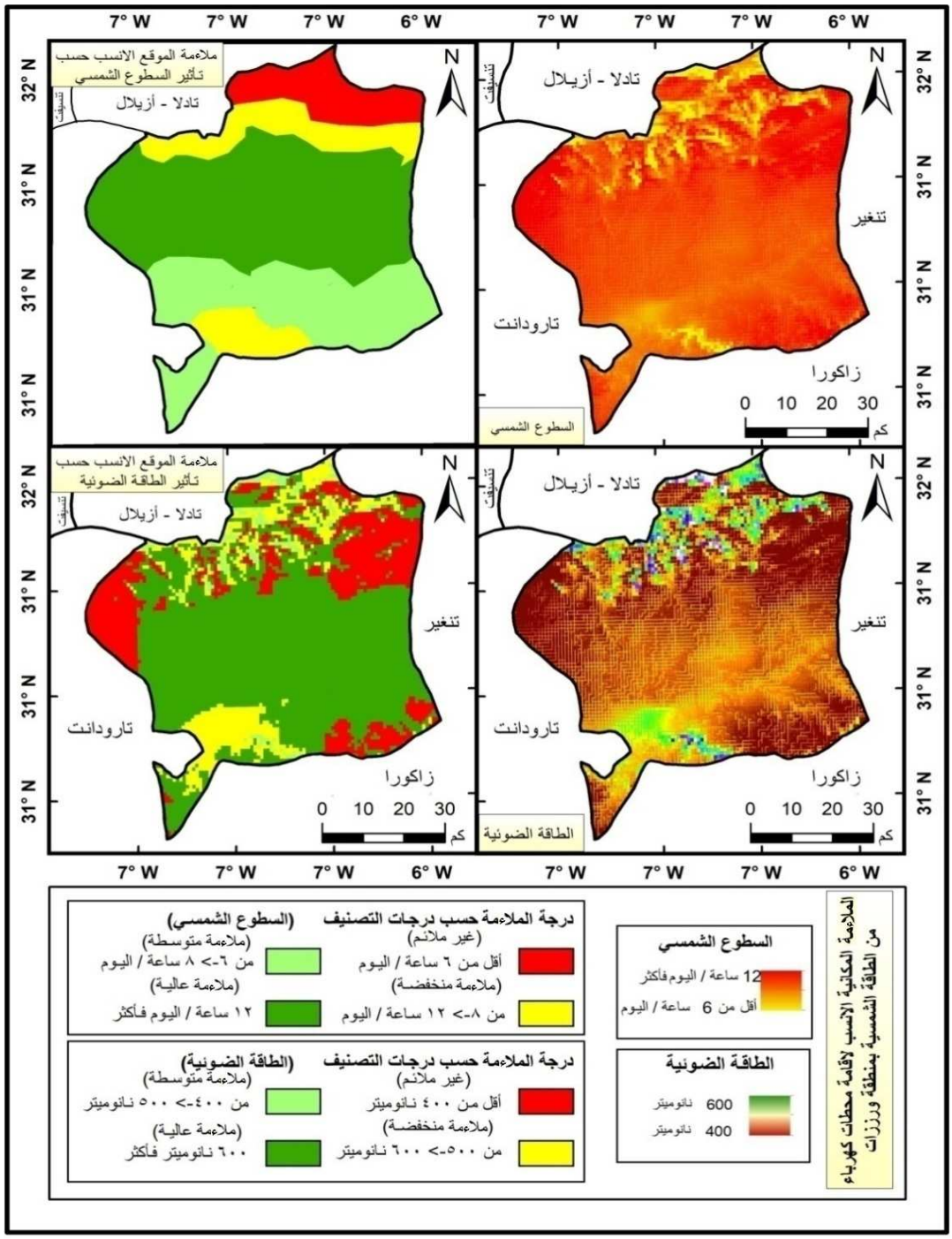
شكل (7) المتوسط الشهري لساعات السطوع الشمسي الممكنة والفعلية في منطقة ورزازات بين عامي 2000: 2022م

وتتأثر ورزازات بالإشعاع الشمسي بصورة تفوق تأثير النطاق شبة المداري؛ نظراً لوقوعها ضمن النطاق الصحراوي، لذا تطول فترة تعامد الشمس مما يساعد بدوره على زيادة عدد ساعات سطوع الشمس (Bounoua. Z.,& et. al., 2021, P65).

وفي حال توافر البطاريات ذات قدرات التخزين والكفاءة العالية، فسيصبح لنظام الطاقة الشمسية أثراً بالغاً وأكثر فعالية، مع الوضع في الاعتبار توافر الحد السنوي الأدنى لذروة الشمس، وتعد منطقة ورزازات بيئة ملاءمة لإنتاج الطاقة الشمسية؛ حيث يتراوح معدل فاعلية السطوع الشمسي الأدنى بين 3,5: 5,5 ساعة كحد أدنى لذروة السطوع وهي مناطق غير ملائمة لإنتاج الكهرباء وتتمثل في أقصى جنوب منطقة الدراسة، وبين 6– 12 ساعة كحد أقصى له وهي مناطق ذات ملاءمة تتباين بين المنخفضة والعالية لإنتاج الكهرباء كما هو الحال في وسط وشمال بمنطقة ورزازات راجع الشكل (8) وهناك عوامل عدة تؤثر في الإشعاع الشمسي وفي كفاءة ألواح الخلايا الشمسية(*).

أما الطاقة الضوئية فهي التي يمكن إنتاجها من الضوء في أطوال موجية تتراوح بين 400 : 700 نانوميتر، وهي موجات كهرومغناطيسية تحتوي على حزم من الفوتونات تختلف في خواصها الفيزيائية باختلاف الطول الموجي مثل الأشعة: السينية، جاما، وتقوم ضوء الشمس أو خلايا الألواح الشمسية بتحويل الطاقة المشعة من الشمس إلى كهرباء(African Development Bank, 2014, P79).

ويلاحظ من الشكل (8) عدم ملاءمة بعض مواضع جنوب ورزازات لإنتاج الكهرباء؛ لامتلاكها طاقة ضوئية أقل من 400 نانوميتر، أما النطاق الأوسط فهو الأكثر ملاءمة لإنتاج الكهرباء لتعرضه لطاقة ضوئية تزيد على 600 نانوميتر.



المصدر: Bounoua. Z.,& et. al., 2021, P61 (2) Anas. H.,& et. al., 2021, P83 (1).

شكل (8) الملاءمة المكانية للإشعاع الشمسي والطاقة الضوئية بمواقع إنتاج الكهرباء بمنطقة ورزازات

جـ- معيار متوسط درجات الحرارة

ينعكس تأثير ارتفاع درجات الحرارة سلباً على أداء الخلية الشمسية وكفاءتها لأن ذلك يقلل من قيمة جهد الخلية، فكلما ارتفعت درجة الحرارة درجة واحدة مئوية كلما انخفضت كفاءة التشغيل، ويحدد معامل درجة الحرارة نسبة انخفاض كفاءة الألواح إذا ارتفعت درجة الحرارة درجة مئوية واحدة على الألواح(El Mghouchi. Y, 2022, P89)، وهناك ما يعرف بدرجة حرارة التشغيل القياسية للخلية التي تبلغ نحو 25 درجة مئوية[*]، أو حسب شروط اختيار المصنع وحسب المواصفات الصناعية الخاصة باللوح، فإن زادت الحرارة عن هذا الحد يقل إنتاج الكهرباء وينخفض جهد التيار المولد؛ حيث توجد معلومات عن معاملات الخصائص الحرارية، والتي تعبر عن تغير خصائص اللوح الشمسي وانخفاض القدرة عند زيادة درجة الحرارة (Aqachmar.Z.,& et. al.,2009, P579).

تعرف درجة تأثر الألواح الشمسية بدرجة الحرارة بمعامل حرارة الألواح الشمسية[**] وفي حالة ارتفاع درجات الحرارة ينخفض إنتاج الألواح الشمسية بالمحطات الفوتوفولتية من الكهرباء، ويتراوح معامل حرارة الألواح بالمحطات القائمة بورزازات بين 0,4:0,6%

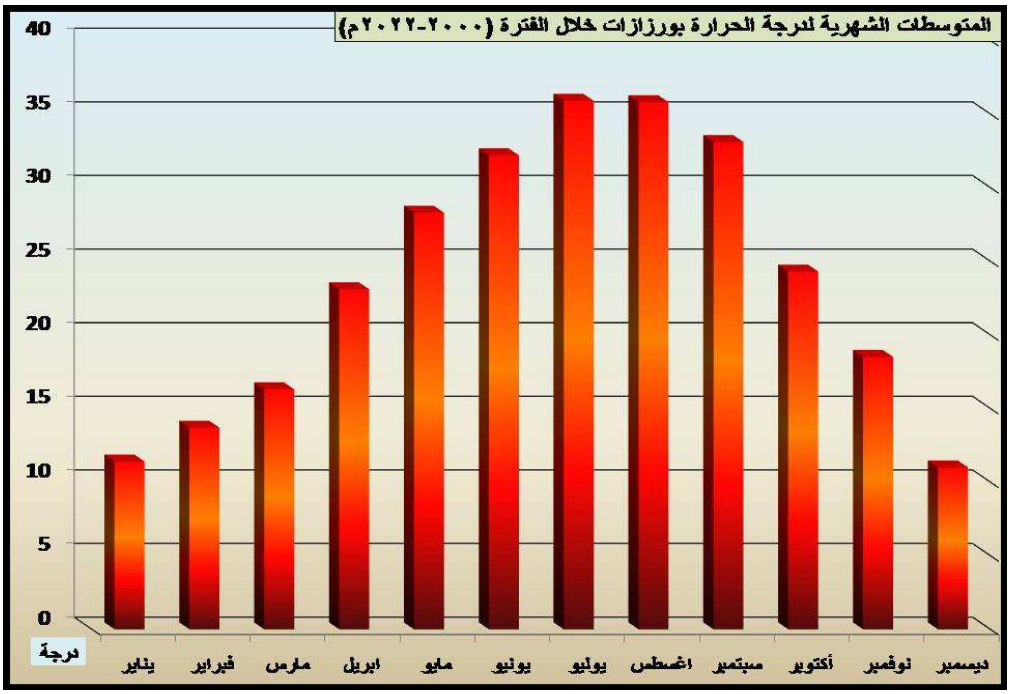
---

[*] وضعت شركة فيلادلفيا الرائدة في مجال الطاقة الشمسية معيار لصناعة الخلايا الشمسية لتوفير كفاءة تشغيلية أعلى في جميع حالات الظل والحرارة وقد تم التوصل إلى أعلى كفاءة للألوح بحيث تتراوح بين 20,16% : 21,2% لإنتاج كهرباء تتراوح بين 435 : 545 واط بمتوسط درجات حرارة 25: 30 درجة مئوية، بمتوسط معامل حراري يتراوح بين 0,295%، و0,365% على مدار 30 سنة، ويعطي ذلك ضمان أكثر من 30 سنة للألواح ذات الوجهين الزجاجيين(El Mghouchi. Y., 2022, P87).

[**] يتم حساب درجة حرارة الألواح الشمسية بالمعادلة الآتية: Tamb+Tcell=(Noct-20 /0.8)*S، حيث إن Tcell تعبر عن درجة حرارة الخلية الشمسية بالدرجة المئوية، وTamb تعبر عن درجة حرارة الهواء بالدرجة المئوية، وNoct تعبر عن درجة حرارة الخلية الشمسية (Nominal operation cell temperature)، وتبلغ قيمتها في معظم أنواع الخلايا الشمسية نحو 45 درجة مئوية، وS تعبر عن الاشعاع الشمسي ك.و.س/ متر مربع (Anas. H.,& et. al., 2021, P87).

وكلما أقترب المعامل من صفر%، كلما ارتفعت كفاءة تشغيل الخلايا المولدة للكهرباء(El Mghouchi. Y, 2022, P89).

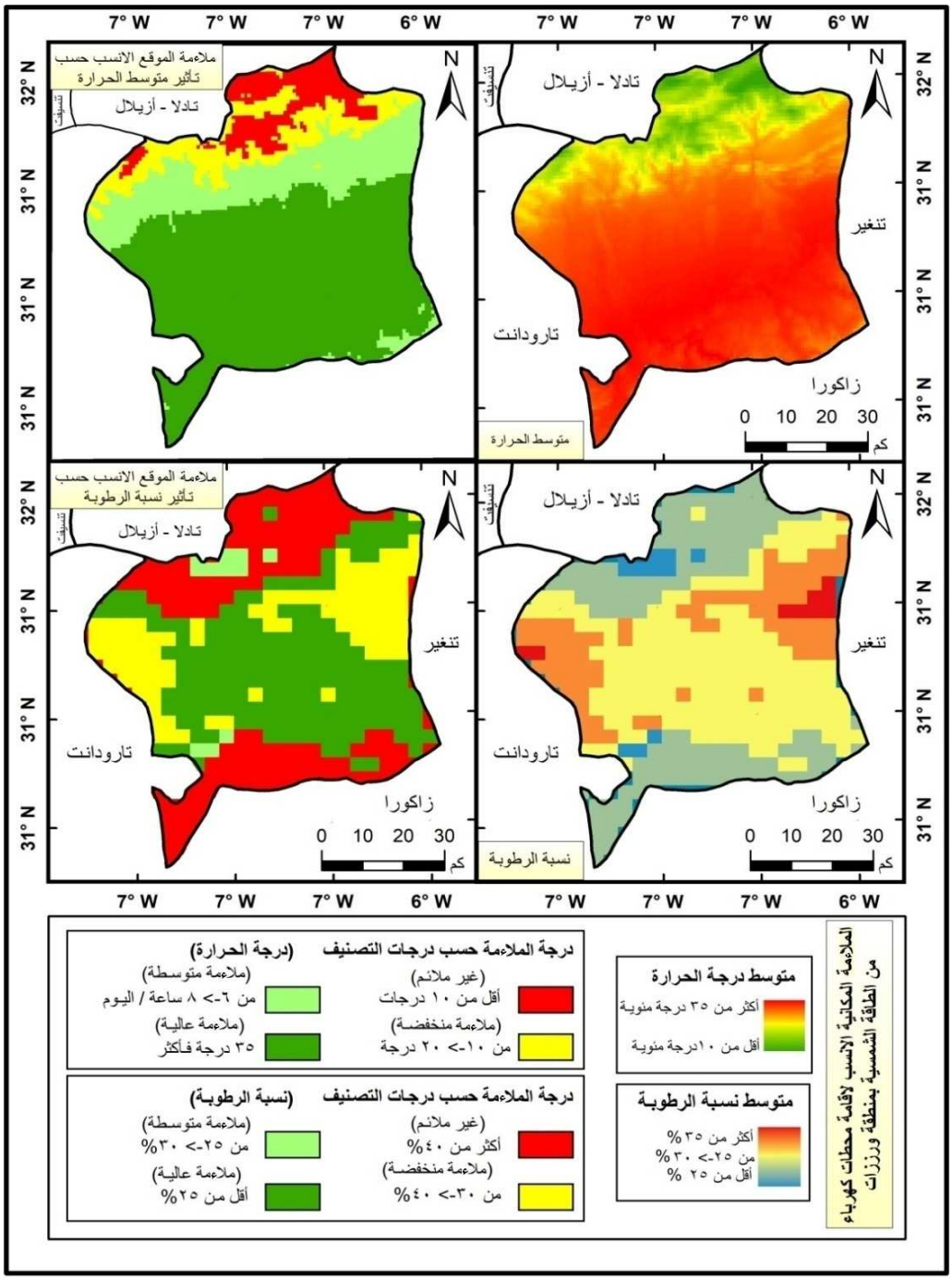
ويلاحظ من دراسة الجدول (3) والشكل (9) أن المتوسط السنوي لدرجات الحرارة بمنطقة ورزازات للفترة بين عام 2000–2022م قد بلغ 23.6 درجة سيليزية، أما أعلى متوسط شهري لدرجة الحرارة الأعلى سجلت خلال شهر يوليو بمقدار 35,9[5] سيليزية، بينما الدرجة الأقل فتمثلت خلال شهر ديسمبر بمقدار 11[5].



المصدر: من اعداد الباحثان اعتماداً على بيانات جدول (3)

شكل (9) المتوسط الشهري لدرجة الحرارة في منطقة ورزازاتبين عامي 2000: 2022م

ويتبين من تحليل الشكل(10) اختلاف مناطق بورزازات في ملاءمتها لإنتاج الكهرباء، حيث تبين أن الأجزاء الشمالية منها هي الأقل ملاءمة في إنتاج الكهرباء، لانخفاض درجات الحرارة بها، بينما تصل درجات الحرارة إلى 35 درجة وهي بالأجزاء الوسطى والجنوبية مما جعل تلك المناطق ذات الملاءمة العالية لإنتاج الكهرباء.



المصدر: Chaibi. M.,& et. al., 2021, P456 (1)
http://www.solar-med-atlas.org(3) http://solargis.info(2)

شكل (10) المتوسط السنوي للحرارة والرطوبة النسبية بمنطقة ورزازات بين 2000–2020م

د- معيار متوسط نسبة الرطوبة Relative humadity

تتباين معدلات الرطوبة على منطقة ورزازات، حيث تتراوح بين 25% في الأجزاء الوسطي والوسطي الشرقية والغربية وهذه المناطق هي الأكثر ملاءمة لإنتاج الكهرباء؛ حيث تتراوح بين ملاءمة متوسطة ومرتفعة أما الأجزاء الشمالية والجنوبية من منطقة الدراسة فتمتلك ملاءمة متوسطة ومنخفضة لإنتاج الطاقة؛ لارتفاع معدلات الرطوبة إذ تصل إلى 40% بتلك المناطق(Dahlioui. D.,& et. al., 2022, P21).

ويلاحظ من استقراء الجدول (3) والشكل (11) اختلاف المتوسط الشهري للرطوبة النسبية في ورزازات بين عامي 2000-2022م ، حيث بلغ المتوسط السنوي للرطوبة بالمنطقة 20,8%، بينما كان شهر ديسمبر هو الأعلى في الرطوبة بنسبة 34,8%، أما شهر يونيو فجاء كأقل رطوبة حيث بلغت نسبه 12,8%.

المصدر: من اعداد الباحثان اعتماداً على بيانات جدول (3).

شكل (11) المتوسط الشهري للرطوبة النسبية (%)في منطقة ورزازاتخلال الفترة 2000-2022م

هـ – معيار كثافة السحب:

تُظهر صور الأقمار الصناعية(*) الخاصة بالطقس وحركة السحب Cloud مدى كثافة الغطاء السحابي بمنطقة ورزازات، وغالباً ما يستخدمها خبراء الأرصاد الجوية للتنبؤ بالطقس على المدى القصير، كما أن هناك انخفاض تدريجي للسحب التي تحول دون تركز أشعة الشمس كلما اتجهنا شمالاً بعيداً عن مدار السرطان(Yakoubi. H.,& et. al., 2021, P149).

ويتبين من شكل (12) أن شمال منطقة ورزازات غير ملائم لإنشاء المحطات الكهربائية التي تعتمد على الطاقة الشمسية؛ وذلك لزيادة نسبة السحب عن 40% فأكثر، أما في منتصف منطقة الدراسة وفي الأطراف الشرقية والشمالية الغربية تتراوح إمكانات إنشاء المحطات بين الملاءمة المنخفضة والملاءمة المتوسطة، أما الأجزاء الجنوبية لمنطقة ورزازات تقل نسبة السحب عن 30% مما يدل على ملاءمة عالية لتلك المناطق في إنتاج الكهرباء من الشمس.

و– معيار سرعة واتجاه الرياح:

تعتبر سرعة الرياح من أهم الجوانب المؤثرة في خفض درجات حرارة الخلايا الكهروضوئية لمحطات الطاقة الشمسية، كما يشكل تحديد اتجاه الرياح أمراً ضرورياً أيضاً لضبط الألواح الشمسية بزاوية قائمة(Hajou. A.,& et. al., 2024, P.89).

وبقراءة الجدول (5) يلاحظ تأثير سرعة الرياح واتجاهاتها في منطقة ورزازات، فهي سرعات متوسطه لا تؤدي إلى إتلاف الألواح الشمسية ونفس السياق فاتجاهات الرياح لا

(*) يوجد خمسة أقمار صناعية مختلفة تهتم بحالة الطقس وتتمثل تلك الأنواع في: METEOSAT، وGOES-16، وGOES-17، وHIMAWARI، وMETEOSAT-IODC تعمل هذه الأقمار على تصوير الأرض مدة زمنية بين 5 : 15 دقيقة، ويتم معالجة مخرجات تلك الأقمار في صورة ملونة للأرض لتحسين إمكانية القراءة، وتتمتع صورة القمر الصناعي العالمية بأقصى دقة ممكنة مما ينتج عنه 500 ميجابكسل للعالم بأسره(El Hafdaoui. H.,& et. al., 2024, P378)،(http://solargis.info).

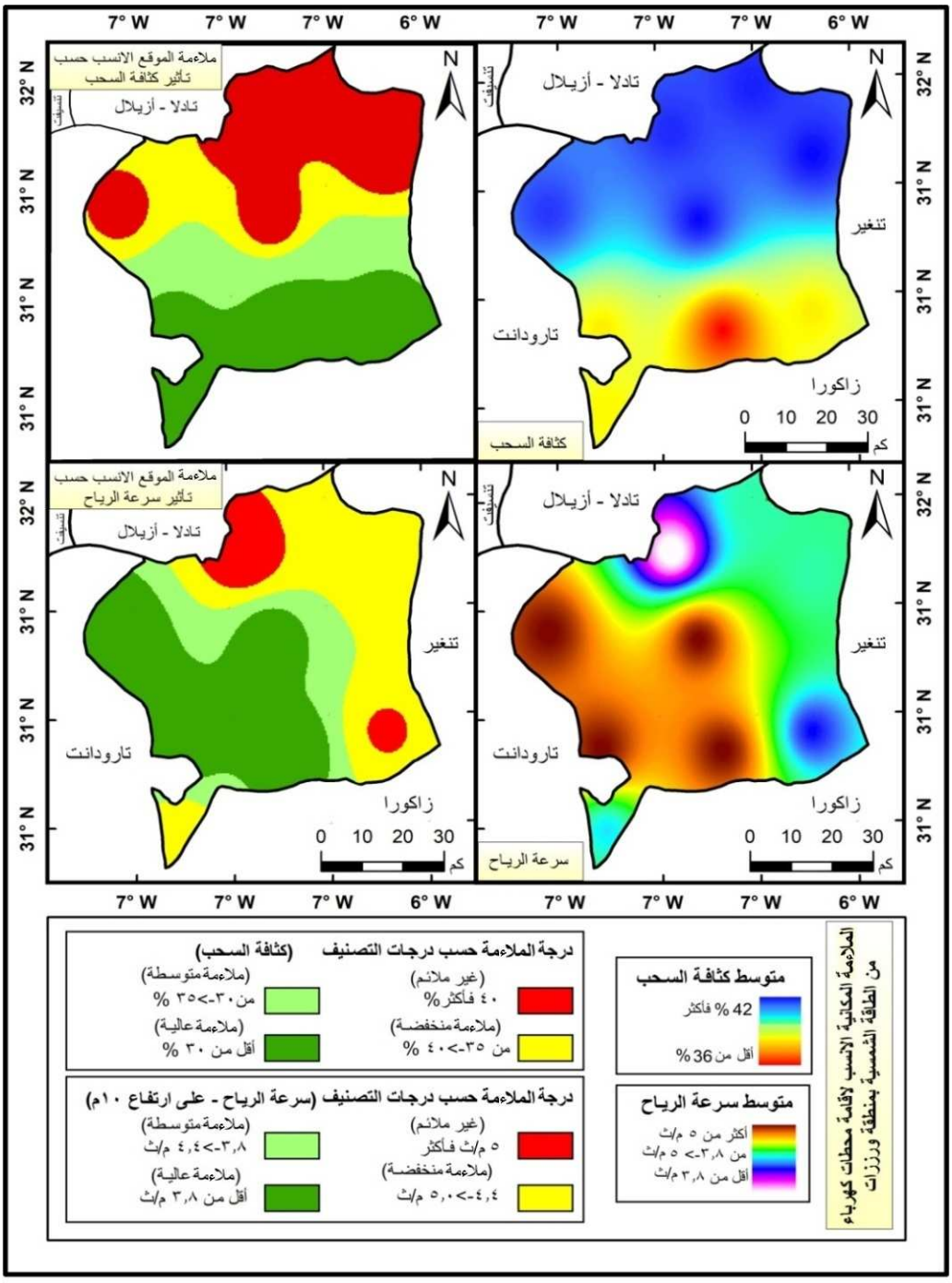
تؤثر في إنشاء المحطات الشمسية لا سيما لو كانت متحركة ومزودة بأنظمة التتبع الشمسي لتحقيق أكبر استفادة من الطاقة الشمسية، حيث تمتلك أيضاً تلك الأنظمة أجهزة لسرعات واتجاهات الرياح بغرض تحديد ضبط زاوية ميل الألواح الشمسية على الوضع الأفقي (وضع صفر درجة) في حالة زيادة سرعات الرياح عن الحد المسموح (Aarich.N., 2024, P45).

جدول (5) متوسط سرعة الرياح لموقع النقاط المختارة في منطقة ورزازات عند 10 أمتار (م/ث) خلال الفترة بين 2000–2020م

النقاط	الصيف	الشتاء	المتوسط السنوي	النقاط	الصيف	الشتاء	المتوسط السنوي
نقطة 1	3,1	4,4	3,8	**نقطة 6**	3,8	4,7	4,3
نقطة 2	3,3	4	3,7	**نقطة 7**	3,7	4,6	4,2
نقطة 3	4,4	5,9	5,2	**نقطة 8**	3,5	4,6	4,1
نقطة 4	4,6	6,4	5,5	**المتوسط**	3,5	4,5	4,0
نقطة 5	4,9	5,9	5,4				

المصدر: من اعداد الباحثان بتصرف عن:-http://datapages.com/gis-map-publishing-program/gis-open-files/global-framework/global-heat-flow-database/shapefiles-list.

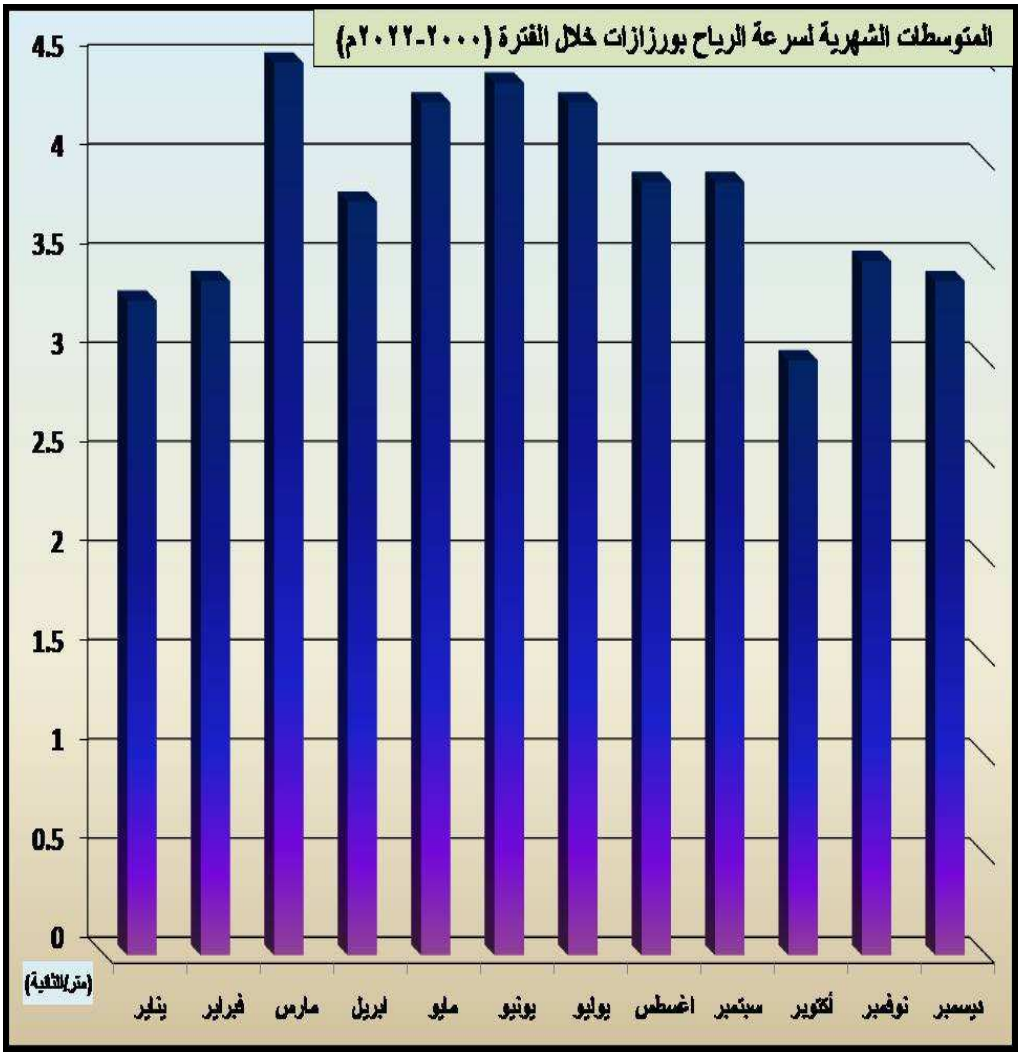
يوضح الجدول (5) والشكل (12) تباين سرعات الرياح على ارتفاع 10 متر من موقع لآخر في منطقة ورزازات؛ ويعزي ذلك إلى استواء السطح وحالة التضرس، حيث تكون الملاءمة منخفضة في الأجزاء الشرقية شمالاً وجنوباً، بينما الأجزاء الجنوبية والغربية فإن الملاءمة عالية لسرعات الرياح التي تقل عن 3.8 م/ث.



المصدر : El Hafdaoui. H.,& et. al., 2024, P.380(2) Chaibi. M.,& et. al., 2021, P459(1)
http://www.thewindpower.net/statistics_en.php(3)

شكل (12) المتوسط السنوي لكثافة السحب وسرعة الرياح بمنطقة ورزازات بين 2000–2020م

أما على مستوى المتوسطات الشهرية لسرعات الرياح بمنطقة الدراسة كما هو واضح من قراءة الجدول (3) والشكل (13) يلاحظتباين واختلاف متوسط سرعات الرياحفي ورزازات بين عامي 2000: 2022م ، حيث بلغ 3,8 متر/الثانية، وسجلت أعلى سرعة للرياح خلال شهر مارس بمقدار 4,5 متر/الثانية، بينما جاءت أقلها خلال شهر أكتوبر بنحو 3,0 متر/الثانية، ويلاحظ بصورة عامة مدي التقارب في سرعات الرياح الشهري بمنطقة الدراسة، حيث لا توجد طفرات واسعة بين شهور السنة.



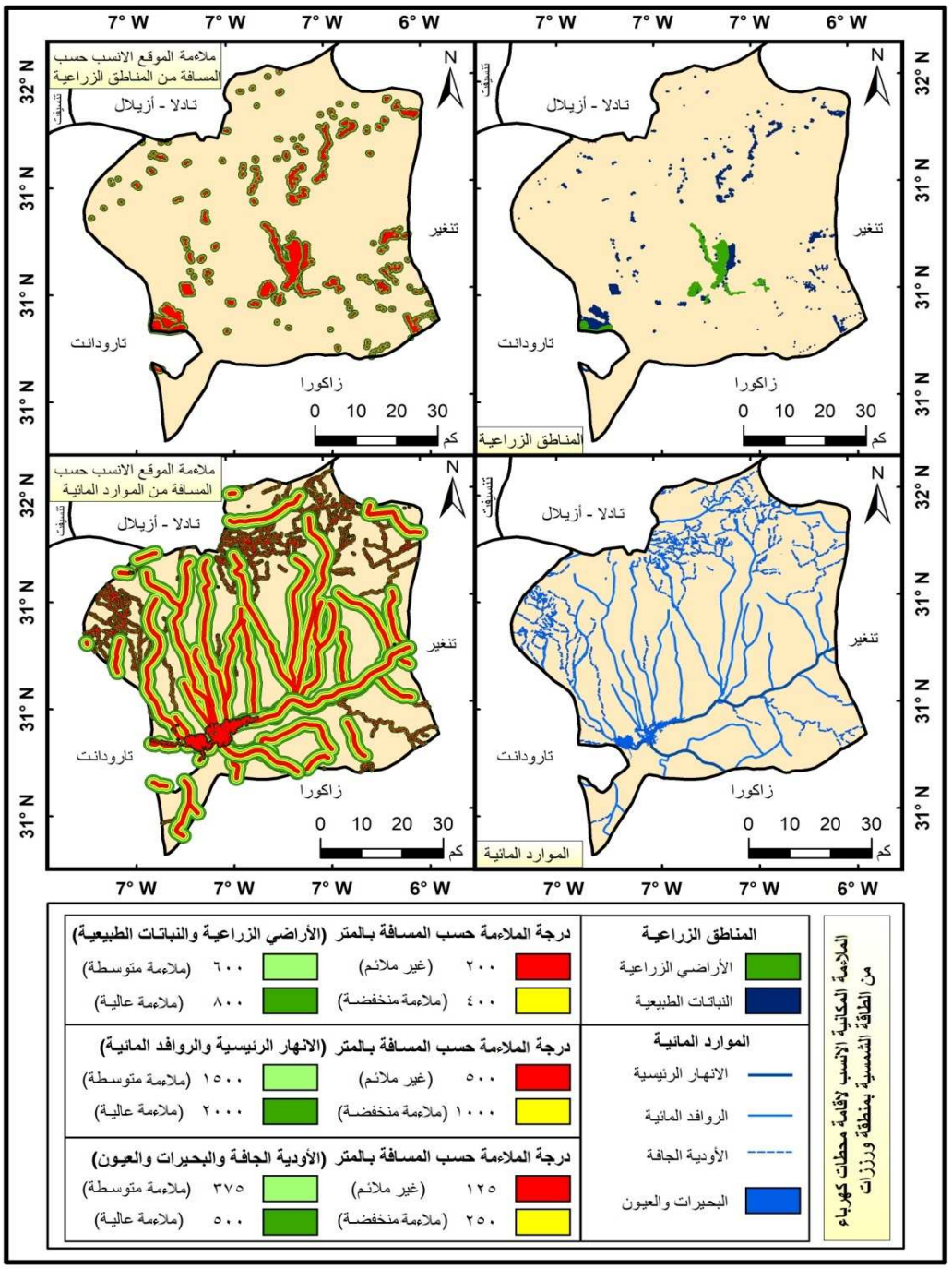
المصدر: من اعداد الباحثان اعتماداً على بيانات الجدول (3)

شكل (13) المتوسط الشهري لسرعة الرياح في منطقة ورزازات بين عامي 2000–2022م

معيار الملاءمة حسب توزيع المناطق الزراعية ومواضع الموارد المائية:

تتميز الشبكة المائية لجهة سوسة ماسة درعه بوجود أودية هامة كوادي سوس، الذي ينبع من الأطلس الكبير حيث يصب بشاطئ إنزكان، ووادي ماسة الذي ينبع من الأطلس الصغير حيث يصب بشاطئ ماسة، ووادي درعه أطول أودية المغرب والذي ينبع من الأطلس الكبير ويخترق الصحراء جنوب ورزازات حتى مصبه قرب شاطئ طانطان(Ben Fares. M.,& et. al.,2018, P148).

أما عن دور الملاءمة المكانية لإنشاء محطات إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية فقد وضع الباحثان المناطق الأكثر ملاءمة بحيث تكون هي الأبعد عن الأراضي الزراعية وعن موارد المياه، لذا يتبين من تحليل الشكل (14) مدي انتشار تلك الأراضي وكذلك النباتات الطبيعية التي تلائم حياة الرعي، بجانب انتشار شبكة الأنهار والروافد المائية والأودية الجافة بمناطق أقاليم الدراسة، لذا وضع الباحثان ملاءمة عالية لإنشاء المحطات: إذا كانت أبعد عن 800 متر بالنسبة لمناطق الزراعة والرعي، و2000 متر بالنسبة للأنهار والروافد المائية، ونحو 500 متر بالنسبة للأودية الجافة والعيون والآبار، ثم تتعدد درجات الملاءمة المكانية لإنشاء المحطات طبقاً لمسافات عناصر هذا المعيار ما بين المتوسطة والمنخفضة لتصل إلى مواضع غير ملائمة لإنشاء المحطات حين تبلغ 200 متر، و500 متر، و125 متر على الترتيب بالنسبة للأراضي الزراعية والأنهار وروافدها والأودية الجافة والآبار.



المصدر: (1) Ben Fares. M.,& et. al., 2018, P146 (2) أطالس أفريقيا، أطلس المغرب،2013م، ص56.

شكل (14) التوزيع الجغرافي للمناطق الزراعية والموارد المائية السطحية ودرجات الملاءمة المكانية لإقامة محطات كهرباء بمنطقة ورزازات

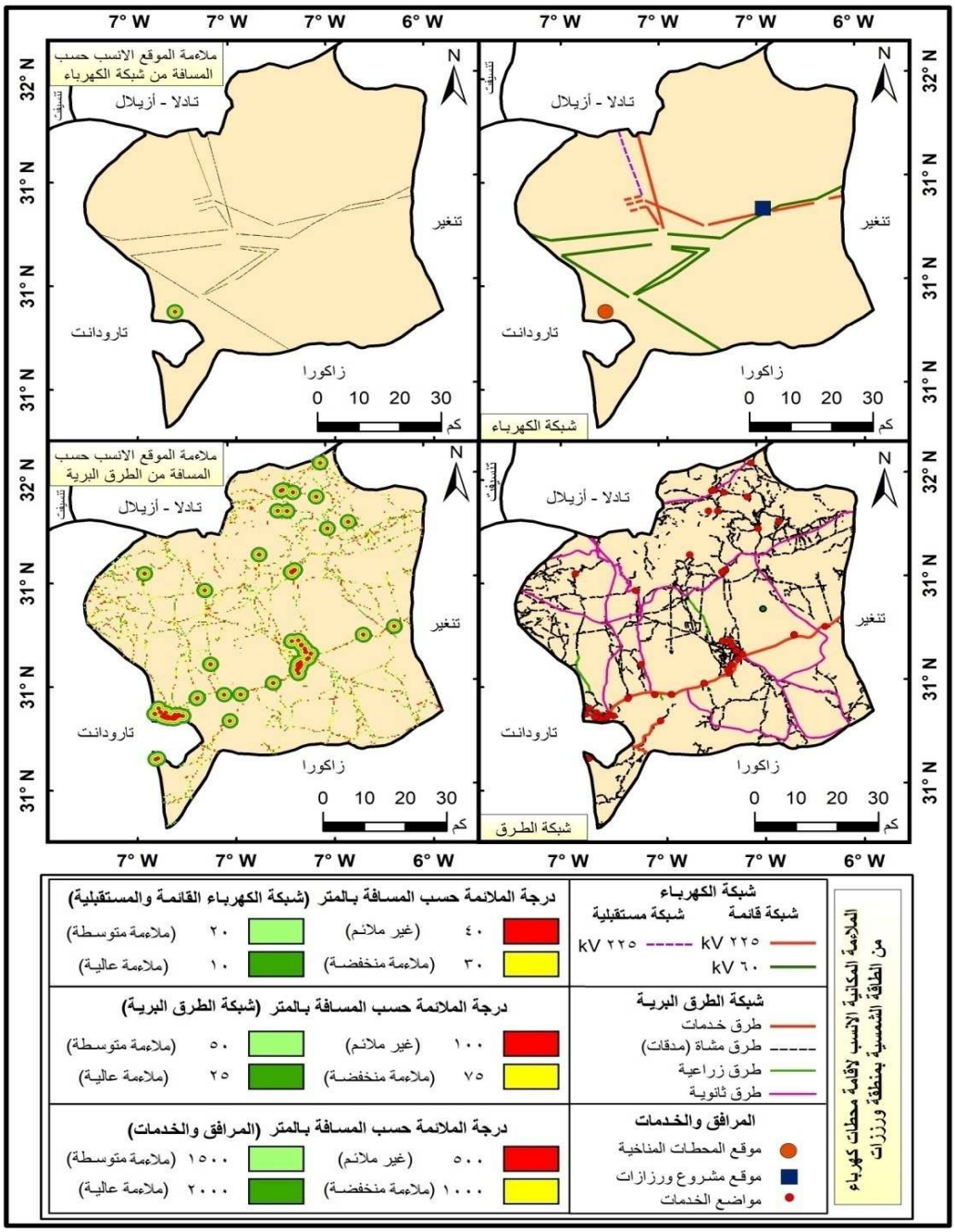
3- معيار الملاءمة حسب القرب من شبكة الربط الكهربائي والطرق البرية:

يتم نقل وتوزيع الطاقة الكهربائية من مشروع نور ورزازات عبر ثلاثة خطوط كهربائية مختلفة، بحيث يربط كل خط جديد مع واحده من المحطة الكهربائية بورزازات بمدينة عمرانية لتعزيزها بالكهرباء مثل: نور ورزازات مع مدينة الرشيدية، ونور ورزازات مع مدينة تازارت، ونور ورزازات مع مدينة ورزازات(البنك الدولي، 2018م، ص67).

وبتحليل الشكل (15) تبين أن شبكة الطرق القريبة بنحو 25 متر هي الأفضل والأكثر ملاءمة لإنشاء محطات الكهرباء، كما أن شبكات الكهرباء أيضاً الأقرب بنحو 10 متر هي الأكثر ملاءمة؛ لسهولة مد شبكات الكهرباء من تلك المحطات. أما عن المرافق والخدمات فكلما كانت على مسافة أكبر، كلما حافظت على استمراريتها وفرص توسعها؛ لذا وضع الباحثان قيمة 2000 متر كمسافة للملاءمة العالية لإنشاء محطات الكهرباء البعيدة عن تلك المرافق، وتتدرج الملاءمة ما بين المتوسطة والمنخفضة حسب أهمية الظاهرة، لذا فالمواضع غير الملائمة تقع على بعد 40 متر، و100متر، و500 متر على الترتيب من شبكات الكهرباء وشبكات الطرق البرية والمرافق والخدمات.

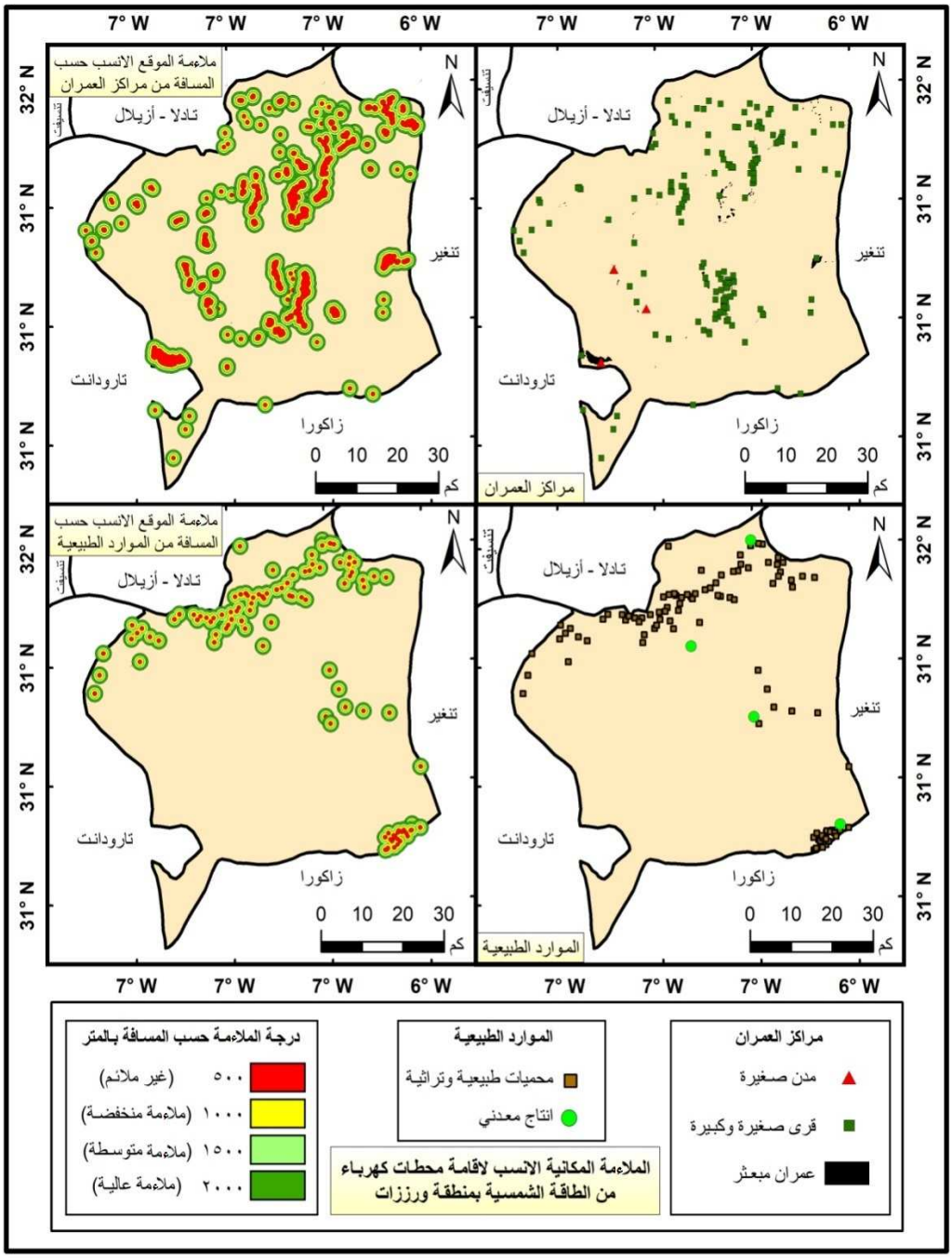
4- معيار الملاءمة حسب توزيع مراكز العمران والموارد الطبيعية

لاقتراح أفضل موقع لمحطات الطاقة الشمسية تم إدخال طبقات مراكز العمران والموارد الطبيعية وتحويل الطبقة إلى راستر Polygon to Raster وتم اعادة تصنيفها Reclass مع إعطاء درجات ملاءمة بمستويات متعددة؛ لذا يتبين من الشكل (16) أن مراكز العمران ومواقع الموارد الطبيعية سواء المحميات الطبيعية أو مناجم الإنتاج المعدني تكون على أهمية واحدة من مواقعها بالنسبة لإنشاء المحطات الكهربائية، وبناءً عليه كانت المسافة 2000 متر ذات ملاءمة عالية، وتقل أهمية الموقع المقترح بالقرب من الظاهرة الأقل من 500 متر كمسافة غير ملائمة لإنشاء تلك المحطات.



المصدر: (1) Ougazzou. M.,& et. al.,2024, P86 (1)أطالس أفريقيا، أطلس المغرب، 2013م، ص 56. (3)http://www.masen.ma/en/projet/2/noor-ouarzazate-iv34/.

شكل (15) التوزيع الجغرافي لشبكة الربط الكهربائي القائمة والمستقبلية وشبكة الطرق البرية ودرجات الملاءمة المكانية لإقامة محطات كهرباء بمنطقة ورزازات



المصدر: (1) Mensour. O. N.,& et. al.,2019, P905.(2) Ougazzou. M.,& et. al.,2024, P89.

شكل (16) التوزيع الجغرافي لمراكز العمران والموارد الطبيعية ودرجات الملاءمة المكانية لإقامة محطات كهرباء بمنطقة ورزازات

5- معيار الملاءمة حسب حجم وكثافة السكان:

يأتي الحديث عن حجم السكان وكثافتهم تعبيراً عن مقدار الاحتياج للطاقة الكهربائية، فتقسم منطقة ورزازات إلى ستة أقسام إدارية صغرى[1]، كما هو موضح بجدول (6)، وقد بلغ عدد سكانها 78,9 ألف نسمة عام 2000م، وصل 90,2 ألف نسمة عام 2004م، ثم واصل الزيادة عام 2008 فبلغ حجم سكانها 121,9 ألف نسمة (ضايض، وساليمي، 2009م، ص16)، ثم تزايد عدد السكان حتى وصل عام 2022م إلى 172,7 ألف نسمة.

جدول (6) حجم السكان وكثافتهم في منطقة ورزازات خلال الفترة بين 2004-2022م

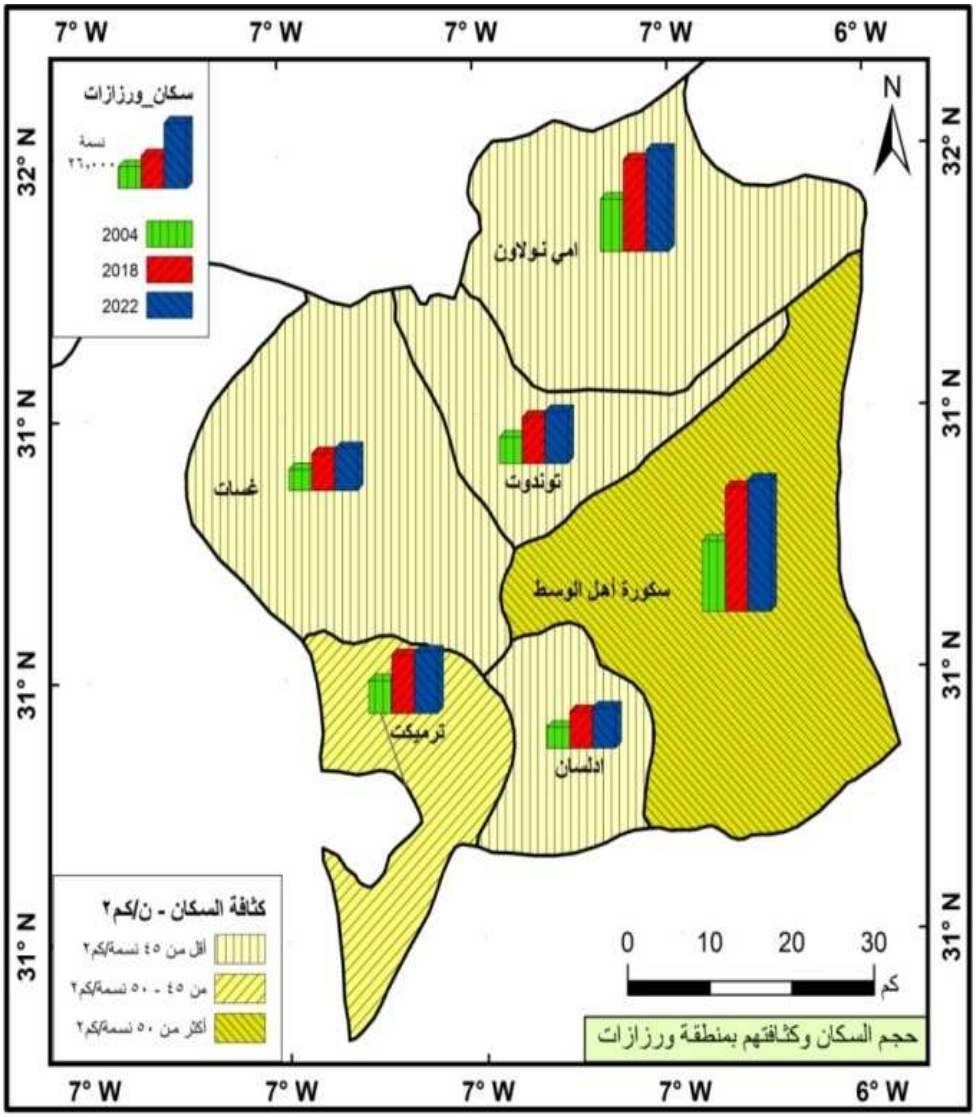
السنة	2004		2018		2022		المساحة كم2	2022م الكثافة ن/كم2
الدائرة	السكان	الأسر	السكان	الأسر	السكان	الأسر		
غسات	8,448	1,298	14,846	2,095	16,875	2,296	1,035	16.3
ادلسان	8,374	1,415	14,716	2,283	16,283	2,392	382	42.6
امي نولاون	21,061	3,126	37,011	5,045	40,879	5,387	1,023	40.0
سكورةأهل الوسط	28,387	4,935	49,885	7,964	52,894	8,236	1,054	50.2
ترميكت	13,324	13,324	23,415	21,501	24,829	22,582	537	46.2
توندوت	10,606	1,773	18,638	2,861	20,898	2,981	491	42.6
إجمالي ورزازات	90,200	25,871	158,511	41,749	172,658	43,874	4,522	38.2

المصدر: (1)المندوبية السامية للتخطيط، 2015م، ص 87. (2)المندوبية السامية للتخطيط،2020م، ص91. (3)المندوبية السامية للتخطيط، 2023م، ص 82. (4) ضايض، وساليمي، 2009م، ص 18.

يلاحظ من تحليل الجدول (6) والشكل (17) أن منطقة سكورة أهل الوسط يليها منطقة أمي نولاون قد شكلا الترتيب الأعلى في حجم السكان في غربي ورزازات؛ مما

[1] تضم ورزازات ست جماعات حضرية وهي غسات Ghassate، وادلسان Idelsane، وأمي نولاون Imi Noulaoune، وسكورة أهل الوسط Skoura Ahleeloust، وترميكت Tarmikt، وتوندوت Toundoute، وتضم تلك الجماعات الحضرية نحو 3221 جماعة قروية(المندوبية السامية للتخطيط، 2021م، ص 81).

يترتب عليه احتياج السكان لمحطات انتاج الكهرباء، في حين جاءت منطقة ادلسان بجنوبي ورزازات في الترتيب الأخير من حيث حجم السكان لذا فهي أقل المناطق من حيث الحاجة لمحطات الكهرباء.



المصدر: من إعداد الباحثان اعتمادا على الجدول (6).

شكل (17) حجم السكان وكثافتهم بمنطقة ورزازات خلال الفترة بين 2004–2022م

ثالثاً: بناء نموذج الملاءمة المكانية لاختيار مواقع لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات:

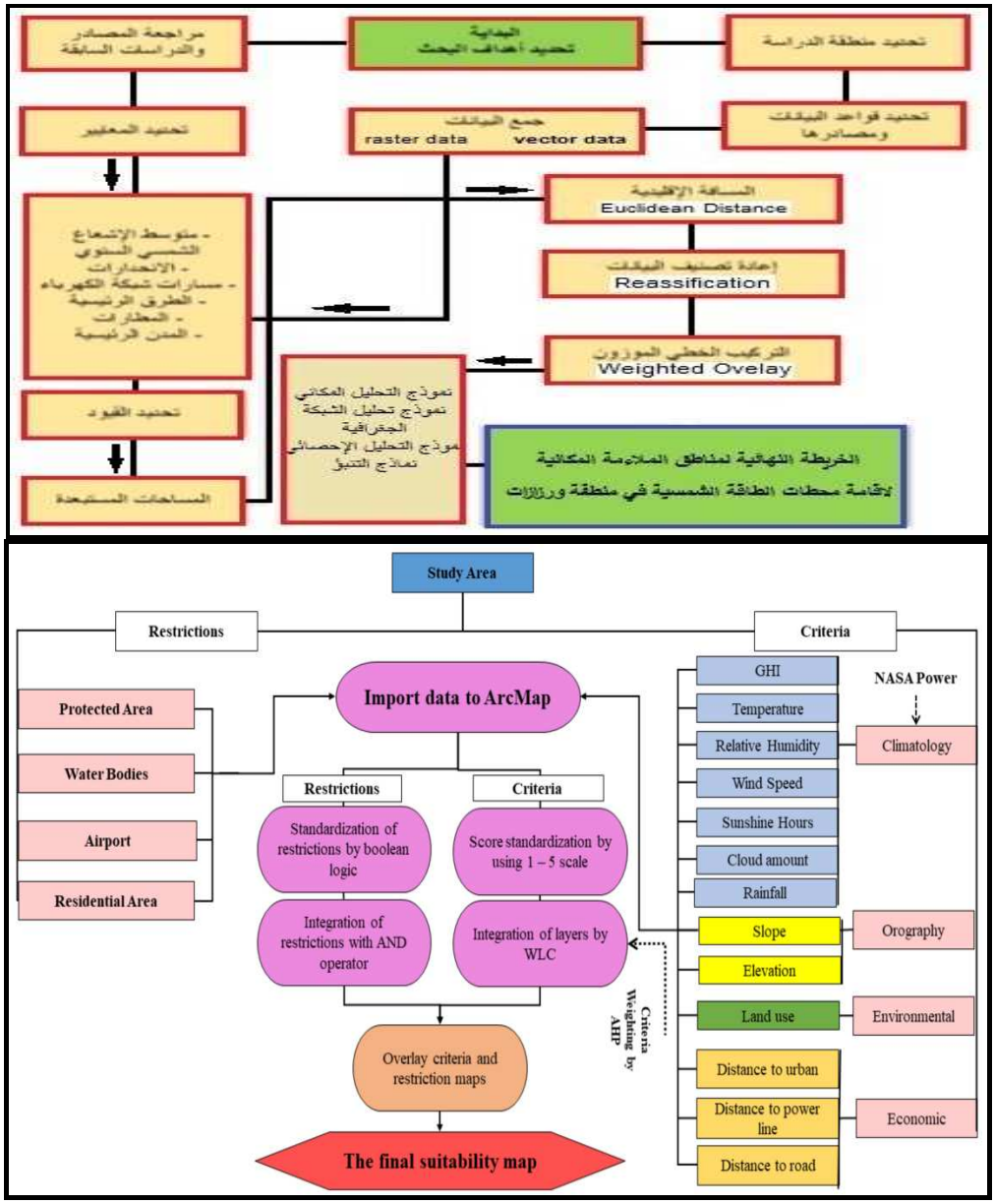
بعد أن قام الباحثان بإعداد خرائط الملاءمة المكانية[1] لعدد من المعايير الطبيعية والبشرية المؤثرة على مكان إقامة محطة الطاقة الشمسية بمنطقة ورزازات، لذا حان دور بناء نموذج لإنتاج خريطة الموقع الأمثل باستخدام الـGIS، وتتبع هذه النقطة من الدراسة لأسلوب التحليل المكاني للمعايير المتعددة Spatial Multi-Criteria Analysis (SMCA)، لدراسة مدي توافر مجموعة من المعايير في مكان محدد وتوفير عدة بدائل اعتماداً على مبدأ حساب المتوسط الموزون لمجموعة من المعايير للوصول إلى بناء نموذج الملاءمة؛ لتحديد المناطق المثالية لإقامة مشروعات توليد الطاقة الشمسية في ورزازات، وذلك من خلال تجهيز البيانات الخاصة بالمعايير المختلفة والمناسبة لطبيعة موضوع ومنطقة البحث(Allouhi. H.,& et. al.,2022, P129)، وتهدف طريقة نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير إلى دراسة إمكانية توافر عدد من المعايير الطبيعية والاقتصادية والبيئية في منطقة محددة مع وضع مجموعة بدائل أو حلول لمتخذي القرار في عدة مجالات منها الطاقة المتجددة(داود، وأخرون، 2017م).

وهناك عدة خطوات تتبع عند بناء وإعداد نموذج مكاني لنظام معلومات جغرافي لتقييم أو تخطيط محطات الكهرباء في ورزازات، وذلك من خلال تصميم قاعدة البيانات لإجراء التحليل المكاني والإحصائي وبناء معايير للمتغيرات المكانية مثل إعداد نماذج لعناصر المناخ المرتبطة بالصور الفضائية كتحديد أماكن الأشعة الشمسية والرطوبة والحرارة وكذلك تجميع وتحليل كميات كبيرة من البيانات الجغرافية البشرية ذات الأبعاد المكانية المختلفة، على سبيل المثال تحديد موقع الشبكة الكهربائية وشبكة الطرق.

---

[1] يمكن القول أن منهجية هذه النقطة من البحث تقوم على أداه التركيب الخطى الموزون Weighted Ovelay Tool التابعة لمجموعة أدوات Spatial Analysis Tools ، وهي عملية تتم بواسطة برنامج ArcGIS وتتمثل في دمج الطبقات بواسطة المعايير المتعدد Merge Multi- Criteria بطريقة رياضية وإخراجها في خريطة واحدة وفق خطوات تتمثل في تقسيم المشكلة إلى نماذج ثانوية (كمية الإشعاع – الانحدارات – الطرق– ....إلخ) (Allouhi. H.,& et. al.,2022, P136).

ويوضح شكل (18) النموذج المقترح لنظام معلومات جغرافي مستخدم لتحديد وتطوير مشروعات الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات بالمملكة المغربية.



المصدر: من إعداد الباحثان

شكل (18) مخطط النموذج المقترح لنظام المعلومات الجغرافي لمناطق الملاءمة المكانية لتحديد المواقع الأمثل لإقامة محطات الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات

ويتبين من الشكل (18) الخطوات التي تم إتباعها في بناء نموذج Model Builder وذلك على النحو الآتي: (Mensour. O. N.,& et. al.,2019, P902)، (Merrouni.A. A.,& et. al.,2017, P4230).

- مراجعة الإسقاط الخاص بمنطقة ورزازات على الخرائط map projection.
- تحديد المدخلات(المعايير المؤثرة في الوصول لحل للمشكلة)، وتحويل الطبقات الخطية vector data إلى طبقات شبكية raster data المطلوبة للتطبيق وإعادة تصنيفها. ومن أهم هذه المعايير: المسافة من شبكة نقل الكهرباء والمسافة من المدن ومن شبكة الطرق البرية والحديدية، والمرافق والخدمات.
- تنفيذ عمليات التصنيف Classification، والترميز Symbology، وبناء طبقات البيانات، ومعالجة الصور وتحديد الوظائف، وقياس المسافات measuring distances لكافة الظاهرات الموجودة في منطقة ورزازات.
- تحديد نطاقات buffers لمسافات التباعد بين موقع محطات الكهرباء المقترحة والطبقات الخطية vector data، والتحويل المساحي منها إلى طبقة راستر Pologon to Raster.
- إعادة تصنيف Reclassify الطبقات التي تم اختيارها لتلك الظاهرات، وتحويل الطبقات الخطية منها إلى طبقات شبكية raster data أو الظاهرات البشرية النقاطية، حيث يتم تحديد مسافات التباعد من خلال Euclidean Distance. وأهمها المعدل السنوي لكميات الطاقة الشمسية ودرجات انحدار السطح.
- إعداد طبقات البيانات المستخدمة في النموذج لتحديد أماكن إنشاء محطات الطاقة الشمسية، المتمثلة في البيانات المناخية والتضاريسية والبشرية سواء القرب والبعد عن شبكات الطرق البرية وشبكات الربط الكهربائي.
- بناء النماذج المختلفة للمعايير الطبيعية والمعايير البشرية، مثل نموذج لإجراء التحليل المكاني لبيانات أماكن الإشعاع الشمسي في منطقة ورزازات.

- **القيود**

عند بناء النموذج؛ تم استبعاد بعض المناطق التي لا تصلح لإقامة مشروعات الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات، ولما سبق فهناك قيوداً تتمثل في بعض عناصر استخدام الأرض مثل ضرورة البعد عن المحميات الطبيعية وعن المناطق السكنية والأماكن السياحية والثقافية، ومدى صلاحية الأرض للزراعة. بجانب البعد عن التجمعات الحضرية[*] ومواقع المطارات، وتم استبعاد هذه المناطق باستخدام أداة Erase في برنامج ArcGIS، بحيث يمكن أن تكون المنطقة المستبعدة معياراً أو قيداً في نفس الوقت؛ فعلى سبيل المثال يمثل الاقتراب من طريق رئيسي عاملاً اقتصادياً يقلل من تكاليف نقل الطاقة؛ ومع ذلك فإن الاقتراب من هذا الطريق قد يكون أمراً غير ممكن من الناحية النظرية بسبب الحوادث والضوضاء والتنافس مع استخدامات الأرض الأخرى (Effat, 2014, P364).

- **تحديد رتبة كل طبقة بيانات والوزن العشري:**

قام الباحثان بإعادة تصنيف البيانات Reclassify Dataset وذلك من خلال إعطاء رتب تقسيم الملاءمة لمعايير الملاءمة المكانية حسب نوع الظاهرة وتأثيرها؛ حيث تم إدخال طبقات البيانات بتسلسل من 4:1 تتدرج بين ملاءمة عالية ومتوسطة وضعيفة ومناطق غير ملائمة، بحيث تكون الأرقام الأقل للتسلسل هي الأعلى ملاءمة أما المناطق غير الملائمة فتأخذ القيمة (صفر)، ودمج البيانات المعاد تصنيفها باستخدام أداة التركيب الخطي الموزون Weighed Overlay Tool التابعة لمجموعة أدوات التحليل المكاني Tools spatial Analysis في بيئة برنامج ArcGis 10.8.5 وقد

[*] يجب أن يكون التجمع السكني بعيداً بشكل جيد عن الموقع المقترح للمحطات، لكي لا يتم العبث بها مثل محطات نور ورزازات الحالية فهي مواقع مناسبة من حيث البعد عن مراكز العمران(African Development Bank, 2023, P87).

أجري التحليل متعدد المعايير (SMCA)(*)(Allouhi. H.,& et. al., 2022, P121). في هذه الدراسة من أجل وزن مجموعات البيانات الممثلة للمعايير المختلفة للوصول إلى نتيجة مفادها؛ أي منها أكثر تأثيراً في نموذج الملاءمة المعد؟ ثم تم دمجها لإنتاج خريطة قياسية Standard Map تصنف المواقع من حيث درجة ملاءمتها لإقامة مشروعات توليد الطاقة الشمسية.

وتم إعطاء وزن للطبقات المعاد تصنيفها وفقاً لدراسات الخبراء والدراسات السابقة، وتحديد المشكلة (النطاقات المثلى لإقامة مشروعات الطاقة الشمسية في ورزازات) ثم التحليل النهائي وإنتاج الخريطة القياسية؛ ويتم فيها اتخاذ قرار آلي بالتوزيع الجغرافي للمناطق من حيث درجة ملاءمتها في إقامة مواقع مقترحة لمشروعات الطاقة الشمسية في ورزازات، والشكل التالي يظهر هذه الخطوات.

ويوضح الجدول التالي (7) المعايير التي تم الاعتماد عليها والرتبة والوزن العشري لكل طبقة من طبقات البيانات المحددة سابقاً، والمقسمة إلى تصنيف: تضاريسي ومناخي وآخر بيئي وتصنيف اقتصادي مع وضع مجموعة من القيود التي تحول دول اختيار موضوع المحطات بتلك المواضع، مع تفعيل بناء النموذج الوارد في الشكل (19)، وبناءً عليه فقد تم تحديد المواقع الامثل لإقامة محطات إنتاج الكهرباء الواردة في الشكل (20).

(*) يوجد ثلاثة طرق لتطبيق أسلوب التحليل المكاني المعايير المتعددة (SMCA) وهي: طريقة التراكب Overlay وطريقة التحليل التسلسلي الهرمي Analytic hierarchy process method (AHP)(Jbaihi. O.,& et. al., 2024, P187)

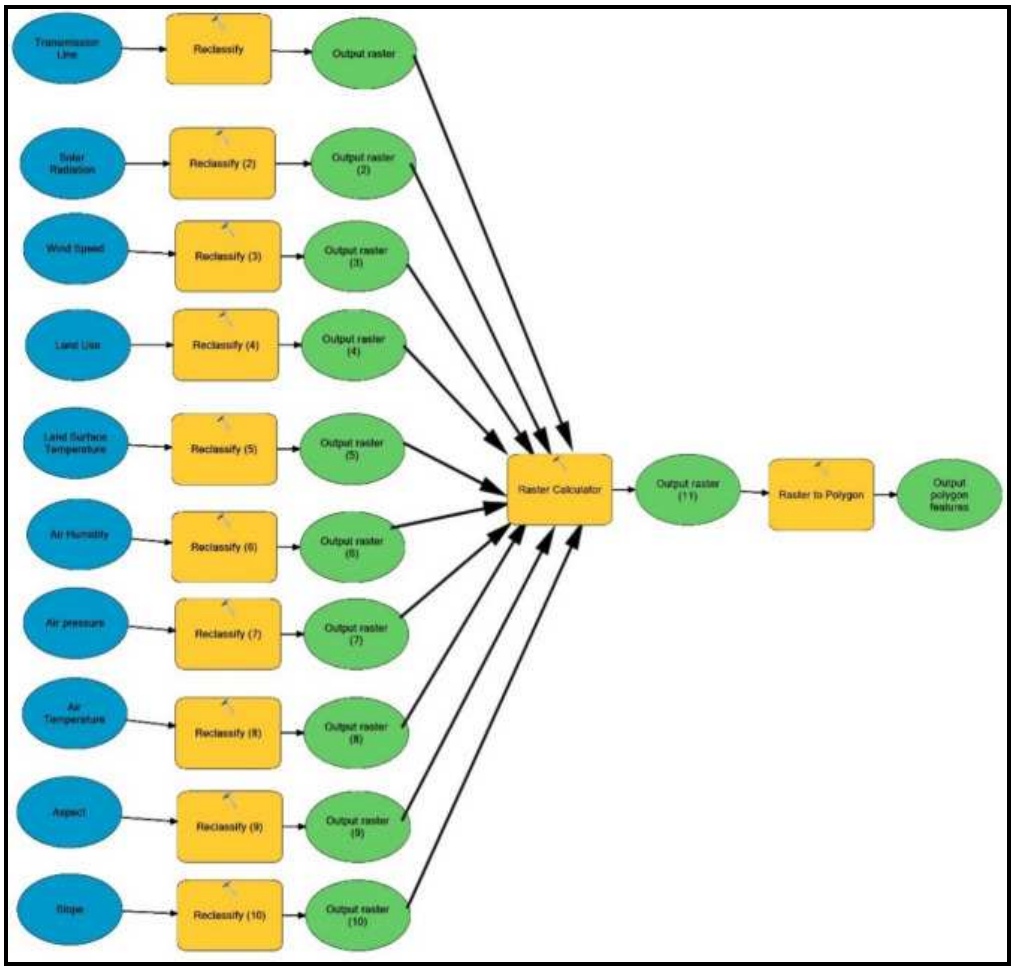
وطريقة التركيب الخطي الموزون Weighted Overlay(Castillo.L.,& et. al.,2016, p88) Tool وجدير بالإشارة أن طريقة التركيب الخطي الموزون هي أكثر الطرق المستخدمة في التحليل متعدد المعايير للوصول إلى الملاءمة المكانية؛ وتقوم طريقة التركيب الخطى الموزون بالأساس علي قياس البيانات المكانية المدخلة بمقياس افتراضي يتراوح بين 4:1، فيما يعرف بإعادة التصنيف" ثم توزن البيانات الشبكية Raster dataset حسب أهميتها ويتم دمجها معا بحيث تساوي جميع أوزان البيانات المدخلة ١٠٠% (Mensour. O. N.,& et. al., 2019, P906).

جدول (7) رتب معايير بناء نموذج للاختيار الأمثل لإقامة محطة كهرباء تعمل على الطاقة الشمسية في منطقة ورزازات والوزن العشري لطبقات البيانات

تصنيف المعيار	المعيار	التقييم				الوزن النسبي
		ملاءمة عالية	ملاءمة متوسطة	ملاءمة منخفضة	غير ملائم	
تضاريسي	نموذج الارتفاع الرقمي (بالمتر)	500 فأقل	1000>–500	1500>–1000	1500 فأكثر	5
	ميل سطح الأرض (درجة الانحدار)	من صفر– 20 درجة	من 20–< 40 درجة	من 40–< 60 درجة	أكثر من 60 درجة	5
مناخي	الإشعاع الشمسي (ساعة/ يوم)	12 ساعة / اليوم فأكثر	من 8–< 12 ساعة / اليوم	من 6–< 8 ساعة / اليوم	أقل من 6 ساعة / اليوم	10
	الطاقة الضوئية (نانوميتر)	600 فأكثر	600>–500	500>–400	أقل من 400	10
	متوسط الحرارة (درجة)	35 درجة فأكثر	من 20–< 35 درجة	من 10–< 20 درجة	أقل من 10 درجات	5
	نسبة الرطوبة(%)	أقل من 25%	من 25–< 30%	من 30–< 40%	أكثر من 40%	10
	كثافة السحب(%)	أقل من 30	35>–30	40>–35	40 فأكثر	10
	سرعة الرياح م/ث على ارتفاع 10م	أقل من 3.8	4.4>–3.8	5.0>–4.4	5.0 فأكثر	5
بيئي	البعد عن شبكة الأنهار الرئيسية والفرعية(متر)	2000	1500	1000	500	3
	البعد عن شبكة الأودية الجافة والمياه الجوفية (متر)	500	375	250	125	2
	البعد النسبي عن مراكز العمران(متر)	2000	1500	1000	500	3

	القرب من شبكة الطرق (متر)	25	50	75	100	5
	البعد عن الموارد الطبيعية والعوائق(متر)	2000	1500	1000	500	3
اقتصادي	القرب من شبكة الكهرباء (متر)	10	20	30	40	10
	البعد عن المرافق والخدمات(متر)	2000	1500	1000	500	2
	البعد عن المناطق الزراعية(متر)	800	600	400	200	2
قيود	القرب من مصادر المياه(متر)	2000	1500	1000	500	2
	البعد عن مناطق المحميات الطبيعية(متر)	2000	1500	1000	500	2
	البعد عن المدن السكنية(متر)	2000	1500	1000	500	3
	البعد عن الأماكن السياحية والثقافية(متر)	2000	1500	1000	500	3

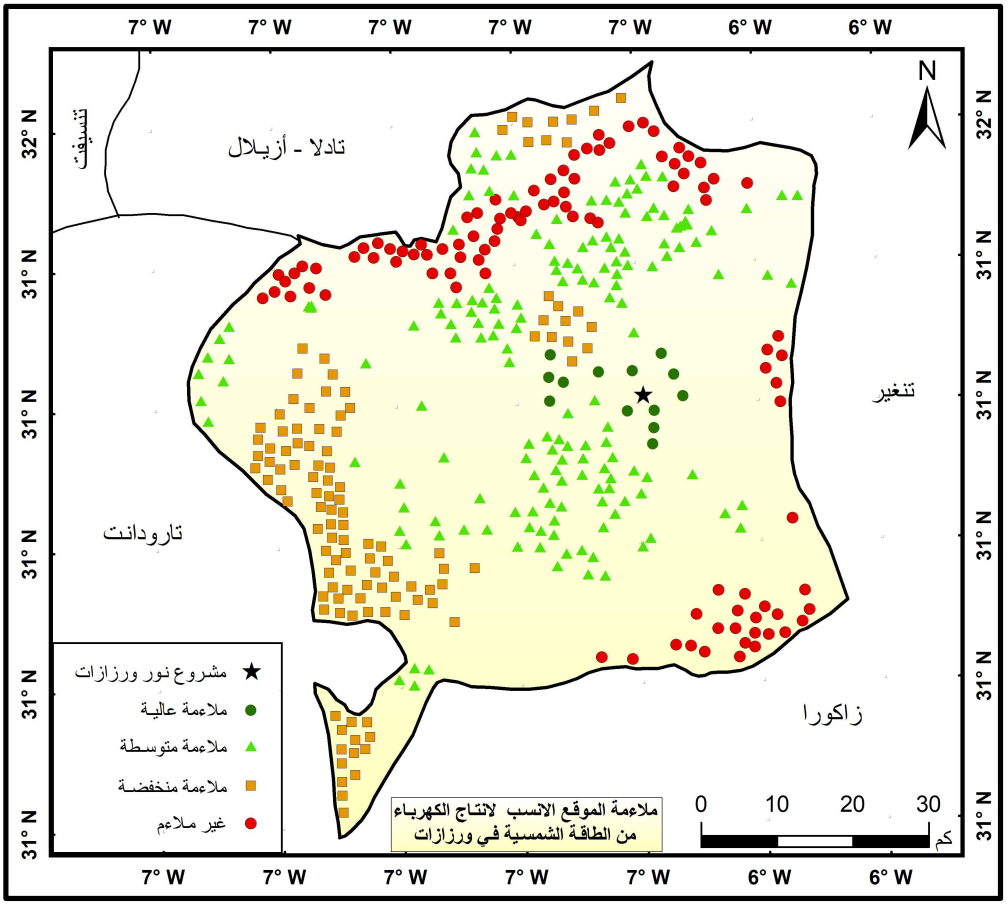
المصدر: من اعداد الباحثان اعتمادا على: (1) بيانات خرائط معايير الملاءمة المكانية (2) Hajou. A.,& et. al., 2024, P79 (3) Ben Fares. M.,& et. al., 2018, P150 (4) .Yakoubi. H.,& et. al., 2021, P156 (5) Merrouni. A. A.,& et. al., 2017, P4229(6) Ougazzou. M.,& et. al., 2024, P86



المصدر :من عمل الباحثان اعتماداً على الاوزان النسبية بالجدول(7).

شكل(19) بناء نموذج للمعايير المقترحة لتحديد الملاءمة المكانية لأنسب المواقع لمحطات الطاقة الشمسية بمنطقة ورزازات

وقد تبين من الدراسة أن المناطق الواقعة في أقصى الشمال والجنوب الشرقي بمنطقة ورزازات هي الأقل ملاءمة لإقامة المحطات، بينما تمتلك المناطق الشرقية ملاءمة منخفضة، أما الملاءمة المتوسطة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية فتتوزع في العديد من مواضع منطقة الدراسة مع ميل للتركز في الوسط، أما مواضع الملاءمة العالية فتتركز في الوسط في محيط مشروع نور ورزازات القائم بالفعل؛ لأن هذه المنطقة هي أكثر المناطق ملاءمة للاستفادة من الطاقة الشمسية.



المصدر: من اعداد الباحثان اعتمادا على الجدول (7) والشكل (19)

شكل (20) تحديد الملاءمة المكانية لأنسب المواقع لمحطات الطاقة الشمسية بمنطقة ورزازات

- **خاتمة:**

أ- **النتـائـج** ـ أهمها:

- تفتقر المملكة المغربية إلى مصادر الطاقة الأحفورية ولديها إمكانيات لإنتاج الكهرباء من المصادر المتجددة، لا سيما الطاقة الرياحية والطاقة الشمسية والمائية؛ مما يحد من انبعاث غاز ثاني أكسيد الكربون.
- ملاءمة منطقة ورزازات لمشروعات إنتاج الكهرباء من المحطات الفوتوفولطية بتطبيق لدراسة معايير الملاءمة المكانية.

- إنشاء محطات طاقة شمسية مركزة[*] تحتاج إلى كميات كبيرة من المياه لاستهلاكها في غسيل الألواح الشمسية وعمليات التبريد واحتياجات العاملين بالمشروع.
- يشكل ارتفاع درجات الحرارة بمنطقة ورزازات معوقاً حرارياً طوال العام ويحد من كفاءة المحطات الفوتوفولطية في إنتاج الكهرباء.
- أظهرت الدراسة مدي أهمية الموقع الجغرافي للمملكة المغربية بصفة عامة ومنطقة ورزازات بصفة خاصة، وكذلك مظاهر السطح والموارد الطبيعية من الطاقة الشمسية التي تساعد على إنتاج الكهرباء.
- تمتلك منطقة ورزازات العديد من المواضع المناسبة لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية والطاقة الفوتوفولتية (الكهروضوئية).

تبين من إنشاء خريطة الملاءمة باستخدام برنامج Arc GIS. أن 19% من الجزء الشرقي من مساحة منطقة ورزازات كأنسب المواضع وبصورة عالية لإنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية والطاقة الفوتوفولتية، بينما مثلت 43% من مساحة المنطقة بصورة متوسطة، ومثل نحو 23% بشكل ضعيف، أما المناطق غير المناسبة فمثلت 15% لا سيما في الجزء الشمالي والشمالي الغربي من منطقة الدراسة.

ب-التوصيات:

- توصي الدراسة باستخدام وسائل التبريد الهوائي لخفض درجة حرارة الخلايا الشمسية، للتمكن من رفع كفاءة إنتاج الكهرباء ارتفاع جهد التيار الكهربائي المولد بمشروع نور ورزازات.

---

[*] يقصد بمحطات الطاقة الشمسية المركزة Concentrated Solar Power (CSP) تلك المحطات الشمسية الحرارية لإنتاج الكهرباء من خلال استبدال الوقود الاحفوري بالطاقة الحرارية الناتجة عن تركيز الإشعاع الشمسي في إنتاج البخار اللازم لإنتاج الكهرباء، وتتراوح درجة حرارة البخار الناتج عن المحطات الحرارية بين 400 – 1500 درجة مئوية(Aarich.N, et al,2024, P.49).

- التوسع في استخدام المحطات الفوتوفولطية بمنطقة ورزازات، لعدم توفر المياه الملاءمة مع المحطات الشمسية.
- نتيجة لارتفاع درجات الحرارة توصي الدراسة استخدام زجاج السيكوريت ذات الأسطح الخشنة للحد من فقد الكهرباء المولدة.
- التوسع في استخدام النمذجة الموجهة للأهداف Object Oriented Modeling لتحليل البيانات المكانية المتعددة الأبعاد وتخزينها في نظم قواعد البيانات متعددة الأبعاد.
- استخدام أدوات الوسائط المتعددة المكانية Spatial Multimedia، والتعامل مع أدوات الاستشعار عن بعد Remote Sensing لتصوير المناطق الجغرافية البعيدة وتخزينها في قواعد البيانات المرتبطة بالنظام.
- استخدام أدوات وبرامج المحاكاة Simulation لعمل السيناريوهات للملاءمة الأنسب، وتجميع البيانات المكانية من خلال الاعتماد على النظام العالمي لتحديد المواقع Global Position System(GPS) لجمع وتحليل البيانات الجغرافية في المناطق البعيدة وتسجيل البيانات المناخية في المناطق المتوقعة الطاقة الشمسية.

- **مراجع الدراسة:**

أولاً: المراجع باللغة العربية:

1- أطالس أفريقيا، أطلس المغرب، 2013م، جامعة محمد الخامس، أكدال، الرباط.

2- الأمم المتحدة، 2018م، التوصيات الدولية لإحصاءات الطاقة، الورقات الإحصائية، السلسلة ميم، العدد 9، إدارة الشؤون الاقتصادية والاجتماعية، شعبة الإحصاء، نيويورك.

3- البنك الدولي، 2018م، المغرب ـ التمويل الإضافي لمشروعات نور للطاقة الشمسية، البنك الدولي للإنشاء والتعمير، الوكالة المغربية للطاقة المستدامة، قطاع الممارسات العالمية للطاقة والصناعات الاستخراجية، منطقة الشرق الأوسط وشمال أفريقيا.

4- داود، جمعة محمد، ومندور، مسعد سلامة، والغامدي، خالد عبد الرحمن، 2017م، تحديد أفضل المواقع لتجميع الطاقة الشمسية في منطقة مكة المكرمة الإدارية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية متعددة المعايير، الملتقي الوطني الحادي عشر لتطبيقات نظم المعلومات الجغرافية في المملكة العربية السعودية، جامعة الإمام عبد الرحمن بن فيصل خلال الفترة ١٣-١١أبريل ٢٠١٧م.

5- ضايض حسن، وساليمي، نور الدين، 2009م، نمو المراكز القروية الناشئة ورهان التنمية الترابية بالمجال الواحي–حالتا مركزي سكورة وتارميكت باقليم ورزازات، مجلة المباحية، وزارة إعداد التراب الوطني والماء والبيئة.

6- عبد الموجود، ياسر محمد، 2017م، إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات – دراسة في جغرافية الطاقة، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب بالوادي الجديد، جامعة أسيوط.

7- المندوبية السامية للتخطيط، 2015م، 2020م، 2021م، 2023م، المغرب في أرقام، الطبعات: 53، و58، و59، و61، الرباط، المغرب.

ثانياً: المراجع باللغة غير العربية:

8- Aarich.N, Bennouna.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, Elsevier Ltd, Science Direct, www.journals.elsevier.com/energy-for-sustainable-development.

9- Ademola A. A, 2020, Assessment of solar energy technologies in Africa-opportunities and challenges in meeting the 2030 agenda and sustainable development goals, Energy Policy, No.137, PP. 812-828 Elsevier Ltd, http://www.elsevier.com/locate/enpol.

10- African Development Bank, 2014,Ouarzazate Solar Complex Project - Phase II(NOORo II and NOORo III Power Plants)-Morocco, Project Appraisal Report, Translated Document.

11- African Development Bank, 2023, Ouarzazate Solar Power Station Project II, Environmental and Social Impact Assessment (ESIA).

12- Al-Hasan. A.Y, Ghoneim. A.A., 2005, A new correlation between photovoltaic panel's efficiency and amount of sand dust accumulated on their surface, Int. J. Sustain Energy, Vol. 24, PP. 187-197.

13- Allouhi. H, Allouhi. A, Jamil. A.,2022, Multi-objective optimization of a CSP-based dish Stirling field layout using Genetic Algorithm and TOPSIS method: Case studies in Ouarzazate and Madrid, Energy Conversion and Management, Vol.254, ScienceDirect, Elsevier Ltd, www.elsevier.com/locate/enconman.

14- Anas. H, Youness. E, Halima. Y, Nawal. A, Mohamed. C., 2021, Novel climate classifcation based on the information of solar radiation intensity: An application to the climatic zoning of Morocco, Energy Conversion and Management, Vol. 247, Science Direct, El sevier, www.elsevier.com/locate/enconman.

15- Aqachmar. Z, Allouhi. A, Jamil. A, Gagouch. B, Kousksou. T, 2019, Parabolic trough solar thermal power plant Noor I in Morocco, Energy, Vol. 178, PP. 572-584, Elsevier Ltd,ScienceDirect, www.elsevier.com/locate/energy.

16- Ben Fares. M. Soufiane., Abderafi. S, 2018, Water consumption analysis of Moroccan concentrating solar power station, Solar Energy, Vol. 172, PP: 146–151, Elsevier Ltd journal, www.elsevier.com/locate/solener.

17- Bentamy. A, Allouhi. H, Allouhi. A, Zafar. S, Jamil. A., 2022, Solar Dish Stirling technology for sustainable power generation in SouthernMorocco: 4-E analysis, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 52, ScienceDirect, Elsevier Ltd,www.elsevier.com/locate/seta.

18−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, ScienceDirect, No. 192, www.elsevier.com/locate/jclepro.

19−Bounoua. Z, Chahidi. L. O, Mechaqrane. A., 2021, Estimation of daily global solar radiation using empirical and machine-learning methods: A case study of five Moroccan locations, Sustainable Materials and Technologies, Vol. 28, Science Direct, El sevier, www.elsevier.com/locate/susmat.

20−Chaibi. M, Benghoulam. E, Berrada. M, El Hmaidi. A., 2021, Solar Resource Assessment in Morocco with three Machines Learning Models and Ordinary Kriging, International Journal of Applied Science and Research, IJASR, https://www.researchgate.net/publication/352380544

21−Dahlioui. D, Wette. J, García. A. ´ F, Bouzekri. H, Azpitarte. I., 2022, Performance assessment of the anti-soiling coating on solar mirrors soiling in the arid climate of Ouarzazate-Morocco, Solar Energy, Vol. 241, PP. 13-23, Science Direct, El sevier, www.elsevier.com/locate/solener.

22−Dawod. G. M. & Mosaad S. Mandoer, 2016, Optimum Sites for Solar Energy Harvesting in Egypt Based on Multi-Criteria GIS. The First FutureUniversity International Conference on New Energy and Environmental Engineering, Cairo, Egypt. April.

23−Effat. H. A., 2016, Mapping Solar Energy Potential Zones, using SRTM and Spatial Analysis, Application in Lake Nasser Region, Egypt. International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning, Vol. 3.

24−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, Science Direct, El sevier, No. 24, www.sciencedirect.com/journal/results-in-engineering.

25−El Mghouchi. Y, 2022, On the prediction of daily global solar radiation using temperature as input. An application of hybrid machine learners to the six climatic Moroccan zones, Energy

Conversion and Management, Vol. 13, ScienceDirect, Elsevier Ltd,www.elsevier.com/locate/rser.

26- Google Earth Engine.

27- Hajou. A, El Mghouchi. Y, Chaoui. M., 2024, Novel approaches for wind speed evaluating and solar-wind complementarity assessing, Renewable Energy Focus, No. 48, Science Direct, www.elsevier.com/locate/ref.

28- Jbaihi. O. Ouchani. F. z, Merrouni. A. 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, No. 369, ScienceDirect, www.elsevier.com/locate/jclepro.

29- Julia. C, Terrapon.P, Peter. V, Sibel. R, Schomberg. A., 2021, Concentrated Solar Power Plant – Noor-I, Draa-Valley, Morocco, pp. 82-97, Martina Flörke, Janina Onigkeit, Henning, Final Report of the joint project WANDEL, Wuppertal Institute, Ruhr-Universität, Bochum

30- Leonard. A, Ahsan. A, Charbonnier. F, Hirmer. S., 2024, Renewable energy in Morocco: Assessing resource curse risks, Renewable and Sustainable Energy Reviews, No. 192, Science Direct, www.elsevier.com/locate/rser.

31- 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, PP. 900-919, ScienceDirect, Elsevier Ltd,www.elsevier.com/locate/energy.

32- Merrouni. A. A, Amrani. A., Ouali. H. A. L, Moussaoui. M.A, Mezrhab. A., 2017, Numerical simulation of Linear Fresnel solar power plants performance under Moroccan climate, Mater Environ Sci., No. 12, PP. 4226-4233.

33- Merrouni. A. A, Elalaoui. F. E, Ghennioui. A, Mezrhab. A, Mezrhab. A, 2018, A GIS-AHP combination for the sites assessment of large-scale CSP plants with dry and wet cooling systems. Case study: Eastern Morocco, Solar Energy, Vol. 166, PP. 2-12, Elsevier Ltd,ScienceDirect, www.elsevier.com/locate/solener.

34−Merrouni. A. A, Elalaoui. F. E, Mezrhab. A, Mezrhab. A, Ghennioui. A., 2018, Large scale PV sites selection by combining GIS and Analytical Hierarchy Process. Case study: Eastern Morocco, Renewable Energy, Vol., 119, ScienceDirect, www.elsevier.com/locate/renene, PP. 863-873.

35−Ouchani. F.z, Jbaihi. O, Merrouni. A. A, Maarouf. M, Ghennioui. A., 2021, Yield analysis and economic assessment for GIS-mapping of large scale solar PV potential and integration in Morocco, Sustainable Energy Technologies and Assessments, Vol. 47, ScienceDirect, Elsevier Ltd, www.elsevier.com/locate/seta.

36−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, No. 304, Science Direct, Elsevier Ltd, www.elsevier.com/locate/enconman.

37−Pfaff.J. T, Fink.T, Viebahn. P, Jamea. E., 2019, Social impacts of large-scale solar thermal power plants: Assessment results for the NOORO I power plant in Morocco, Renewable and Sustainable Energy Reviews,Vol.113,Elsevier Ltd,ScienceDirect, ww.elsevier.com/locate/rser.

38−Rignall. K. E., 2018, Solar power, state power, and the politics of energy transition in pre-Saharan Morocco, Environment and Planning A, SAGE, PP. 110-128, https://www.researchgate.net/publication/286396667.

39−Ryser. S, 2019, The Anti-Politics Machine of Green Energy Development: The Moroccan Solar Project in Ouarzazate and Its Impact on Gendered Local Communities, MDPI, www.mdpi.com/journal/land,

40−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, International Journal for Light and Electron Optics, Vol. 242,PP. 145-167,ScienceDirect, Elsevier Ltd,www.elsevier.com/locate/ijleo.

41−http://datapages.com/gis-map-publishing-program/gis-open-files/global-framework/global-heat-flow-database/shapefiles-list.

42−http://satel-light.com.

43−http://solargis.info.

44−http://www.masen.ma/en/projet/2/noor-ouarzazate-iv34/.

45−http://www.solar-med-atlas.org.

46−http://www.thewindpower.net/statistics_en.php.

47−https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/.