العراقية
المجلات الاكاديمية العلمية
IRAQI Academic Scientific Journals
Al-Itqan Journal of Humanities
available online at
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/575
ISSN: 3105-1073 (OnLine)
المجلة معتمدة بالترقيات العلمية حسب كتاب وزارة التعليم العراقية (46404-1410) في 2026/4/27

التخطيط المستدام لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة

م.د. خالد إبراهيم حسين

ا. م . د . صلاح عدنان مجول شلال الدليمي

جامعة الانبار / كلية الآداب / قسم الجغرافية

Sustainable planning for solar energy farms in the countryside of Fallujah district

Dr. Khalid Ibrahim Hussein
Dr. Salah Adnan Majul Shalal Al-Dulaimi

University of Anbar / College of Arts /Department of Geography
Kahusseen@uoanbar.edu.iq
salah.aaa@uoanbar.edu.iq

المستخلص :

يهدف هذا البحث إلى دراسة إمكانية التخطيط المستدام لإنشاء مزارع للطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة، باعتبارها من المناطق التي تتمتع بمعدلات إشعاع شمسي مرتفعة ووفرة في الأراضي غير المستغلة تم اعتماد منهج تحليلي يجمع بين البيانات المناخية (الإشعاع الشمسي، درجات الحرارة، ساعات السطوع الشمسي) والعوامل الجغرافية (طبيعة التضاريس، استخدامات الأراضي، القرب من البنية التحتية) كما تم استخدام معايير بيئية واجتماعية لضمان توافق مواقع المزارع المقترحة مع مبادئ الاستدامة، بما في ذلك تقليل التأثير على الأراضي الزراعية الخصبة والمحميات الطبيعية، إضافة إلى تعزيز الجدوى الاقتصادية وتوفير فرص عمل محلية.تشير النتائج إلى أن ريف قضاء الفلوجة يمتلك مساحات واسعة مؤهلة لاستيعاب مشاريع الطاقة الشمسية، خصوصًا في المناطق ذات الانحدارات البسيطة والبعيدة عن مصادر التلوث والأنشطة الزراعية المكثفة. كما يساهم اعتماد الطاقة الشمسية في تعزيز أمن الطاقة وتقليل الاعتماد على مصادر الوقود الأحفوري، مما ينعكس إيجابًا على البيئة المحلية والاقتصاد الوطني. **الكلمات المفتاحية:** الطاقة البديلة ، الطاقة , مزارع الطاقة ، التنمية المستدامة .

Abstract:

This research aims to examine the feasibility of sustainable planning for solar energy farms in the Fallujah countryside, an area with high solar radiation rates and abundant undeveloped land. An analytical approach was adopted that combines climate data (solar radiation, temperature, sunshine hours) with geographical factors (topography, land use, proximity to infrastructure). Environmental and social criteria were also used to ensure that the proposed farm sites comply with sustainability principles, including minimizing the impact on fertile agricultural lands and nature reserves, while enhancing economic feasibility and providing local job opportunities The results indicate that the Fallujah countryside possesses vast areas suitable for accommodating solar energy projects, particularly in areas with gentle slopes and far from sources of pollution and intensive agricultural activities. The adoption of solar energy also contributes to enhancing energy security and reducing dependence on fossil fuels, which has positive impacts on the local environment and the national economy.**Keywords:** solar energy, sustainable planning, spatial analysis, Fallujah, sustainable development.

المقدمة

تُعَدُّ الطاقة الشمسية من أبرز مصادر الطاقة المتجددة التي تحظى باهتمام عالمي متزايد في ظل الأزمات المناخية وتنامي الطلب على الطاقة ,' وتمتاز مناطق واسعة من العراق، ولا سيما ريف قضاء الفلوجة، بارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي وطول ساعات السطوع السنوي، فضلاً عن توفر مساحات واسعة غير مستغلة يمكن توظيفها في إنشاء مزارع للطاقة الشمسية , غير أنّ غياب التخطيط العلمي المستند إلى معايير الاستدامة قد يؤدي إلى اختلالات بيئية واجتماعية واقتصادية تحد من كفاءة هذه المشاريع , ومن هنا تبرز أهمية هذا البحث الذي يسعى إلى دراسة إمكانات التخطيط المستدام لمزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة وتحديد المواقع المثلى لإنشائها بالاعتماد على منهجيات التحليل المكاني والمعايير البيئية والاقتصادية والاجتماعية.

مشكلة البحث :

على الرغم من الإمكانات الطبيعية والمناخية الكبيرة التي يتمتع بها ريف قضاء الفلوجة لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية، إلا أن غياب إطار منهجي شامل لتحديد المواقع المثلى وفق معايير الاستدامة يضعف من فرص الاستثمار الفعّال لهذه الموارد. ومن ثم تتمثل مشكلة البحث في: "كيف يمكن توظيف مبادئ التخطيط المستدام والتحليل المكاني لتحديد المواقع المثلى لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة بما يحقق التوازن بين الأبعاد البيئية والاقتصادية والاجتماعية؟"

فرضية البحث

ينطلق البحث من الفرضية الآتية:

"إن تطبيق معايير الاستدامة البيئية والاجتماعية والاقتصادية، بالاستعانة بأدوات التحليل المكاني، يمكّن من تحديد مواقع مثلى لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة، بما يعزز أمن الطاقة ويسهم في تحقيق التنمية المستدامة."

أهداف البحث : يمكن صياغة اهداف البحث بالنقاط التالية :

١. تحليل الخصائص المناخية والطبيعية لريف قضاء الفلوجة وتحديد مدى ملاءمتها لمشاريع الطاقة الشمسية.

٢. دراسة العوامل المكانية والبنيوية المؤثرة في اختيار مواقع المزارع الشمسية.

٣. بناء نموذج علمي يستند إلى معايير الاستدامة لتحديد المواقع المثلى للمشاريع المقترحة.

٤. تقييم الآثار البيئية والاجتماعية والاقتصادية المتوقعة لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية.

٥. وضع إطار تخطيطي مستدام يمكن اعتماده في مشاريع الطاقة المتجددة المستقبلية على المستوى المحلي والوطني.

أهمية البحث

تكمن أهمية هذا البحث في:

- توفير قاعدة علمية رصينة تسهم في توجيه قرارات التخطيط المكاني لمشاريع الطاقة الشمسية.
- دعم التوجه الوطني نحو تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.
- تعزيز البعد البيئي من خلال الحد من الانبعاثات الغازية وتحسين نوعية البيئة المحلية.
- الإسهام في تنمية الريف عبر خلق فرص عمل جديدة وتحفيز الاستثمارات في قطاع الطاقة المتجددة.
- تقديم نموذج تطبيقي يمكن الاستفادة منه في مناطق أخرى من العراق ذات الظروف المناخية المماثلة.

منهجية البحث :

يعتمد البحث على منهج وصفي–تحليلي مدعوم بأدوات التحليل المكاني وتقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS). وتتضمن المنهجية الخطوات الآتية:

١. جمع البيانات المناخية (الإشعاع الشمسي، درجة الحرارة، ساعات السطوع) والبيانات الجغرافية (التضاريس، استخدامات الأراضي، القرب من البنية التحتية).

٢. تحليل البيانات باستخدام البرمجيات المكانية لتحديد مناطق الصلاحية الأولية.

٣. دمج معايير الاستدامة البيئية والاجتماعية والاقتصادية ضمن عملية التقييم المكاني.

٤. تحديد المواقع المثلى المقترحة لمزارع الطاقة الشمسية وفق نتائج التحليل.

٥. صياغة إطار تخطيطي يمكن أن يُعتمد كأساس لتوسيع مشاريع الطاقة المتجددة في محافظة الأنبار والعراق عمومًا.

حدود البحث :

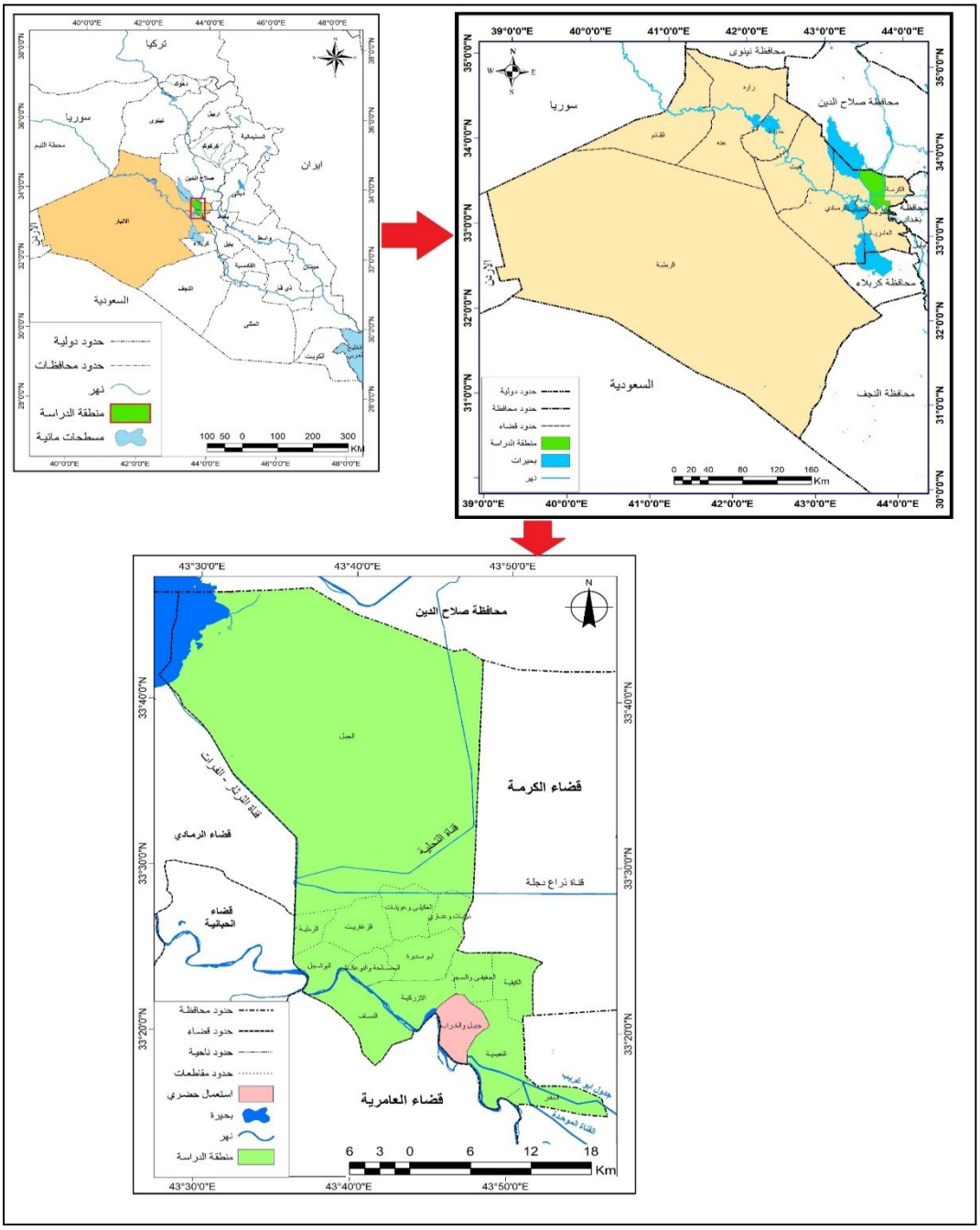
١- الحدود المكانية:

تتمثل الحدود الفلكية بين خطي طول (43° 55′ – 43° 2′9) شرقا ودائرتي عرض (33° 4′5 – 33° 1′0) شمالا أما الموقع الجغرافي تتبوأ منطقة الدراسة موقعا مركزيا بالنسبة للعراق ومحافظة الانبار فتمثل الحدود المكانية بخمس عشر مقاطعه وهي تقع ضمن الحدود الإدارية لمركز قضاء الفلوجة، يحدها من الشمال محافظة صلاح الدين ومن الشرق والشمال الشرقي قضاء الكرمة ومن الجنوب الشرقي محافظة بغداد ومن الجنوب والجنوب الغربي قضاء العامرية، خريطة (١).

٢- الحدود الزمانية:

تمثلت الحدود الزمانية بدراسة واقع الحال الذي تمثل بعام ٢٠٢٥ – ٢٠٢٦ م .

خريطة (١) الحدود الادارية لمنطقة الدراسة.



المصدر: (١) وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، فهرس مقاطعات محافظة الانبار،

مقياس ١:١٠٠٠٠٠٠.(٢) وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة محافظة الانبار الادارية، مقياس ١:٥٠٠٠٠٠، لعام ٢٠١٥.

١ – ١ – الإشعاع الشمسي:

يقصد بالإشعاع الشمسي تلك الطاقة الإشعاعية المنبعثة من الشمس في جميع الاتجاهات، والتي تتنوع إلى نوعين رئيسيين: إشعاع ذو موجات فوق بنفسجية، وإشعاع ذو موجات تحت حمراء. وتتباين شدة هذا الإشعاع تبعًا لعدة عوامل، أبرزها زاوية ارتفاع الشمس خلال ساعات النهار، إذ تزداد شدة الإشعاع كلما كانت الأشعة عمودية على سطح الأرض [٣]. وتُعد الشمس المصدر الرئيس للضوء على كوكب الأرض، حيث تشكل الأشعة المرئية ما نسبته نحو (٧٠٪) من إجمالي الإشعاع الشمسي، ويتراوح الطول الموجي لهذه الأشعة بين (٠.٣ – ٠.٧) ميكرون، وهو ما يمثل المدى المتوسط للأطوال الموجية. كما تختلف كمية الضوء المستلمة باختلاف المكان والزمان؛ من منطقة إلى أخرى، ومن شهر إلى آخر، ومن فصل إلى آخر. وتعتمد استفادة الألواح الشمسية من هذه الأشعة على مدة سطوع الشمس، والتي غالبًا ما تعادل طول النهار مطروحًا منه فترات الغيوم [٤].

أما في منطقة الدراسة، فإن معدلات الإشعاع الشمسي تتباين من شهر إلى آخر. ويوضح جدول (١) وشكل (١) أن المنطقة تستقبل مقادير مرتفعة من الإشعاع خلال فصل الصيف (حزيران، تموز، آب). ففي محطة بغداد بلغ المعدل الشهري على التوالي (٦٥٥.٤، ٧١٨.٧، ٧٢٩.٧ سعرة/يوم)، بينما سجلت محطة الرمادي أعلى المعدلات الشهرية في الأشهر ذاتها بمقدار (٦٢٢.١، ٦٢١.٨، ٥٨٢.٢ سعرة/يوم). وعلى العكس من ذلك، سُجلت أدنى معدلات الإشعاع خلال فصل الشتاء (تشرين الثاني، كانون الأول، كانون الثاني)، إذ بلغت في محطة بغداد (٣٣٣.٣، ٢٦٩.٥، ٢٦٩.٦٦ سعرة/يوم) وفي محطة الرمادي (٢٢٢.٩، ٢٠١.٢، ٢٥١.٥ سعرة/يوم).

وبذلك يتضح أن منطقة الدراسة تتمتع بمعدلات مرتفعة من السطوع الشمسي لاسيما في فصل الصيف، الأمر الذي يعزز إمكانية الاستفادة من الطاقة الشمسية دون أن يشكل عنصر الضوء عائقًا في عمليات إنتاجها.**جدول (١) معدلات مجموع الاشعاع الشمسي (سعره، سم٢، يوم) لمحطتي (بغداد والرمادي) للمدة (2025.1990)**

الاشهر	ك الثاني	شباط	اذار	نيسان	ايار	حزيران	تموز	اب	ايلول	تشرين الاول	تشرين الثاني	ك الاول	المجموع	المعدل
محطة بغداد	296.6	382.6	483.2	575.1	651.0	729.7	718.7	655.4	553.3	431.2	333.3	269.5	6079.5	506.7
محطة الرمادي	222.9	312.9	312.9	423.1	585.6	622.1	621.8	582.2	509.3	366.8	251.5	201.2	5099.8	424.9

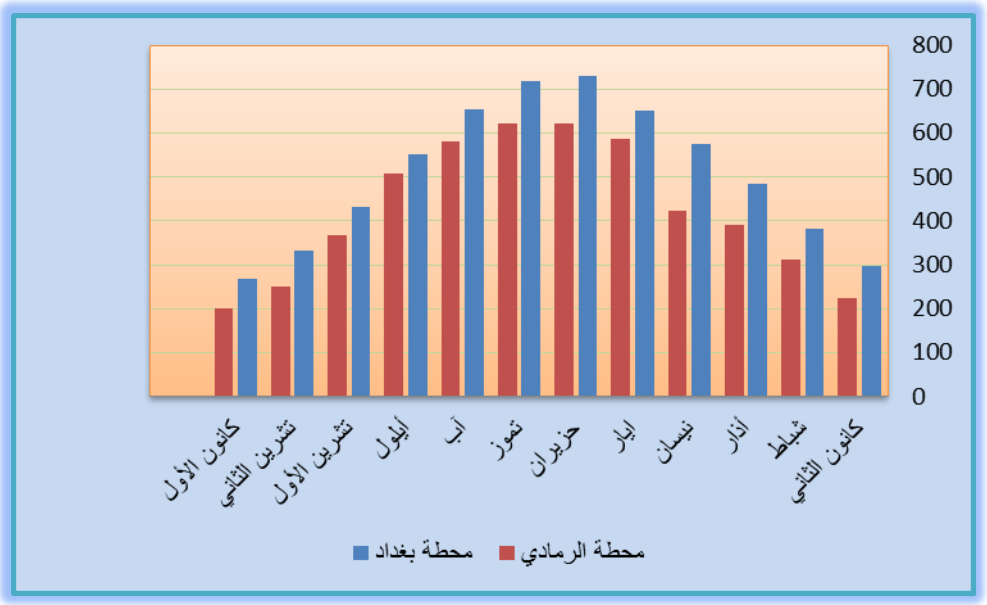
المصدر: وزارة النقل، الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم المناخ، بغداد ٢٠٢٥ بيانات (غير منشورة).

شكل (١) معدلات مجموع الاشعاع الشمسي (سعره، سم٢، يوم)لمنطقة الدراسة لمحطتي (بغداد والرمادي) للمدة (1990–2025)

المصدر:

بالاعتماد على جدول (١)

١



٢ – توزيع السكان:

يقصد بالتوزيع العددي للسكان عدد الأفراد المتواجدين في وحدة مكانية محددة أو إقليم معين خلال فترة زمنية معينة، إضافةً إلى نمط انتشارهم في تلك المنطقة[٥]. وتكمن أهمية دراسة التوزيع العددي للسكان في تحليل طبيعة العلاقة التفاعلية بين الإنسان والبيئة[٦]، إذ إن هذا التوزيع لا يتم بشكل منتظم، بل يتأثر بجملة من العوامل الطبيعية والبشرية. فالإنسان يسعى من خلال أنشطته التنموية إلى استغلال البيئة وتسخيرها بما يحقق له الاستقرار والمعيشة، في ظل صراع دائم مع تحديات الطبيعة وإمكاناته في السيطرة على مكوناتها.

وفي منطقة الدراسة يتضح وجود تفاوت مكاني في توزيع السكان بين المقاطعات المختلفة، وهو تفاوت يرتبط بعدة عوامل، منها اختلاف المساحات الجغرافية وتباين الخصائص الطبيعية ومدى ملاءمتها للاستقرار البشري. وتظهر بيانات الجدول (٢) أن مقاطعة النساف (٥) احتلت المرتبة الأولى من حيث عدد السكان سنة (٢٠٢٥)، إذ بلغ عددهم (٦٢٤٤١) نسمة من مجموع السكان الكلي، ويُعزى ذلك إلى مساحتها الواسعة وتوافر الظروف الملائمة للنشاط الزراعي. أما المرتبة الثانية فكانت من نصيب مقاطعة البوشجل (١٧) بعدد سكان بلغ (٢٣٠٢٢) نسمة، ويُعزى ارتفاع عدد سكانها إلى قربها من مصادر المياه، إضافة إلى خصوبة تربتها السهلية، الأمر الذي أسهم في ممارسة الزراعة وتوفير مقومات الاستقرار البشري، فضلاً عن قوة الروابط العشائرية التي عززت الاستقرار في المنطقة. في المقابل، سجلت مقاطعة الرميلة (١) أدنى عدد من السكان، حيث بلغ (١٨٠٩) نسمة عام (٢٠٢٥)، ويُعزى ذلك إلى محدودية مساحتها وظروفها الطبيعية غير الملائمة للسكن. كما جاءت مقاطعة الجبل (٣٦) في مرتبة متدنية من حيث عدد السكان (٤٨٥١ نسمة)، وذلك بسبب طبيعتها الصحراوية ووجود بعض المعامل التي جعلت بيئتها أقل جذبًا للاستقرار البشري. إن هذا التباين في توزيع السكان داخل منطقة الدراسة كان له انعكاس مباشر على الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية، ولا سيما في مجال التنمية الزراعية، حيث أدى ارتفاع العدد الكلي للسكان الذي بلغ (١٧٢٩٧٥) نسمة عام (٢٠٢٥) إلى تنشيط الأنشطة الزراعية المتنوعة وتعزيز واقع التنمية الزراعية في المنطقة.

جدول (٢) التوزيع العددي والكثافة الزراعية لسكان لمقاطعات ريف قضاء الفلوجة ٢٠٢٥.

ت	رقم	اسم المقاطعة	عدد السكان	المساحة الكلية / الدونم	مساحة الأرض المزروعة / دونم
١	١	جبيل والخراب	5671	10151	ـــــ
٢	٢	النعيميه	10644	19330	195
٣	٣	الدفار	10709	9152	135
٤	٥	النساف	62441	17200	109
٥	١٣	الكيفيه	9629	10492	633
٦	١٤	الجغيفي والسجر	3201	8170	217
٧	١٨	الازركيه	15017	11933	121
٨	١	الرميله	1809	5161	210

٩	١٧	البوشجل	23022	8640	548
١٠	١٥	أبو سديره	8079	12581	20
١١	٢٢	الذيابات والعنازي	3697	6086	1418
١٢	١٦	المصالحه والبوعكاش	7145	5416	140
١٣	٢٣	العكيلي والعوينات	3574	10568	302
١٤	٢٤	الزغاريت	3486	12791	142
١٥	٣٦	الجبل	4851	318968	15222
المجموع			١٧٢٩٧٥	466639	١٩٤١٢

المصدر: (٧) جمهورية العراق، وزارة التخطيط والتعاون الانمائي، مديرية تخطيط واحصاء الرمادي، بيانات الحصر والترقيم في منطقة الدراسة لعام ٢٠٢٤.

٢ – ١ – تعريف الألواح الشمسية :

الألواح الشمسية (Solar Panels) هي أجهزة مكوّنة من خلايا شمسية (Photovoltaic Cells) تعتمد على تقنية الخلايا الكهروضوئية (PV) التي تقوم بتحويل الطاقة الضوئية القادمة من الشمس إلى طاقة كهربائية مباشرة (DC) الألواح الشمسية الكهروضوئية هي مصفوفة من خلايا نصف موصل (غالبًا سيليكون) تُحوِّل الإشعاع الشمسي مباشرةً إلى كهرباء بتيار مستمر (DC) عبر التأثير الكهروضوئي اما مكوّنات اللوح النموذجية عبارة خلايا سيليكونية متصلة، زجاج مقسى أمامي، صفائح تغليف (EVA)، غلاف خلفي أو زجاج خلفي (للألواح الزجاج–زجاج)، إطار ألمنيوم، وصندوق توصيل [٨]. ظروف الاختبار القياسية STC: إشعاع ١٠٠٠ واط/م²، درجة خلية ٢٥°C، طيف AM1.5. القدرة الاسمية Pmax تُقاس عند Vmp و Imp، بينما Voc و Isc هما الجهد/التيار في الدارة المفتوحة والقصوى. وتُستخدم هذه الطاقة بعد تحويلها عبر محوّلات (Inverters) إلى تيار متناوب (AC) يمكن استخدامه في المنازل والمشاريع الزراعية والصناعية. اما طريقة العلم الفيزيائية يسبّب الضوء تحرير حوامل شحنة داخل وصلة شبه موصل (p–n). تحت الحمل، يُنتج اللوح قدرة كهربائية $P = V \times I$. تنخفض القدرة مع ارتفاع الحرارة (عادةً 0.3– إلى 0.5 %/°C– للألواح السيليكونية).

٢ – ٢ – أنواع الألواح الشمسية :

توجد أنواع رئيسية، تختلف في كفاءتها وسعرها وملاءمتها للبيئة المحلية:

١. الألواح الأحادية البلورة (Monocrystalline Silicon – Mono–Si)

تصل فيها الكفاءة: ١٨–٢٢٪ , اما العمر الافتراضي: ٢٥–٣٠ سنة , اهم المميزات انها عالية الكفاءة، جيدة في المساحات الصغيرة، تعمل بكفاءة جيدة حتى مع ضعف الإشعاع اما العيوب هو سعرها أعلى من باقي الأنواع.

٢. الألواح متعددة البلورة (Polycrystalline Silicon – Poly–Si)

تتراوح كفاءتها ١٥–١٨٪ اما العمر الافتراضي ٢٠–٢٥ سنة من ابرز المميزات هي انها أقل سعراً من الأحادية، ملائمة للمناطق الريفية حيث تتوفر مساحات واسعة لتركيبها اما ابرز العيوب كفاءتها أقل من الأحادية [٩] .

٣. الألواح الرقيقة (Thin Film Solar Panels) :

تكون ذات كفاءة أقل على مساحة أكبر، لكن معامل حرارة جيّد وقدرة أفضل في الإضاءة الضعيفة و مفيدة عندما تكون الحرارة العالية عاملًا حرجًا ومساحة الأرض كبيرة.

٤. ألواح ثنائية الوجه (Bifacial) :

و تولّد من الوجهين وتستفيد من الانعكاس الأرضي (Albedo)، تضيف عادةً ٥–١٥٪ طاقة إضافية في المواقع ذات أرضية فاتحة أو حصى أبيض , تُستخدم غالبًا مع هياكل أرضية وثبّات بزاوية مناسبة تصل كفاءتها ١٠–١٣٪ اهم ما يميزها انها خفيفة الوزن، مرنة، مناسبة للتركيب على الأسطح الكبيرة أو غير المنتظمة اما ابرز العيوب هي عمرها أقصر (١٥–٢٠ سنة) وكفاءتها منخفضة نسبياً.

جدول (٣) انواع الالواح الشمسية

النوع	الكفاءة %	العمر الافتراضي (سنة)	التكلفة (دولار/لوح)
أحادية البلورة	20	30	200–250
متعددة البلورات	16	25	150–200
الأفلام الرقيقة	11	15	100–150
PERC/Bifacialهجينة	22	30	250–300

المصدر: محمد لطفي , الخلايا الشمسية ، ، دار اسامة لطباعة والنشر ، دمشق ، ٢٠٠٧ ص ١٢٠ .

تتميز منطقة الفلوجة بمعدل إشعاع شمسي يتراوح بين ٥.٥ – ٦ kWh/m² يوميًا، مما يجعل الألواح الأحادية البلورة (Monocrystalline) الأكثر ملاءمة بسبب كفاءتها العالية وتحملها لدرجات الحرارة بسبب انخفاض تكلفتها وتوفر المساحات الواسعة في الريف في حال الحاجة إلى كفاءة عالية مع مساحة محدودة (منازل صغيرة أو أسطح محدودة) , كما يمكن استخدام الألواح متعددة والانسب هي الألواح متعددة البلورة (Polycrystalline) .

٢ – ٣ – الأهمية الاقتصادية للألواح الشمسية في ريف قضاء الفلوجة :

١ – الاعتماد على الطاقة الشمسية كبديل موثوق في ظل ضعف الشبكة الوطنية وارتفاع فواتير الكهرباء، لجأ المزارعون إلى الطاقة الشمسية لتشغيل مضخات الري—ما قلّص الاعتماد على مولدات الديزل وساعد في خفض التكاليف. إحدى حالات مزارع في نينوى أظهرت أن فواتيره انخفضت من نحو مليون دينار إلى ٨٠ ألفاً بعد تركيب النظام الشمسي .

٢ – سرعة استرداد تكلفة الاستثمار اذا تبلغ تكلفة نظام شمسي بقدرة ٥–٦ كيلوواط تتراوح بين ٥ و١٠ ملايين دينار. ويقول المستخدمون إنهم يسترجعون استثماراتهم خلال ١ إلى ٣ سنوات، مع ضمان يمتد حتى ١٥ سنة لغطاء الألواح .

٣ – استقلالية الطاقة اي تقليل الاعتماد على الشبكة الوطنية اذ ان الأنظمة الشمسية (خصوصاً التي تعمل خارج الشبكة—off–grid) تمنح المستخدمين استقلالية تقريبًا في الطاقة، مما يقلّل الاعتماد على الشبكة الوطنية ويمنحهم سيطرة كاملة على احتياجاتهم خاصة خلال النهار عند تشغيل مضخات الري[١٠] .

٤ – دعم حكومي وتسهيلات مالية اذ تهدف الحكومة العراقية إلى إنتاج ١٢ GW من الطاقة الشمسية بحلول ٢٠٣٠، ضمنها مشروع ضخم في البصرة بقدرة ١ GW , كما أتاح البنك المركزي قروضًا بفوائد منخفضة لتشجيع تركيب الألواح الشمسية، تشمل كلّاً من القطاع الحكومي والخاص , في خطوة حديثة، بدأت الحكومة بتوزيع أنظمة شمسية مجانية على نحو ٢,٥٠٠ منزل من ذوي الدخل المحدود .

٥ – تحسين الإنتاج الزراعي منظمات مثل Welthungerhilfe ثبتت أن الأنظمة الشمسية في مناطق بمحافظة نينوى خفضت التكاليف بنسبة ٧٠٪ مقارنة بمولدات الديزل، كما مكّنت من تبريد المنتجات الطازجة ما يدعم دخل المزارعين ويقلّل الفاقد الزراعي كذلك الحال في قضاء القائم الذي يستخدم الطاقة الشمسية في الانتاج الزراعي .

الألواح الشمسية تقلل من فاتورة الكهرباء على المدى الطويل مقارنة بالاعتماد على الشبكة العامة أو المولدات.

جدول (٤) الأهمية الاقتصادية للألواح الشمسية في ريف قضاء الفلوجة.

النظام	الكلفة التقديرية (دولار)	(kWh) الإنتاج السنوي	كهرباء المنتجة (دولار/	مدة استرداد الكلفة (سنة)
لوح واحد ٤٠٠ واط	**200**	**792**	**119**	**1.680672**
منزل صغير (١٠ ألواح)	**2000**	**7920**	**1188**	**1.683502**
مزرعة متوسطة (٤٠ لوح)	**8000**	**31680**	**4752**	**1.683502**

المصدر : (١١) (Bamisile, O., Olubiyo, F., Dagbasi, M., Adun, H., & Wole–Osho, I. ٢٠١٩). Economic Analysis and Performance of PV Plants: An Application in Kurdistan Region of Iraq. International Journal of Renewable Energy Development, ٨(٣), ٢٩٣–٣٠١.

٢ – ٤ – الأهمية البيئية لاستخدام ألواح الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة يمكن توضيحها بشكل علمي على النحو الآتي:

١. استغلال القدرات الضوئية لدولة عربية مشمسة اذ يتمتع العراق بأكثر من ٣,٠٠٠ ساعة شمسية سنويًا، وهذا يجعله موقعًا مثاليًا لتوليد الطاقة الشمسية. حتى "أسوأ موقع شمسي في العراق" يولّد موارد تفوق ثلث أفضل المواقع في ألمانيا .

٢. تقليل الانبعاثات الغازية الملوّثة الاعتماد على الطاقة الشمسية يقلل من حرق الوقود الأحفوري (النفط والغاز)، مما يؤدي إلى انخفاض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وأكاسيد النيتروجين والكبريت , هذا يسهم في الحد من الاحتباس الحراري والتغير المناخي [١٠].

٣. . تحسين نوعية الهواء المحلي اذ ان ريف الفلوجة يعاني من ملوثات ناجمة عن المولدات الكهربائية التقليدية واستبدالها بالطاقة الشمسية يقلل من الدخان والجسيمات الدقيقة التي تسبب مشاكل تنفسية للسكان والحيوانات.

٤. الحفاظ على الموارد الطبيعية تعد الطاقة الشمسية مورد متجدد ونظيف، على عكس النفط والغاز اللذين يُستنزفان بسرعة ويقلل الاعتماد على الألواح الشمسية من استهلاك المياه في توليد الكهرباء، بخلاف محطات الطاقة الحرارية التي تستهلك كميات كبيرة من المياه.

٥. الحد من التلوث الضوضائي تصدر المولدات الكهربائية ضجيجًا مستمرًا، بينما الألواح الشمسية تعمل بصمت كامل، مما يساهم في تحسين بيئة الريف وسلامة الحياة البرية.

٦. تحسين التربة والزراعة تقليل انبعاثات الوقود الأحفوري يقلل من ترسب الملوثات الكيميائية على الأراضي الزراعية ويمكن استخدام الألواح الشمسية بنظام الزراعة الشمسية (Agrovoltaics) حيث يتم الجمع بين إنتاج الكهرباء والزراعة في نفس المساحة، مما يحافظ على خصوبة التربة.

٧. الحفاظ على التنوع الحيوي من خلال تقليل التلوث الهوائي والمائي والضوضائي، توفر الطاقة الشمسية بيئة أنسب لنمو النباتات وعيش الطيور والحيوانات المحلية.

٨. إدارة نفايات أكثر استدامة على المدى الطويل، تدوير الألواح الشمسية أصبح أكثر تطورًا عالميًا، مما يتيح إعادة استخدام المعادن كالسيليكون والألمنيوم، ويقلل من تراكم النفايات الصناعية.

٣ – ١ – التخطيط الجغرافي لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة :

التخطيط الجغرافي: هو عملية تنظيم استخدام الأرض والموارد الطبيعية والبشرية وفق أسس علمية وجغرافية، بهدف تحقيق التنمية المستدامة.

في مجال الطاقة، التخطيط الجغرافي يعني اختيار المواقع المثلى للمشاريع (مثل مزارع الطاقة الشمسية) بالاعتماد على الخصائص المكانية مثل الكثافة السكانية و المساحات الزراعية و نوع التربة ومستوى الإشعاع الشمسي و القرب من شبكات النقل الكهربائي , تقليل التضارب مع الاستخدامات الأخرى (الزراعة، السكن، الصناعة).

للتخطيط لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة , هناك خطوات مهمة يجب الاخذ بهذا بعين الاعتبار اهمها :

١. تحليل الخصائص السكانية يبلغ عدد سكان ريف قضاء الفلوجة (١٧٢٩٧٥) نسمة وهو ما يساعد في تحديد حجم المزرعة وعددها.

٢. تحليل استخدامات الأرض الزراعية: استبعاد الأراضي الزراعية عالية الخصوبة للإنتاج الزراعي و استغلال الأراضي الهامشية أو قليلة الإنتاجية.

٣. تحليل الموقع المكاني: يتم وضع المزارع بالقرب من خطوط النقل الكهربائية مع مراعاة قربها من الطرق لسهولة الإنشاء والصيانة.

٤. التوزيع الجغرافي للمزارع حسب المساحة والكثافة السكانية : في المقاطعات الكبيرة سكانيًا (مثل النساف، البوشجل، النعيمية) أكثر من مزرعة وكذلك في المقاطعات الصغيرة سكانيًا (مثل الرمّيلة، الجبل) مزرعة واحدة صغيرة تكفي مع مراعاة أن تكون المزارع متفرقة جغرافيًا لتقليل الفقد الكهربائي.

٣ – ٢ – التخطيط لاستخدام الطاقة الشمسية في الزراعة : الطاقة الشمسية لا تُستخدم فقط لإنتاج الكهرباء المنزلية، بل لها أبعاد زراعية مباشرة، منها:

١. الري بالطاقة الشمسية: تركيب مضخات مياه تعمل بالطاقة الشمسية (Solar Pumps) لري الأراضي الزراعية كما يقلل من الاعتماد على الديزل ويخفض الكلفة الزراعية.

٢. تجفيف المحاصيل: استخدام مجففات شمسية للحبوب والتمور والخضروات بدلًا من الطرق التقليدية.

٣. تحلية ومعالجة المياه: الطاقة الشمسية تدعم وحدات تحلية مياه الآبار المالحة أو الملوثة، خصوصًا في المناطق ذات المياه الجوفية.

٤. الزراعة المحمية (البيوت البلاستيكية): يمكن استخدام الطاقة الشمسية لتشغيل التهوية والتدفئة والتبريد داخل البيوت الزراعية.

٣ – ٢ – ربط التخطيط الجغرافي بالزراعة :

يتم توزيع المزارع الشمسية على أطراف المقاطعات بحيث تغطي احتياجات السكان من الكهرباء أولًا ويخصص جزء من الإنتاج لخدمة النشاط الزراعي (مضخات المياه، تشغيل آبار ارتوازية، تشغيل مخازن تبريد) بالنتيجة يكون هناك تكامل بين الطاقة والزراعة يقلل التكاليف، يحسن الإنتاجية، ويزيد من استدامة الريف.

جدول (٥) التخطيط لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة :

ت	رقم المقاطعة	اسم المقاطعة	عدد السكان (نسمة)	عدد المزارع المقترح	القدرة الاسمية الإجمالية (MW)	مساحة كل مزرعة (دونم)	المساحة الإجمالية للمزارع (دونم)	التكلفة الإجمالية (مليون دولار)
١	١	جبيل والخراب	5671	1	10	80	80	8
٢	٢	النعيميه	10644	2	20	80	160	16
٣	٣	الدفار	10709	2	20	80	160	16
٤	٥	النساف	62441	7	70	80	560	56
٥	١٣	الكيفيه	9629	1	10	80	80	8
٦	١٤	الجغيفي والسجر	3201	1	10	80	80	8
٧	١٨	الازركيه	15017	2	20	80	160	16
٨	١	الرميله	1809	1	10	80	80	8
٩	١٧	البوشجل	23022	3	30	80	240	24
١٠	١٥	أبو سديره	8079	1	10	80	80	8
١١	٢٢	الذيابات والعنازي	3697	1	10	80	80	8
١٢	١٦	لمصالحه والبوعكاش	7145	1	10	80	80	8
١٣	٢٣	العكيلي والعوينات	3574	1	10	80	80	8
١٤	٢٤	الزغاريت	3486	1	10	80	80	8
١٥	٣٦	الجبل	4851	1	10	80	80	8
المجموع			172975	26	260	80	2080	٢٠٨

المصدر : (١٢) وزارة الكهرباء العراقية، خطة تطوير مشاريع الطاقة المتجددة في العراق (٢٠١٩–٢٠٢٥)، بغداد: وزارة الكهرباء، ٢٠٢٠.

(١٣) – الجهاز المركزي للإحصاء، التقرير الإحصائي السنوي لمحافظة الأنبار، بغداد: وزارة التخطيط، ٢٠٢١.

(١٠) – أحمد عبد الله السامرائي، إمكانات الطاقة الشمسية وتخطيط استخدامها في العراق: دراسة جغرافية. رسالة ماجستير(غير منشورة) ، جامعة بغداد، كلية الآداب، ٢٠٢٠ ص ١٢٥.

من خلال الجدول (٥) يمكن اعداد خطة لإقامة مزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة نجد الفرضية التالية ان كل مزرعة نمطية تنتج ١٠ ميغاواط اسمية هذا يعتمد على معيار التوزيع اي ان كل مزرعة واحدة لكل ١٠ آلاف نسمة (تقريبًا للأعلى) , لضمان تغطية عادلة للمناطق قليلة السكان كما ان كثافة الأرض الكهروضوئية تساوي ٨ دونم لكل ١ ميغاواط (٢ هكتار/MW) إذن مساحة المزرعة الواحدة = ٨٠ دونم , اما الكلفة التركيبية إذن كلفة المزرعة الواحدة = ٨ مليون دولار.

بالنسبة لقضاء الفلوجة يمكن انشاء ٢٦ مزرعة موزعة على المقاطعات حسب الكثافة السكانية والمساحة وتقدر إجمالي القدرة الاسمية ٢٦٠ ميغاواط اسمية اما إجمالي المساحة المطلوبة لأنشاء هذه المزارع تقدر ٢٦ × ٨٠ = ٢,٠٨٠ دونم , اما إجمالي الكلفة التقديرية لأنشاء (٢٦٥مزرعة) هي ٢٦ × ٨ = ٢٠٨ مليون دولار وهو رقم كبير جدا لكن هذه الاموال سوف تسترد على المدى البعيد كون ان الطاقة الشمسية

طاقة متجددة اولا لا تحتاج الى صيانة دورية او ايدي عاملة كبيرة واذا ما تم تنظيم عملها يمكن العمل على جباية بأسعار زهيدة اقل بكثير من المولدات الاهلية فضلا عن عمرها التشغيلي الذي يصل الى ٢٥ سنة تقريبا .

٣ – ٤ – خطة التنفيذ المرحلية : في حال عدم توفر الاموال يمكن تنفيذ الخطة على شكل مراحل زمنية ويمكن تقسيمها الى المراحل التالية

١ – المرحلة الاولى :

تمتد من عام (٢٠٢٥–٢٠٢٦) لإنتاج طاقة كهربائية تتراوح بين ٤٠–٥٠ ميغاواط من خلال انشاء محطتان مركزيتان ٨– ١٠ أغرفولتايك صغيرة لتشغيل مضخات ري شمسية.

كلمة أغروفولتايك (Agrivoltaic) أو الأغروفولطية تعني الدمج بين الزراعة وإنتاج الطاقة الشمسية في نفس المساحة من الأرض أي يتم تركيب الألواح الشمسية في الحقول الزراعية بحيث تسمح بمرور الضوء والظل بشكل متوازن، فيستفاد من الأرض لإنتاج الغذاء والطاقة معًا الفكرة الأساسية اي ان المزارع يزرع محاصيله تحت أو بين الألواح الشمسية و الألواح تولّد الكهرباء من الشمس والنباتات تستفيد من الظل الجزئي الذي قد يقلل تبخر المياه ويحميها من الحرارة المفرطة من اهم الفوائد لهذه الزراعة :

١. استغلال مزدوج للأرض (إنتاج غذاء + طاقة).
٢. ترشيد المياه بسبب تقليل التبخر.
٣. زيادة دخل المزارع عبر بيع الكهرباء.
٤. تقليل انبعاثات الكربون ودعم الاستدامة.

المرحلة الثانية :

تمتد من عام (٢٠٢٧–٢٠٢٨) لإنتاج ٥٠ ميغاواط والعمل على (تعزيز الربط ١٣٢/٣٣ ك. ف) وتشجير عمل مصدات رياح، وانشاء محطات تنظيف منخفضة المياه).

المرحلة الثالثة :

تمتد من عام (٢٠٢٩–٢٠٣٠) مرحلة الانتاج والتخزين للطاقة وهنا تحتاج انتاج ٥٠ ميغاواط و تخزين الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية .

٤ – ١ – المخاطر لاستخدام الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة :

١. من اهم المخاطر على استخدام الطاقة الشمسية هي تذبذب الأسعار وسلاسل الإمداد و عقود توريد مبكرة وبنود ملزمة بالدفع حتى عند هبوط اسعار الصرف.
٢. المناخ السائد والناصر المؤثرة مثل الغبار وارتفاع الحرارة و زيادة فواصل التنظيف، واختيار ألواح بمعامل حرارة منخفض.
٣. أمن المواقع العمل على اقامة الاسيجة لحماية مزارعه الطاقة الشمسية سياج وانشاء وأنظمة مراقبة في المحطات الأكبر حجمًا.
٤. التكامل الشبكي العمل على تنسيق مبكر مع شركة التوزيع بشأن نقاط الربط وقدرات المحولات

٥ – ١ – تحديات ينبغي أخذها بالاعتبار لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية في ريف قضاء الفلوجة :

١ – البُنى التحتية التمويلية رغم وجود برامج قروض منخفضة الفائدة، إلا أن العديد من البنوك لا تسهل آليّات التمويل فعليًا .

٢ – غياب الثقافة الشمسية اي غياب الوعي بأهمية الطاقة الشمسية وخدماتها، خاصّة في الأرياف .

٣ – الاستنزاف المائي المحتمل في مناطق جنوب آسيا وأفريقيا، استُغلت المضخات الشمسية لدرجة أدت إلى سحب مفرط للمياه الجوفية، ما يطرح تساؤلات حول الاستدامة المائية لمشاريع الري الشمسيّة في ريف قضاء الفلوجة .

الاستنتاجات :

١ – أظهرت نتائج البحث ان ريف قضاء الفلوجة يمتلك موارد شمسية جيدة تجعله مناسباً لإقامة وتخطيط مشاريع الطاقة الشمسية.

٢ – يعتبر مورد الطاقة الشمسية خياراً مناسباً لدعم منظومة الطاقة الكهربائية وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية.

٣ – تتوفر في منطقة الدراسة أراضي واسعة يمكن استثمارها لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية دون تأثير كبير على الأنشطة القائمة.

٤ – يسهم التخطيط المكاني السليم في اختيار المواقع الأكثر كفاءة لإقامة مشاريع الطاقة الشمسية.

٥ – يحقق استثمار الطاقة الشمسية فوائد بيئية من خلال خفض الانبعاثات وتقليل التلوث الناتج عن الوقود الأحفوري.

٦ – أظهرت نتائج الدراسة أن المواقع المختارة تتوافق مع المتطلبات الأساسية لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية.

توصيات الدراسة :

١. الاستفادة من دعم القروض الحكومية لتسهيل تركيب نظم شمسية للمنازل والمزارع.

٢. تركيز على حفر آبار الري ضمن تصميم متوازن لمنع استنزاف المياه الجوفية.

٣. تعزيز التدريب والتوعية للمزارعين حول أثر الطاقة الشمسية اقتصاديًا وبيئيًا.

٤ – اعداد قواعد بيانات مكانية متكاملة للمواقع المناسبة لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية .

٥ – مراعاة الاعتبارات البيئية عند اختيار أماكن مزارع الطاقة الشمسية لضمان تحقيق التنمية المستدامة

٦ – نشر الوعي المجتمعي بأهمية الطاقة الشمسية وفوائدها الاقتصادية والبيئية .

المصادر والمراجع :

١- وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، فهرس مقاطعات محافظة الانبار، مقياس ١:١٠٠٠٠٠.

٢- وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة محافظة الانبار الادارية، مقياس ١:٥٠٠٠٠٠، لعام ٢٠١٥.

٣- علي احمد غانم، المناخ التطبيقي، ط١، دار المسرة، عمان، الاردن، ٢٠١٠، ص١٥٦.

٤- علي صاحب طالب الموسوي، عبد الحسن مدفون ابو رحيل، علم المناخ التطبيقي، ط١، دار الضياء النجف، ٢٠١١، ص٣١٠.

٥- صلاح حميد الجنابي، سعدي علي غالب، جغرافية العراق الإقليمية، دار ابن الاثير، جامعة الموصل، ٢٠٠٥م، ص٢٨٤.

٦ –Clark. J. I. Population Geography, second edition, Pergaman Press, London, ١٩٧٦. p. .٢٠

٧- جمهورية العراق، وزارة التخطيط والتعاون الانمائي، مديرية تخطيط واحصاء الرمادي، بيانات الحصر والترقيم في منطقة الدراسة لعام ٢٠٢٤.

٨- محمد لطفي , الخلايا الشمسية ، ، دار اسامة لطباعة والنشر ، دمشق ، ٢٠٠٧ ص ١٢٠

٩- عبد العزيز محمد حبيب العبادي , الطاقة الشمسية في العراق , دراسة في جغرافية الطاقة , مجلة الجمعية الجغرافية العراقية , العدد ٢٦ , ١٩٩١ , ص٤٤ .

١٠-أحمد عبد الله السامرائي، إمكانات الطاقة الشمسية وتخطيط استخدامها في العراق: دراسة جغرافية. رسالة ماجستير(غير منشورة) ، جامعة بغداد، كلية الآداب، ٢٠٢٠ ص ١٢٥.

١١-Bamisile, O., Olubiyo, F., Dagbasi, M., Adun, H., & Wole-Osho, I. (٢٠١٩). Economic Analysis and Performance of PV Plants: An Application in Kurdistan Region of Iraq. International Journal of Renewable Energy Development, ٨(٣), ٢٩٣-.٣٠١

١٢- وزارة الكهرباء العراقية، خطة تطوير مشاريع الطاقة المتجددة في العراق (٢٠١٩-٢٠٢٥)، بغداد: وزارة الكهرباء، ٢٠٢٠.

١٣- الجهاز المركزي للإحصاء، التقرير الإحصائي السنوي لمحافظة الأنبار، بغداد: وزارة التخطيط، ٢٠٢١.