جامعة المنصورة
كليـة الآداب

إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتحديد المواقع المثلى لتوطنها في محافظة الوادي الجديد – دراسة فى جغرافية الطاقة

إعـــداد

د. نورا محمد احمد يوسف عرفات

مدرس الجغرافيا الاقتصادية ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب– جامعة الوادي الجديد

مجـلة كلـية الآداب – جامعـة المنصـورة
العدد التاسع و الستون – أغسطس ٢٠٢١

إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتحديد المواقع المثلى لتوطنها في محافظة الوادي الجديد
دراسة فى جغرافية الطاقة

د. نـــورا عرفات

مدرس الجغرافيا الاقتصادية ونظم المعلومات الجغرافية

كلية الآداب- جامعة الوادي الجديد

ملخص البحث

إن الزيادة المستمرة فى أعداد السكان وزيادة الطلب على الطاقة والتوسع الاقتصادي في مصر دعى إلى ضرورة البحث عن امدادات مستقرة ودائمة من الطاقة، وتؤدي الطاقة المتجددة دورًا محوريًا يتعدى تحقيق هذا الامر حيث يمكن الاعتماد عليها ليس فقط في تلبية حاجتها من الطاقة وإنما ضمان نمو اقتصادي مستدام، وتوفير فرص عمل جديدة، والمساهمة في تحقيق الأهداف العالمية بخصوص المناخ والتنمية المستدامة، وفى ضوء ذلك جاءت هذه الدراسة لتحقيق عدة اهداف منها دراسة مكونات أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بمحافظة الوادي الجديد، ودراسة أنواع المحطات بالمنطقة حسب اتصالها بالشبكة الموحدة للكهرباء، يلى ذلك دراسة التوزيع الجغرافي للمحطات الكهروضوئية تبعًا للقدرة (ك.و.س) والغرض من استخدامها، ودراسة تطور انتاج الكهرباء بتتبع كميات الكهرباء المنتجة من أكبر ثلاث محطات كهروضوئية بالمحافظة خلال المدة من (٢٠١٤-٢٠٢٠م)، ورصد أهم العوامل الجغرافية المؤثرة على هذا الانتاج، وتحديد أهم الآثار الاقتصادية والبيئية الناتجة عن استخدامها بالمنطقة، وتحديد المواقع المثلى لتوطنها بالمكان باستخدام اسلوب التسلسل الهرمي لساتي ووفق مجموعة من المعايير وضعت من قبل خبراء فى مجال الطاقة الشمسية.

الكلمات المفتاحية : *الخلايا الكهروضوئية، الكهرباء، التحليل الهرمي.*

Abctract :

The constant increase in the population, the demand of energy and the economic expansion of Egypt have called for the necessity to search for a stable and sustainable supplies of energy. Renewable energy plays a vital role beyond achieving that, as it can be relied upon not only to fulfill its energy need but also to ensure sustainable economic growth, create new jobs and contribute to the achievement of global climate and sustainable development goals. In this context, the study attempts to examine the components and types of solar photovoltaic energy systems in the New Valley Governate. Moreover, the article studies the geographical distribution of photovoltaic energy stations according to their capacity and purpose. The study also traces the development of electricity production during the period (2014-2020) identifying the most important geographical factors that have affected this production. The economic and environmental impacts of such electricity in the region, and the optimal locations of its settlement according to the Saaty Analytical hierarchy process (AHP) are determined.

Key Words: photovoltaic cells, electricity, Analytic Hierarchy Process.

المقدمـــة:

أكـدت مؤشـرات أطلـس الطاقـة الشمسـية الـذي تـم إصـداره عـام ١٩٩١م بامكانـات مصـر الكبيرة فى مجال الطاقة الشمسية ؛ نظرًا لتمتعها بعـدد سـاعات سـطوع شمسـي تتـراوح بـين٢,٩ – ٣,٢ الـف ساعة/سـنويًا، وكميـة إشـعاع شمسـي كلـــــي تتـــــراوح بـــــين ٢ – ٣,٢ ميجاوات/ســاعة/متر٢/ســنة، وعلــى المســتوى العـالمي أجمعـت منصـة أطلـس العـالم التابعـة للوكالـة الدوليـة للطاقـة طبقًـا للأطلـس العـالمي الذي تم إصداره عام٢٠١٦م أن مصر تُعد من أنسب المناطق لاستغلال الطاقة الشمسية سواء لتوليـد الطاقـة الكهربيـة أم لتطبيقـات التسـخين الحـــــراري (الوكالـــــة الدوليـــــة للطاقـــــة المتجددة،٢٠١٨،ص٢٧)، وأكدت على النتائج

نفسها أطلس الإشعاع الشمسي العالمي الذي أطلقه البنك الدولي عام ٢٠١٩م.

إن توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية بشكل مباشر باستخدام الخلايا الكهروضوئية من شأنه أن يعزز موثوقية إمدادات الكهرباء بالقطاعات المختلفة وتحقيق استدامتها؛ أي توفير طاقة مستمرة دون الخوف من انقطاع التيار الكهربائي أو نفاذ الوقود؛ نظرًا لاعتمادها على مصدر طاقة دائم متجدد، الأمر الذى يحقق تنمية اجتماعية واقتصادية خاصة في المناطق النائية غير المتصلة بشبكة الكهرباء الموحدة، أو تلك المناطق التي ترتفع تكلفة توصيل التيار الكهربي لها، كما ينتج عن استخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية تعزيز أمن الطاقة بالمنطقة عبر تنويع مصادرها، وتخفيف الاعتماد على مصادر الوقود التقليدية ؛ للحد من الانبعاثات الضارة ، وتخفيف آثار تغير المناخ(نيفين كمال،، صفحات متعددة٢٠١٥).

ومع محدودية الوقود الأحفوري فى مصر واتجاه الدولة نحو استدامة الطاقة واعلان الحكومة عن سعيها إلى توليد ٢٠% من الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة فى مصر بحلول عام ٢٠٢٢، و٤٢% بحلول عام ٢٠٣٥(الوكالة الدولية للطاقة، مرجع سابق)، ومع دعم الدولة السياسات التحفيزية لاستخدام الطاقة الشمسية بها بدءًا من عام ٢٠١٤م جاءت أهمية دراسة موضوع **إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية** باعتبارها الأكثر ملائمة للمناطق النائية البعيدة غير المرتبطة بالشبكة الموحدة للكهرباء ، كما أن استخدام الخلايا الكهروضوئية لا يتطلب التواجد بالقرب من مصادر مياه ، كما هو الحال فى أنظمة المركزات الشمسية ، التي تعتمد على إنتاج الكهرباء من طاقة الشمس الحرارية ، وتحقق تلك الدراسة عدة أهداف ، منها : دراسة مكونات أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية ، والتعرف على أنواعها والقطاعات التي تستخدمها، ورصد أهم العوامل المناخية والاقتصادية التي تؤثر على الإنتاج منها، وأهم الآثار التي ترتبت على استخدامها والتخطيط المستقبلي لإنشائها بالمكان.

وقد تم اختيار محافظة الوادي الجديد كنموذج تطبيقي؛ لعدة أسباب مهمة، منها : التوسع في استخدام الخلايا الكهروضوئية بالمحافظة ؛ فقد بلغ عدد المحطات التى تم حصرها بالمكان إلى ٣٥٤ محطة بإجمالي قدرات بلغت ٢٠,٤ ميجاوات.ساعة ، وعدم وجود دراسة واحدة تناولت موضوع إنتاج الكهرباء من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بالمنطقة، زد على ذلك زيادة كمية الكهرباء المستهلكة من الشبكة الموحدة في إنتاج المياه الجوفية من الآبار باعتبارها المصدر الرئيس لكافة الأنشطة البشرية بالمحافظة وتكلفتة استهلاكها العالية ، الأمر الذي تطلب البحث عن مصدر بديل يحد من هذا الاستهلاك بالمحافظة، كما يزيد التلوث البيئي بها ؛ نتيجة

استخدام وقود الديزل في توليد الكهرباء من ثلاث محطات حرارية غير مرتبطة بالشبكة الموحدة، وكذا استخدامه فى تشغيل مولدات الديزل لرفع المياه من ٨٨٣ بئرًا بالمحافظة، بالإضافة لتخصيص نحو٣٤١,٣ ألف فدان بمراكز المحافظة الخمسة للاستثمار الزراعي والصناعي والخدمي بها، وتركز أغلبها بمناطق بعيدة عن خطوط الشبكة الأمر الذي يتطلب توفير مصدر موثوق ومستديم للطاقة ؛ لتلبية احتياجاتها التنموية.

وقد تم اختيار عينة تمثل ٢٩,٤% من جملة قدرات محطات المحافظة الكهروضوئية ممثلة في أكبر ثلاث محطات من حيث القدرة ، وهى : محطات أبو منقار، ودرب الأربعين ، والفرافرة للتطبيق عليها، وتتبع إنتاج الكهرباء منها منذ أن تم إنشاؤها ورصد أهم العوامل التي أثرت على هذا الإنتاج وتعميم النتائج.

وتندرج تلك الدراسة ضمن جغرافية الطاقة أحد الفروع الرئيسة للجغرافيا الاقتصادية، وقد تعددت الدراسات الجغرافية وغير الجغرافية وتم تليط الضوء على الدراسات ذات الارتباط الوثيق بموضوع الدراسة وحسب علم الباحثة ومرتبة من الأقدم للأحدث على النحو التالي؛ دراسة اقتصاديات الطاقة الجديدة والمتجددة وإمكانية استثمارها فى مصر[١]، يتبعها دراسة عن الإشعاع الشمسي والرياح كمصادر لإنتاج الطاقة الجديدة والمتجددة فى مصر[٢]، يلحقها دراسة الطاقة الجديدة والمتجددة ودورها في التنمية المستدامة للمناطق الريفية[٣]، ودراسة أخرى عن تحديد المواقع المحتملة للطاقة الشمسية بالتطبيق على بحيرة ناصر[٤] يليها دراسة عن إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات[٥]، ثم دراسة الإشعاع الشمسي والرياح ودورهما فى إنتاج الطاقة فى صحراء مصر الشرقية[٦]، وأخرى عن

---

[١] **خلود حسام حسنين(٢٠٠٤)**، اقتصاديات الطاقة الجديدة والمتجددة وامكانية استثمارها فى مصر، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية التجارة ، جامعة عين شمس.

[٢] **حسن يونس حسن(٢٠٠٩)**، الاشعاع الشمسي والرياح كمصادر لانتاج الطاقة الجديدة والمتجددة فى مصر، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة طنطا.

[٣] **مها عيد عبد الستار سيد(٢٠١٣)**، الطاقة الجديدة والمتجددة ودورها في التنمية المستدامة للمناطق الريفية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.

[4] **Effat HA(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 No. 1.

[٥] **ياسر عبد الموجود(٢٠١٧)**، دراسة عن امكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات–دراسة في جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية، سالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة أسيوط.

[٦] **حسام ثابت صدقي(٢٠١٧)**، الاشعاع الشمسي والرياح ودورهما فى انتاج الطاقة فى صحراء مصر

التحليـل المكـاني للاشـعاع الشمسـي وامكانـات توليد الطاقة فـي محافظـة الـوادي الجديد دراسة فـــى المنـــاخ التطبيقـــي[٧]، يليهـــا دراســـة عـــن الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة في مصر للحد مـن التغيـرات المناخيـة[٨]، ثـم دراسـة عـن المـردود البيئـي لاسـتخدام الطاقـة الشمسـية فـي مصـر[٩]، ودراسـة عـن إمكانـات إنتـاج الطاقـة الشمسـية فـي محافظـة قنـا[١٠]، وجـاءت بعـدها دراسة عن إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بالتطبيق على محطة بنبان[١١].

ولم تركز أي من الدراسات السابقة على أنواع أنظمـة الطاقـة الشمسـية الكهروضـوئية بمحافظـة الـوادي الجديـد، ولا حصـر وتوزيـع وتصـنيف محطاتهـا ، ولا ترصـد تطـور كميـة الكهربـاء المنتجـة مـن المحطـات خـلال عـدة سـنوات ، ولا العوامل المؤثرة على الإنتاج الفعلي منها وقياس الارتبـاط بينهـا عكـس الدراسـات السـابقة ، التـي ركـزت علـى دراسـة مقومـات الطاقـة الشمسـية بالمناطق بشكل عام دون ربطها بالإنتاج الفعلي للمحطـات، كمـا لـم تطبـق أيًـا مـن الدراسـات السـابقة أسـلوب التحليـل الهرمـي AHP للعـالم ساتي فى تنظيم مُدخلات القرار واستنتاج الأوزان النسبية للمعايير اللازمة لاختيار المواقع المثلى للمحطـات الكهروضـوئية بالمنطقـة آخـذة فـى الاعتبـار عـدد مـن المعـايير البيئيـة والمناخيـة والاقتصـادية الخاصـة ببيئـة الـوادي الجديد، وهذا مـا تضـيفه تلك الدراسـة، التـي جـاءت مكونـة مـن ستة عناصـر ؛ يتنـاول الأول الخصـائص العامـة لمنطقـة الدراسـة، والثـاني ينـاقش أنـواع أنظمـة الطاقـــة الشمســـية الكهروضـــوئية بالمحافظـــة، والثالـــث يـــدرس التوزيـــع الجغرافـــي للمحطـــات اشمسـية الكهروضـوئية حسـب اتصـالها بالشـبكة

الشرقية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

[٧] **محمد علـــى عويضـــة(٢٠١٧)**، التحليـل المكـاني للاشعاع الشمسي وامكانات توليد الطاقة في محافظة الـوادي الجديـد دراسـة فـى المنـاخ التطبيقـي، رسـالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة حلوان.

[٨] **نـادر البيـر وهشـام ابـراهيم وآخـرون(٢٠١٨)**، الاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة في مصر للحد من التغيرات المناخية، مجلة العلوم البيئية معهد الدراسات والبحوث البيئية ، جامعة عين شمس، المجلد الثاني والاربعون، الجزء الثاني.

[٩] **هبـــة الله فتحـــى محمد (٢٠١٨)**، المـردود البيئـى لاسـتخدام الطاقـة الشمسـية فـى مصـر – دراسـة باسـتخدام تقنيـات نظـم المعلومـات والاستشـعار عـن بعد، رسالة ماجستير غير منشورة، معهد الدراسات والبحوث البيئية، جامعة عين شمس.

[١٠] **زمـزم مرعـي أحمـد(٢٠٢٠)**، امكانات انتاج الطاقة الشمسية فـي محافظـة قنـا باسـتخدام نظـم المعلومـات الجغرافيـة، مجلـة كليـة الآداب للانسـانيات والعلـوم الاجتماعية، جامعة الفيوم، مجلد١٢، عدد٢.

[١١] **ياسـر عبـد الموجـود ومحمد ربيـع(٢٠٢١)**، انتـاج الكهرباء من الطاقة الشمسية فى محافظة أسوان مع التطبيق على محطة بنبان ، المجلة الجغرافية العربية، مجلد(٥٢)، عدد (٧٧).

ونـوع الغـرض منهـا، أمـا الرابـع فقـد خُصـص لدراسة التطور السنوى والشهري لإنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية، مع إلقاء الضوء على أهم العوامل المؤثرة علـى إنتـاج الكهربـاء منهـا، يليه مباشرة دراسة أهم الآثار الاقتصادية والبيئية المترتبـة علـى إنتـاج الكهربـاء منهـا، ثـم دراسـة التحليـل متعـدد المعـايير لتحديـد المواقـع الأكثـر ملائمـــة لإنشـــاء محطـــات الطاقـــة الشمســـية الكهروضوئية، وذُيلت الدراسة بخاتمة شملت أهم النتائج والتوصيات.

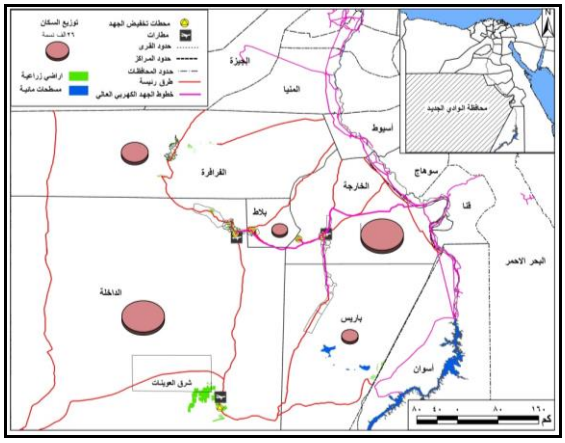
وقـد نُظمـت موضـوعات الدراسـة السـابقة باستخدام **المنـهج الوصـفي** بالشكل الذي يساعد فـي تحقيـق الأهـداف أعـلاه ، وتـم تطبيقـه مـن خـلال تحديـد مشـكلات الدراسـة ، وتحديـد عينـة المحطات التي تم التطبيق عليها، وتحديد أدوات جمـــع البيانـــات وأســـاليب تحليلهـــا، وتصـــنيف البيانـات وإيجـاد العلاقـات السببية بـين مفرداتهـا، وتحليلها وتفسيرها وصولًا إلى نتائج علمية يمكن تعميمهـــا(محمود توفيـــق، ٢٠٠٨، صـــفحات متعددة)، كما استعانت بعدة مداخل منها **مـدخل تحليـل نظـم الطاقـة** ووظـف فـي دراسـة منظومـة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية الكهروضـوئية بداية من محطات إنتاجها وتصنيفها حسب النوع وحتـى استهلاكها بـالأغراض المختلفة، **والمُـدخل الموضـــوعي** واســتخدم فـــي دراســة خصـــائص المحطـات الكهروضـوئية وتطـور إنتاجهـا ، ثـم دراسة العوامل المؤثرة على الإنتاج منها. كما تم إدخال وربط وتحليل البيانات المكانية والوصفية المرتبطـة بموضـوع الدراسـة وإنتـاج الخـرائط والأشكال البيانية منها باستخدام الأسلوب الكمي، وأسلوب نظم المعلومات الجغرافية.

أولًا - الخصائص العامة لمنطقة الدراسة :

تقـع محافظـة الـوادي الجديـد كمـا موضـح بالشكل(١) جنوب غرب مصر ما بين دائرتي عـرض٢٢° ، ٤٠/ ٢٧° شـمالًا، وخطـي طـول ٢٥° ، ٤٠ / ٣٢° شـرقًا ؛ أي تمتـد المحافظـة بين ٥,٦° عرضية ونحو ٧,٦° طولية ؛ الأمر الـذي يعنـي اتسـاع امتـدادها العرضـي مقارنـة بـالطولي، ويبلـغ أقصـي امتـداد للمنطقـة مـن الشمال صوب الجنوب مسافة ٦٣٣,٩ كم فـي حين يصل أقصي امتداد لها من الشرق صوب الغرب مسافة٧٧٥,٦ كم، والمنطقة بذلك أقرب إلى شكل المربع ؛ إذ بلغت قيمة قرينة الاندماج لها إلى ١,١ (Peter. Haggett,1969, P5)، ويحـد المحافظـة مـن الشـمال محافظـات المنيـا ومطروح والجيزة، ومن الجنوب الحدود مع دولة السـودان، ومـن الشـرق محافظـات أسـيوط وقنـا والأقصـر وأسـوان ، وغربًـا الحـدود المصـرية مـع دولة ليبيا.

وتبلـغ مساحة المحافظـة ٤٤٠,١ ألف كم٢، تمثل ٤٣,٦% من جملة مساحة مصر، وتنقسم إداريًا كما موضح بالشكل(١) إلى خمسة مراكز ، هـي : الداخلـة، والفرافرة، وبـاريس، والخارجـة وبـلاط، تضـم ٤٧ وحـدة محليـة قرويـة، و١٤٣ قريـة و٥١ كفـرًا ونجعًـا وعزبـة (الهيئـة العامـة للتخطـيط العمرانـي،٢٠٢٠م، ص٧)، يعد مركـز

الداخلة أكبرها مساحة بنسبة ٥١,٣% من جملة مساحة المحافظة، وأصغرها مساحة مركز بلاط بنسبة ١,٨%



من إعداد الباحثة بالاعتماد خرائط مصر الطبوغرافية مقياس ١:٢٥٠٠٠٠، وبرنامج Google Earth.

شكل (١) الملامح الجغرافية العامة بمحافظة الوادي الجديد عام ٢٠٢١م.

ويقطن بالمحافظة عدد ٢٤١,٢ ألف نسمة، ٣٧,٣% من جملة سكانها يتركزون بمركز الخارجة ، و٣٧,١% في مركز الداخلة ، وهما من أكبر المراكز بالمنطقة في حين يتوسط سكان الفرافرة إلى١٤,٨%، ويقل بمركزي باريس وبلاط بنسب متقاربة بلغت ٥,٦ ، ٥% على التوالي، ويعمل بالمحافظة عدد ٧٤,٨ ألف نسمة تمثل٤٦,٤% من جملة السكان في سن العمل (١٤ سنة فأكثر) بالمحافظة، وعند دراسة التركيب الاقتصادي للأنشطة بمحافظة الوادي الجديد يتضح أن أغلب سكان المحافظة يعملون بالنشاط الزراعي ؛ إذ بلغ عدد المشتغلين بـه١٩,٨ ألف نسمة، تمثل ٢٦,٥% من جملة عدد العاملين بالمنطقة، يليها قطاع التعليم كأحد أهم القطاعات الخدمية بالمحافظة بإجمالى عدد بلغ ١٦,٦ تمثل ٢٢,٢% من جملة العاملين بالمنطقة (الجهاز المركزى للتعبئة العامة والإحصاء،٢٠١٧، صفحات متعددة).

ومع تباعد الوحدات السكنية المأهولة بالسكان بمراكز المحافظة مُدت شبكة نقل؛ لتسهيل الحركه منها واليها، فالمحافظة تضم ثمانية طرق رئيسة بإجمالي طول ٢٤٣٠ كم ، أهمها : طريق الخارجة أسيوط، والخارجة – الداخلة، والداخلة – الفرافرة، والخارجة – شرق العوينات، وطريق الفرافرة – البحرية، كما يمتد بها عدد من الطرق الفرعية ، التى تربط بين المدن والقري بإجمالي طول ٤٥٠كم تمثل ١٨,٥% من جملة شبكة الطرق بالمنطقة. وبالنسبة للنقل الجوي فتضم المنطقة مطارين بالخارجة والداخلة.

وتضم المحافظة عددًا من الموارد المعدنية المهمة منها : الفوسفات واليورانيوم بابي طرطور، والحديد بجبل العوينات ، ومنطقة المعصرة بالداخلة ، والفرافرة ، وجنوب باريس، بالإضافة للشب والحجر الجيري والرخام والجرانيت والطفلة والبازلت والكوارتز والرمال والزلط فى مناطق متفرقة (جهاز شئون البيئة،٢٠٠٨، صص١٢٠-١٢٥).

وتعتمد الأنشطة الاقتصادية بالمحافظة بشكل رئيس على كهرباء الشبكة الموحدة كمصدر للطاقة والمتجهه لها من خلال أربعة خطوط رئيسة جهد ٢٢٠ ك.ف هي خط نجع حمادي – أبو طرطور بطول ٢٨٧ كم،

وتوشكى– شرق العوينات بطول ٣٢٠كم، وشرق العوينات – بلاط بطول ٣٩٠كم، وأبو طرطور – بلاط بطول ١١٠كم، وترتبط تلك الخطوط بخمس محطات محولات ؛ لتخفيض الجهد العالى الى جهد متوسط بإجمالى قدرات بلغت ١٠٥٥م.ف.أ ومنها تتجه شبكة من خطوط الجهد المتوسط لتوزيع الكهرباء على محولات مراكز الخارجة والداخلة وبلاط ، أما مركز الفرافرة وشياخات درب الأربعين جنوب مركز باريس فتمتد بها شبكة كهرباء محلية غير متصلة بالشبكة الموحدة ، وإنما تعتمد على الكهرباء المنتجة من ثلاث محطات ديزل متوطنة بها(شركة مصر الوسطى للكهرباء، ٢٠٢٠). ويعتمد على وقود الديزل كذلك بالمحافظة في تشغيل مولدات ديزل آبار الري غير المتصلة بالشبكة.

ثانيًا - مكونات أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية :

تحمل الأشعة الشمسية المرسلة إلى الأرض طاقة كهرومغناطيسية Electromagnetic Energy ، وتتشكل الطاقة من جزيئات منفصلة تسمى فوتون Photon، التي تبث في الفضاء على هيئة موجات عن طريق الإشعاع الكهرومغناطيسي، ويتم تمييز الموجات بواسطة طول الموجة، والسعة، والتردد، والاتجاه، والسرعة، والاستقطاب وتماسك الإشعاع، ويجب الإشارة هنا إلى أن ٣٥% من الإشعاع الساقط على الأرض ينعكس مرة أخرى إلى الغلاف الجوي، ويمتص الغلاف الجوي ١٧% من الإشعاع، في حين تمتص الأجسام الموجودة على سطح الأرض٤٨% من جملة الطاقة المرسلة من الشمس (محمد أحمد مياس، ٢٠١٣، ص ص٤١-٦٩).

والطاقة التي تحملها الأشعة الشمسية الساقطة على الأرض تُمكن من توليد الكهرباء باستخدام الأنظمة الشمسية الكهروضوئية photovoltaic cell ؛ فالخلايا عبارة عن لوحات داكنة تعتمد على أشباه الموصلات التي تقوم بعمل التأثير الكهروضوئي ، مثل السليكون المتبلور، تمتص الفوتونات الساقطة وتحولها إلى طاقة كهربائية مستمرة(تيار ثابت)، يتم تخزينها في بطاريتها مختلفة السعة بحيث يمكن استخدامها أثناء فترات الليل.

والخلية الشمسية الواحده يمكنها إنتاج ضغط كهربائي واحد فولت تقريبا، وبتوصيل هذه الخلايا على التوازي في مجموعة متتالية ، يتم الحصول على تيار كهربائي مناسب للأغراض المختلفة، كما يمكن لعدد كبير من هذه الخلايا توفير الكهرباء للقرى النائية ، أو رفع المياه لمجموعة من الآبار الجوفية، ولإنتاج ٢٤ك.و/ساعة سنويًا من الخلايا الضوئية تحتاج إلى مساحة ١ متر٢ في حين ينتج من المساحة نفسها ١٠ألاف ك.و/ساعة سنويًا في محطة توليد كهرباء تقليدية، وتتراوح كفاءة التحويل لهذه الخلايا من ١٠ – ٢٠% وفقًا لنوع المادة شبه الموصلة المستخدمة فيها أو طريقة تصنيعها(مها

أحمـد،٢٠١٣، ص٢٨)، وكلمـا كانـت الكفـاءة أعلى كلما صغرت مساحة الوحدة اللازمة لتوليد القدرة نفسها، وقد بدأ استخدام في توليد الكهرباء بمحافظة الوادي الجديد عام ٢٠١٤م، وتتكون أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بمحافظة الوداي الجديد كما موضح بالصورة(١) من ثلاثة مكونات رئيسة ، هي:

صورة (١ – أ) الخلايا الفوتوفولطية

صورة (١ – ا) ثماني بطاريات والانفرتر وعداد الكهرباء

من تصوير الباحثة، بتاريخ ١٥ مارس ٢٠٢١م .

صورة (١) نموذج لأحد المحطات الكهروضوئية بقرية القصر/ مركز الداخلة عام ٢٠٢١م

١- **وحـدات اللوحـات الشمسـية** Solar panels: تسمى بوحدة الخلايا الشمسية أو الخلايا الكهروضوئية ، وهو مصدر الطاقة فـي النظـام، والمولـد الـذى يحـول الطاقـة الإشـعاعية مباشـرة إلـى تيـار كهربـائي مستمر، وتتكون الوحدة الواحدة (Module) من عدة خلايا متصلة ببعضها البعض على التوالي، وقد تتكون الوحدة من صف أو عدة صـفوف متتاليـة مـن الألـواح الشمسـية Array في حالة توليد قدرات كبيرة منها، وتختلف المساحة التي تغطيها حسب القدرة المطلـوب توليـدها ؛ فالمسـاحة المطلوبـة لإنشاء لوحات شمسية بقدرة كيلو وات/ساعة تتراوح بين ٧ – ١٠ متر٢(شركة النصر للطاقة الشمسية).

٢- **البطاريـات** Pattery : وهـى المسؤولة عن تخـزين الطاقـة الكهربائيـة المجمعـة أثنـاء النهـار لاسـتخدامها أوقـات ضـعف التيـار نهارًا وغياب الشمس(مصدر الطاقة) ليلًا ، وترتفـع تكلفـة البطاريـات المركبـة بالنظـام؛ فتخـزين الكيلـو وات الواحـد يتطلـب تركيـب بطاريـة بتكلفـة ٤٠٠٠جنيه (شركة ابتكار ، ٢٠٢١) ؛ لذا تعد جزءًا اختياريًا غالبًا ، لا يـتم تركيبـه فـي الكثيـر مـن الاسـتخدامات ، مثل ضخ المياه من الآبار الجوفية باعتبارها التطبيـق الأكثـر اسـتخدامًا للطاقـة الشمسـية بمحافظـة الـوادي الجديـد ، التـي تتطلـب قدرات عالية، والاكتفاء بالري أثناء ساعات النهـار، فـى حـين تركـب البطاريـات بالمحطات ذات القدرات المنخفضة.

٣- **وحـدة الشـحن** Charge Controller: وتربط البطاريات بوحدات الطاقة الشمسية، ومهمتها الرئيسة هي ضمان الشحن الأمثل

ومنـع الشـحن الزائـد للبطاريـة طـول فتـرات إشعاع الشمس Zarma **(Sambo A,** I.H and Ugwuoke PE, 2012, P12)، كمـا أنهـا تمنـع تصـريف الشـحن للوحدات الشمسية أثناء الليل.

٤- **محـولات التيـار** Inverter: وهـو المسؤول عن تحويل التيار المستمر (DC) المستقبل من وحدات الطاقة الشمسية والبطاريات إلى تيار متردد(AC) مناسب لنوع الاستخدام (Washington State University Extension Energy Program, 2009,p14) ، كما أنها تقلل من تذبذب الجهد.

ثالثًـا -أنـواع انظمـة الطاقـة الشمسـية الكهروضوئية بمحافظة الوادي الجديد :

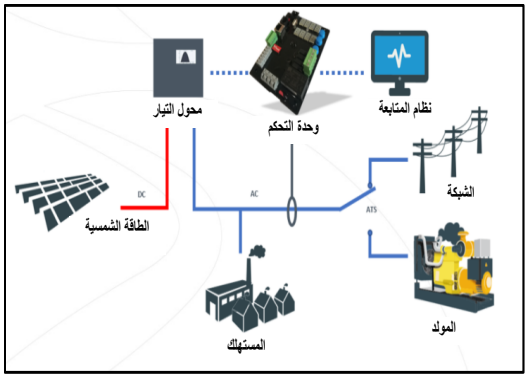
يوجد نظامان لإنتاج الكهرباء من محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية ؛ الأول هو النظام المتصـل بشـبكة الكهربـاءOn-Grid ، والثـاني غيـر المـرتبط بشـبكة الكهربـاء الموحـدة Off-Grid، وكلاهمـا يسـتخدم بمحافظـة الـوادي الجديد.

وكانت وحدات الطاقة الشمسية غير المرتبطة بالشبكة سائدة بالسوق العالمي للوحدات الكهروضوئية حتى منتصف التسعينيات، وازداد انتشار النظم المتصلة بشبكة الكهرباء منذ ذلك الوقت؛ بسبب تطبيق الدول للسياسات التحفيزية لإنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة (International Renewable Energy Agency,2012, P22) ، وبدأ تطبيق تلك السياسة في مصر بدءًا من عام ٢٠١٤م حين بدأت في طرح مناقصات لإنشاء وتملك وتشغيل محطات إنتاج الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة، وبيع الطاقة الكهربائية المنتجة منها للشركة المصرية ؛ لنقل الكهرباء أو لشركات توزيع الكهرباء بموجب عقود شراء الطاقة ، التي يحدد سعر بيع الطاقة به وفقًا للسعر المعلن (تعريفة التغذية) التي تضعه الدولة وتلتزم به مدة عامين من تاريخ التعاقد الممتدة لفترة أقصاها خمسة وعشرين عامًا(الجريدة الرسمية، ٢٠١٤).

وتعمل وحدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصلة بالشبكة On-Grid بنظام قياس صافي القيمة(Net Metering)؛ وهـى سياسة تسمح لعمـلاء الكهربـاء الـذين لـديهم قـدرة توليـد خاصـة بهـم بالحصـول علـى تعويض مـالي عن الطاقـة التـي ينتجونها ويسلموها للشبكة(Ashley J. Lawson, 2019, P1)، ويـتم ربـط وحـدات الطاقـة الشمسـية للمسـتهلكين بمحافظـة الـوادي الجديـد إمـا بالأحمـال الداخليـة للمبـاني ، أو بمحولات توزيـع الجهد المنخفض(الكشك الخاص بالعميـل)، أو بلوحـات توزيـع الجهـد الكهربـي المتوسـط، ويتوقـف ذلـك حسـب قـدرة الوحـدات المركبـة، ولتطبيـق تلـك السياسـة تتصـل أنظمـة الطاقـة الشمسـية الكهروضـوئية بشـبكة الكهربـاء عـن طريـق عـداد مـزدوج ثنـائي الاتجـاه Bidirectional Meter، يتم من خلاله متابعة الفرق بين كمية الكهرباء التي ينتجها المستهلك

من الطاقة الشمسية الكهروضوئية ويضخها إلى الشبكة(الطاقة المصدرة)، وكمية الكهرباء التي تسلمها شركة توزيع الكهرباء إلى المستهلك(الطاقة المستوردة أو المستهلكة) (K. Maharaja, P. Pradeep Balaji, S. Sangeetha, M. Elakkiya, 2016, 991-2) ، وفي النهاية يتم إصدار فاتورة يكون صافي الطاقة للمستهلك بها إما بالموجب في حالة أن كمية الطاقة المصدرة أكبر من المستوردة أو بالسالب في حالة العكس، ومع تطبيق هذا النظام يصبح المشترك منتجًا ومستهلكًا في الوقت نفسه، وتضم منطقة الدراسة ٥٠ محطة متصلة بالشبكة بإجمالي قدرات بلغت ١٥٨٥ ك.و.س.

أما **محطات الطاقة الشمسية غير المرتبطة** بشبكة الكهرباء الموحدة بمنطقة الدراسة فبعضها يركب بدون بطاريات؛ أي تستخدم اللوحات في توليد الكهرباء خلال ساعات النهار فقط، والبعض الآخر تركب به بطاريات خاصة بالمحطات ذات القدرات الصغيرة، وتم التوسع فى استخدام هذا النوع وتم حصر ٣٠١ محطة تعمل بهذا النظام بمحافظة الوادي الجديد.



http://www.elgrispower.com

شكل(٢) مكونات مولدات الطاقة الكهروضوئية بمحطات الهجين

أما المناطق النائية البعيدة عن شبكة الكهرباء الموحدة فتعمل المحطات بها بنظام مولدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية (نظام الهجين أو النظم المدمجة Hybrid systems) والموضح بالشكل(٢) ؛ أي وحدات طاقة شمسية مرتبطة بمحطات توليد ديزل ذات قدرات كبيرة؛ تستخدم بها الطاقة الشمسية بالتوازي مع محركات الديزل لتوليد الطاقة الكهربائية أثناء النهار (٣٠-٤٠% من الأحمال الكلية تأتى من مولدات وقود الديزل و٦٠-٧٠% من محطة الطاقة الشمسية)، وتعتمد على وقود الديزل أثناء ساعات الليل كما موضح بالشكل(١)، وتعمل المحطات بنظام التحكم في توفير الطاقة Fuel Saving Controller (شركة مصر الوسطي، قطاع كهرباء الوادي، قطاع محطات التوليد)، وهى عبارة عن وحدات خاصة للتحكم في كمية الطاقة الكهروضوئية داخل النظام، وتستخدم لخفض التكلفة الإجمالية لاستهلاك الوقود الأحفوري بمحطات مولدات الديزل دون فقدان استقرار الشبكة، وموثوقية وكفاءة التيار

بالإضافة للتقليل من الانبعاثات الملوثة للبيئة (Tinton Dwi Atmaja, Ant Ardath Kristi, etc,2018, pp1-3)، وهى محطات قائمة بذاتها تخدم شبكات المناطق البعيدة ، التي ترتفع تكلفة ربطها بالشبكة القومية ، وبدأ استخدام هذا النوع بمحافظة الوادي الجديد عام ٢٠١٥م من خلال ثلاث محطات وسيتم دراسة كل نوع على حدة بمنطقة الدراسة كما يأتي.

رابعًا -التوزيع الجغرافي لأنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بالوادي الجديد:

يمكن حصر أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية المتصلة بالشبكة بمحافظة الوادي الجديد بسهولة في حين يصعب حصر نظيرتها غير المتصلة بشبكة الكهرباء؛ لأن أغلبها غير حكومي وتركب من قبل الأهالي والمستثمرين دون متابعة من الدولة، الأمر الذى تطلب الرصد الميداني لعدد ٣٠١ محطة غير متصلة بالشبكة ومركبة بمراكز المحافظة، ليصل بذلك اجمالى المحطات بالمحافظة إلى ٣٥٤ محطة شمسية كهروضوئية، ويمكن تصنيف محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية وتوزيعها على مستوى مراكز محافظة الوادي الجديد كما موضح بملحق(١) والشكل (٣) كما يأتي :

١- التوزيع المكاني للمحطات حسب اتصالها بالشبكة الموحدة :

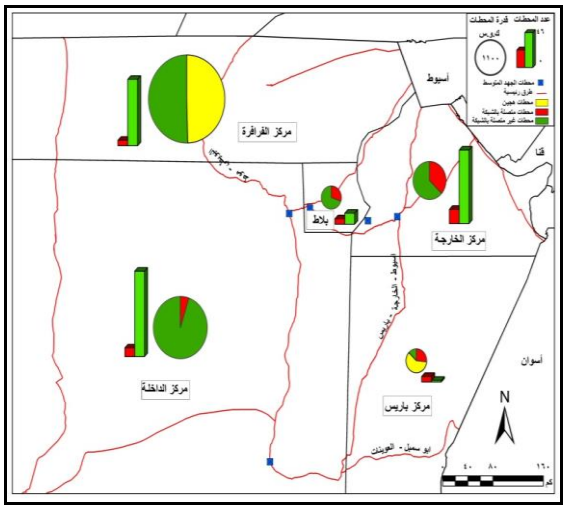
أ- أنظمة متصلة بالشبكة On-Grid :

وتضم ٥٠ محطة كهروضوئية، وتتروح قدراتها بين (٨ – ٢٥٠) ك.وات، بإجمالي قدرات بلغت ١٥٨٥ ك.وات، ٣٣ محطة منها مركبة أعلى مباني الوحدات المحلية بقرى ومدن مراكز محافظة الوادي الجديد، والمحطات المتبقية أغلبها مركب بالمباني الخدمية بالمحافظة ، مثل : مديرية الإسكان ومحطتين لتموين الوقود، وشركة الكهرباء، ومديرية التضامن الاجتماعي(مركز تأهيل ذوي الاحتياجات الخاصة)، ونقابة المهندسين، ومدرسة الخارجة الثانوية بنين، وترتبط المحطات السابقة بالشبكة الموحدة للكهرباء أو بالشبكة المحلية إما عن طريق الأحمال الداخلية للمباني أو بمحول توزيع الجهد المنخفض الخاص بالمشترك (الكشك)، وتعمل بنظام صافى القياس، وتوزع مكانيًا على مراكز المحافظة كما موضح بالشكل(٣) على النحو الآتي:

- ثماني عشرة محطة كهروضوئية تقع بمركز **الخارجة**، بإجمالي قدرات بلغت ٧٧٣ ك.وات، تمثل ٤٨,٨% من جملة قدرات المحطات المتصلة بشبكة الكهرباء بالمحافظة؛ كنتيجة رئيسة لتوطن ديوان عام المحافظة بالمركز ، التي تبلغ قدرة محطة الطاقة الشمسية المركبة به وحدها ٢٥٠ ك.وات، بالإضافة لمحطة الوحدة المحلية لمركز الخارجة بقدرة ١٥٠ك.وات.
- تقع إحدى عشرة محطة بمركز **الداخلة** بإجمالي قدرات بلغت ٢٨٥ ك.وات، تمثل ١٨% من جملة نظيرتها بالمحافظة،

وتشغل بتلك النسبة المرتبة الثانية بعد مركز الخارجة.

- تقع سبع محطات بمركز **بلاط**، ومثلها بمركزي **باريس والفرافرة** بإجمالي قدرات بلغت ٢٣٢، ٢٢٠، و٧٥ ك.وات على التوالي، يمثلان ١٤,٦، و١٣,٩، ٤,٧% من جملة قدرات المحطات الشمسية المربوطة بشبكة المحافظة على الترتيب.



من إعداد الباحثة بالاعتماد على جدول(١) و(٢).

شكل(٣) التوزيع الجغرافي للمحطات الكهروضوئية وقدراتها على مستوى مراكز محافظة الوادي الجديد عام ٢٠٢٠م.

ب- أنظمة غير متصلة بالشبكة Off-Grid : ويوجد منها نوعان بمحافظة الوادي الجديد، هما:

- **أنظمة مولدات الطاقة الشمسية الكهروضوئية**(محطات الهجين) ، وهى المحطات غير المرتبطة بالشبكة الموحدة وإنما ترتبط بالشبكة المحلية للقرى التي تمدها، ويوجد منها ثلاث محطات أنشأت ضمن المنحة الإماراتية ؛ لإنارة القرى المحرومة من الكهرباء عام ٢٠١٥/٢٠١٦، وهى محطة أبو منقار، ومحطة الفرافرة ، ومحطة درب الأربعين، والمحطات الشمسية الثلاث جزء من ثلاث محطات حرارية تعمل بالديزل وبالتوازى معها كما سبق الإشارة، وبقدرات اسمية تبلغ جملتها ٦ ميجاوات، وسيتم التركيز هنا على دراسة المحطات الشمسية الكهروضوئية فقط (مجال تلك الدراسة) وتبين من الدراسة الميدانية للمحطات ودراسة الجدول (١) والشكلين (٣) و(٤) والصورة(٢) عدة حقائق ، هي:

- يتركز بمركز الفرافرة محطتي الفرافرة وأبو منقار بإجمالي قدرة بلغت ٥,٥ ميجاوات/ساعة، التي تمثل ٩١,٧% من جملة قدرات محطات الطاقة الشمسية الهجين بالمحافظة، كما تستحوذ المحطتان على ٩١,٨% من جملة الألواح الفوتوفولطية وجملة محولات التيار inverter المركبة بمحطات الهجين، وتغذي المحطتان عدد ٩٧ محولا جهد ١١/٢٢ك.ف بالمناطق المتوطنة بها، بإجمالي قدرة بلغت ٢٠ م.ف.أ، وأقصى حمل بلغ ٦ م.ف.أ(شركة مصر الوسطى لتوزيع الكهرباء، إدارة الشئون الفنية، ٢٠٢٠م)؛ كنتيجة رئيسة لزيادة عدد المنازل والمحال التجارية ودور العبادة والمصالح الحكومية المستهلكة للكهرباء بمركز الفرافرة

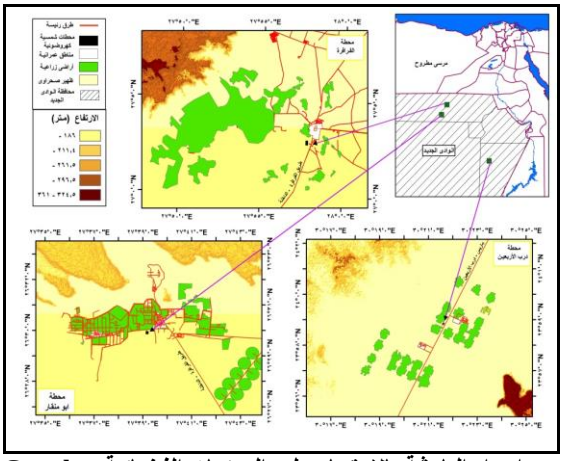
من٧٠٣٢ مشتركًا عام ٢٠١٥م إلي ٨٨٠٧ مشتركًا عام ٢٠١٩م(شركة مصر الوسطى لتوزيـع الكهربـاء، إدارة الشـئون التجاريـة، ٢٠٢٠م)، وبمعـدل تغيـر بلـغ ٢٥,٢%، بالإضـافة لبُعـد قـرى مركـز الفرافـرة عـن الشبكة الموحدة لتوزيع الكهرباء من ناحية أخرى.

- تمتد محطة الفرافرة على مساحة ٩٩,١ ألف متر٢، وتمتد منها شبكة لتوصيل الكهرباء لعدد ٨٣٤٨ منزلًا ومنشأة عامة، أما محطة أبو منقار فتمتد على مساحة ١٢,٨٨ألف متر٢، وتوصل الكهرباء لعدد ٩٥٠ منزلًا ومنشأة بالقرية، التي تبعد مسافة ١٢٠مترًا عن شبكة الكهرباء الموحدة.
- يوجد بمركز باريس محطة شمسية واحدة تعمـــل بنظـــام الهجـــين بقـــدرة ٠,٥ ميجاوات/سـاعة، وتتـوطن جنـوب المركـز لتغذية عزبة الثمانين(٣) و(٤) التابعة لقرية درب الأربعين الثالثة بحاجتها من الكهرباء؛ نظرًا لبعدها عن الشبكة الموحدة مسافة ٨٠ كم، وتبلغ عدد المنشآت المكهربة بها ٤٥٠ منشأة، وبإجمالي تكلفة بلغت ١٠ ملايين جنيه.

جدول(١) مكونات محطات الطاقة الشمسية التي تعمل بنظام الهجين بمحافظة الوادي الجديد عام٢٠٢٠م

اسم المحطة	القدرة الاسمية م.و/ساعة	%	الطاقة التقديرية م.و.س/سنة	عدد الألفقر (قدرة ٧ ك)	%	عدد الألواح الشمسية	
						قدرة ١٣٠ وات	قدرة ١٢٥ وات
الفرافرة	٥	٨٣,٦	٨٧٦٠	٦٥٣	٨٣,٤	١٥٠٠	١٩٨٠٠
ابو منقار	٠,٥	٨,٢	٨٦٤	٦٥	٨,٣	٣٨٤٠	٠
درب الأربعين	٠,٥	٨,٢	٨٦٤	٦٥	٨,٣	٣٨٤٠	٠
الجملة	٦	١٠٠	١٠٤٨٨	٧٨٣	١٠٠	٢٧١٨٠	١٩٨٠٠

مساحة المحطة (ألف متر)٢
٩٩,١
١٢,٨٥
١٢,٨٥
-



من إعداد الباحثة بالاعتماد على المرئيات الفضائية Google Earth pro، والدراسة الميدانية للمحطات باستخدامGPS خلال شهر فبراير٢٠٢١م.

شكل(٤) مواقع محطات الهجين ومواضعها بمحافظة الوادي الجديد عام ٢٠٢١م.

اعتمادًا على الدراسة الميدانية للمحطة بتاريخ ٢٠٢١/٢/٢٢ الساعة الثانية ظهرًا.

لوحة (٢) نموذج لمحطات الهجين بمنطقة درب الأربعين

- زيـادة المسـاحة التـي تشـغلها الخلايـا الفوتوفولطية بالمحطات الثلاث لتتراوح بين ١٢,٨٥ –٩٩,١ الـف متـر ٢؛ أي أن الكيلوات وات الواحد يشغل مساحة تتراوح بـين ٢٠ – ٢٥,٧ متـر ٢؛ كنتيجـة رئيسـة لتناقص قدرات اللوحات المركبة بالمحطات إلـى ١٢٥ و ١٣٠ وات، الأمر الذي ترتب عليه تركيب عدد أكبر من اللوحات لتحقيق القدرات المطلوبة، وتزيد مساحتها بذلك عن محطـات الطاقـة الشمسـية الأخـرى المركبـة بالوادى الجديد ، التـى تتراوح قدرة اللوحـات بهـا بـين ٢٨٠– ٤٣٥ وات عـام ٢٠٢١م، ويشغل الكيلو وات بها متوسط مساحة بلغت ١٠متـر ٢ تقريبًـا ؛ ممـا يقلـل مـن المسـاحة اللازمة لتحقيق قدرة المحطات نفسها بمقدار الضعف.

- بينت الدراسة الميدانية أن عدم توافر السولار أو الديزل ؛ يترتب عليه توقف محطة درب الأربعين الشمسية عن العمل ؛لأنها تعمل بنظـام الهجـين ؛ أي أنـه لابـد مـن توليـد ٣٠% من قدرة المحطة باستخدام مولدات الديزل أولًا بعدها تبدأ المحطة الشمسية في توليد الكهرباء. وبينت أيضًـا أنـه يتم كهربة القريتين (٣) و(٤) علـى فترتين مـن ٩–٣ عصرًا ثم من ٦– ١١مساءً؛ أي أن التيار الكهربي ينقطع تقريبًا مدة ١٢ ساعة يوميًا عن المنطقة التي يغذيها.

- المحطـات الـثلاث مصـممة لتعمـل بنسـبة ٧٠% مـن قـدرتها الاسمية(التصـميمية) بالتوازي مع مولدات الديزل، وهى ما تعادل ٣,٥ م.وات/سـاعة بمحطـة الفرافرة و٠,٣٥ م.وات/سـاعة بمحطتـي أبـي منقـار ودرب الأربعين، الأمـر الـذى ترتـب عليـه تنـاقص القدرات المقدر إنتاجها من المحطات سنويًا إلـى ٨٧٦٠ ميجـاوات بالمحطـة الأولـي، و٨٦٤ ميجاوات لكل من المحطتين الثانية والثالثة.

- **أنظمـــة الطاقـــة الشمســـة الكهروضـــوئية:** وتشمل المحطات الحكومية والخاصة ، التي تستخدم في الأغراض المختلفة، وتتدرج قدراتها ما بين الصغيرة والمتوسطة والكبيرة، والموجود منها بمحافظة الوادي الجديد طبقًا للدراسة الميدانية تتراوح قدراته بين(٠,١٥ – ٦٦٢) ك.وات، وتم حصر **عدد ٣٠١ محطة شمسية كهروضوئية** غير مرتبطة بالشبكة في محافظة الوادي الجديد، ويمكن توزيعها جغرافيًا على مستوى المراكز لقياس مدي التوسع في استخدامها بمحافظة الوادي الجديد من خلال الربط بين الجدول(٢) والملحق(٢) والشكل(٣) كما يأتي:

جدول(٢) توزيع المحطات الكهروضوئية غير المرتبطة بالشبكة الموحدة للكهرباء وعلاقتها ببعض العوامل بمراكز محافظة الوادى الجديد عام ٢٠٢٠م .

المركز	محطات الطاقة الشمسية				محطات الكهرباء ذات الجهد المتوسط		مساحة الأراضي المستصلحة	
	العدد	%	القدرة (ك.و/ساعة)	%	القدرة (م.ف.أ)	%	(الف فدان)	%
الخارجة	٩٣	٣٠,٩	١٣١٢,٧	١٠,٢	٤٤٥	٤٢,٣	٤٢,٣	٩,٨
- الداخلة - شرق العوينات×	١٠٨ ٠	٣٥,٩ ٠	٥٣٠٠,٩ ٠	٤١,٥٢ ٠	١٠٠ ٣٦٠	٩,٥ ٣٤,١	٦٣,٢ ١٧٢,٩	١٤,٦ ٣٩,٩
الفرافرة	٨٤	٢٧,٩	٥٦١٢	٤٣,٦	٠	٠	١٢٨,٥	٢٩,٧
بلاط	١٤	٤,٦	٥٣٥,٦	٤,٢	١٥٠	١٤,٢	١٥,٦	٣,٦
باريس	٢	٠,٧	١٠٧	٠,٨	٠	٠	١٠,٤	٢,٤
الإجمالي	٣٠١	١٠٠	١٢٨٦٨,٢	١٠٠	١٠٥٥	١٠٠	٤٣٢,٩	١٠٠

من اعداد الباحثة بالاعتماد على :-
- الدرسة الميدانية لمحطات الطاقة الشمسية بالمحافظة، خلال عام ٢٠٢١.
- شركات ابتكار والوطنية وسمارت، بيان عن قدرات المحطات المركبة بمحافظة الوادي الجديد، بيانات غير منشورة،٢٠٢١م.
- وزارة الكهرباء، هندسة كهرباء الخارجة، بيان عن قدرات محطات الكهرباء بالوادي الجديد، بيانات غير منشورة، ٢٠٢١م.
- وزارة الزراعة، الادارة الزراعية بالخارجة، بيان عن مساحات الأراضي المستصلحة ونوع الرى بها، بيانات غير منشورة، ٢٠٢١م.

× تم فصل منطقة شرق العوينات لانها من المناطق التى لم تستخدم بعد الطاقة الشمسية.

- يُعد مركز الفرافرة من أكبر المراكز إنتاجًا للكهرباء من المحطات الفوتوفولطية غير المرتبطة بالشبكة ، التي تبلغ ٥,٦ ميجاوات.س، وتمثل ٤٣,٦% من جملة قدرات المحطات بالمحافظة، رغم أن المركز يضم عدد ٨٤ محطة شمسية كهروضوئية فقط، تمثل ٢٧,٩% من جملة عدد المحطات غير المرتبطة بالشبكة وتستخدم جميعًا في الري؛ ويمكن إرجاع ذلك لعدة أسباب رئيسة ، منها : أن مركز الفرافرة من المناطق التى لا تصلها شبكة الكهرباء الموحدة ويعتمد السكان به على الكهرباء المولدة من محطات الديزل ، وهو ما يترتب عليه زيادة تكلفة إنتاج الكيلو وات منها وعدم ربط مولدات طلمبات الري بها، بالإضافة لزيادة مساحة الأراضي المستصلحة بالمركز الى ١٢٨,٥ ألف فدان ٥٢,٣% من جملتها يتم ريها بالغمر الأمر الذى يتطلب معه توفير الطاقة الكهربائية بقدرات عالية لسحب كميات مياه كبيرة من الآبار تتناسب وطبيعة الري السائد بالمركز، زد على ذلك زيادة مساحة الأراضي المخصصة للتوسع في إقامة الأنشطة الاقتصادية المختلفة بالمحافظة إلى ٢١١,٦ ألف فدان، تمثل ٦٠,٦% من جملة نظيرتها بالمحافظة ، وقد ساعدت الأسباب السابقة على الاتجاه نحو استخدام المحطات الفوتوفولطية كبديل للديزل في توليد الطاقة

الكهربائية اللازمة لضخ المياه من الآبار، وبقدرات تتراوح بين(٢٠ – ٦٦٢) ك.و.س تخـــدم الأنشـــطة الزراعيـــة والصـــناعية والسياحية والخدمية وغيرها.

- يأتي مركز الداخلة في المرتبة الثانية من حيث جملة الكهرباء المنتجة من الخلايا الكهروضوئية، فيتركز به عدد ١٠٨ محطة شمسية كهروضوئية تمثل ٣٥,٩% من جملة نظيرتها بالمحافظة، وتبلغ جملة قدراتها الاسمية ٥,٣ ميجاوات/ساعة ، وهي ما تمثل ٤١,٥% من جملة قدرات نظيرتها بالمحافظة ؛ ويمكن إرجاع ذلك إلى توطن ٩٥ بئرًا بها يعملان بالطاقة الشمسية، وساعد على ذلك كبر مساحة الأراضي الزراعية المستصلحة بالمركز إلى ٦٣,٢ ألف فدان منها ٥٦,٢٥ ألف فدان يتم ريها بالغمر ؛ أى أن ٨٩% من جملة الأراضى المستصلحة بالمركز تحتاج إلى ضخ كميات كبيرة من المياه الجوفية تتناسب مع طريقة الري المتبعه، وتخصيص ٥٦ ألف فدان لإقامة مشاريع زراعية وصناعية وغيرها تتطلب قدرات عالية من الكهرباء، زد على ذلك تناقص قدرة محطة محولات كهرباء الداخلة إلى ١٠٠م.ف.أ تمثل ٩,٥% من جملة سعة محطات تحويل الجهد المتوسط بالمحافظة.
- يضم مركز الخارجة عدد ٩٣ محطة شمسية فوتوفولطية، بإجمالى قدرات بلغت ١,٣ميجاوات.أ تمثل ١٣,٨% من جملة نظيرتها بالمحافظة، وتشغل بذلك المرتبة الثالثة؛ ويرجع ذلك إلى أن ٦٦% من جملة المحطات المركبة بها ذات قدرات صغيرة تتراوح بين (٠,١ – ٢١) ك.و.س، زد على ذلك أن أغلب الأنشطة بالمركز تستخدم الكهرباء من الشبكة الموحدة كنتيجة رئيسة لتوطن محطتي محولات الخارجة وأبي طرطور به، وبإجمالي قدرات بلغت ٢٧٥ م.ف.أ، و ١٧٠ م.ف.أ لكل منهما على التوالى، كما تقل المساحات المخصصة لإقامة المشاريع الاستثمارية به إلى ٢٢,٥ فدان تمثل ٦,٤% من جملة المساحات المخصصة بالمحافظة.
- يشغل مركزا بلاط وباريس المرتبتين الرابعة والخامسة من جملة قدرات المحطات الفوتوفولطية بالمحافظة بنسب بلغت ٤,٦% ، و١,١% على الترتيب؛ لتوافر كهرباء الشبكة الموحدة لها ؛ فمركز باريس يعتمد على الكهرباء الممتده له من محطات محولات الخارجة، ومركز بلاط يعتمد على محطة محولات بلاط بقدرة ١٥٠م.و.س، الأمر الذى يسر توصيل أغلب طلمبات الآبار للعمل بها، زد على ذلك تناقص مساحة الأراضي المستصلحة بالمركزين إلى ١٥,٦ ، ١٠,٤% من جملة نظيرتها بالمحافظة لكل منهما على الترتيب.

- يـرتبط زيـادة أو تنـاقص قـدرات المحطـات الفوتوفولطية بمراكز محافظة الوادي الجديد بزيـادة أو تنـاقص كـل مـن قـدرات محطـات محـولات الكهربـاء المتصـلة بالشـبكة مـن ناحيـــة، ومســـاحة الأراضـــي الزراعيـــة المستصـــلحة علـــى اعتبـــار أنـــه النشـــاط الاقتصـــادى الســـائد بالمحافظـــة ، وكـــذلك المسـاحات المتعاقـد عليهـا لإقامـة مشـاريع استثماريه من ناحية أخرى، ومـا يؤكد ذلك أن قيمـة معامـل الارتبـاط التـي قيسـت بـين المتغيرات السابقة بلغت ٠,٦ ، ٠,٩٩ على التوالي.

٢- التوزيع حسب غرض الاستخدام Photovoltaic cell Applications:

تســـتخدم وحـــدات الطاقـــة الشمســـية الكهروضـوئية فـي عدة تطبيقات ، مثل : ضـخ الميـــاه ، و الإضـــاءة، ومجـــال الاتصـــالات (كالأقمـــار الصـــناعية والهواتـــف المعزولـــة واتصالات القطارات)، وإضاءة الشوارع، وإشارات المـرور والإنـذار، وثلاجـات اللقـاح والأمصـال، وتغذيـة شـبكة الكهربـاء العامـة.. الـخ، وفـي محافظة الوادي الجديد لازال استخدامها محدود، و يمكن حصرها فيما يأتي:

أ- محطـات خاصـة بضـخ الميـاه Water Pumping :

تعد الميـاه الجوفيـة المصـدر الـرئيس للميـاه بـالوادي الجديـد، التـي يعتمـد عليهـا فـي كافـة الأنشطة الاقتصادية بالمحافظة من ري الأراضي الزراعية، والشرب، والأغراض الصناعية ..الـخ، ويعـد الحجـر الرملـي النـوبي المكـون الرئيسـي للخزان الجوفي بالمنطقة، وتبلـغ مساحة الخـزان الجوفي ٢مليون كم٢(Ministry of water Resources and Irrigation,2005, p12).

ولأن الميـاه الجوفيـة هـي المصـدر الوحيـد بالمحافظة فإن اقتصاد الواحات قائم على المياه قبل الأرض، وعقود الملكية وبيع الزراعات هي عقود مياه لا أرض، ويتم استغلال المياه الجوفية عبر حفر الآبار على أعماق مختلفة حسب بعد الخزان عن السطح.

وتبلـغ جملـة عدد الآبار المحفورة بالمحافظـة ٧١٧٧ بئـرًا عـام ٢٠٢٠م ، ويـتم ضـخ الميـاه باسـتخدام الطاقـة الكهربائيـة مـن ٥٩٦١ بئـرًا ، والتـى تقـع بالمنـاطق المتصـلة بالشبكة الموحدة، فـى حين تستخدام محركـات الـديزل التـي تعتمـد علـى حـرق السـولار الـلازم لتـدوير المضـخات المائيـة(طلمبات) بعـدد ٨٨٩ بئـرًا، وتُضـخ الميـاه ذاتيًا من ٥١ بئرًا. وكلما زاد عمق المياه بالآبار وزادت المسـاحة المستصـلحة كلمـا زادت قـدرات المحركـات الكهربائيـة المستخدمة، وكـذلك كميـة الكهربـاء أو السـولار اللازمـة لتشـغيلها، ومـع ارتفـاع أسـعار السـولار والكهربـاء أصـبحت تكلفـة إنتاج المتر مكعب من المياه مرتفعًا، الأمر الذي أدى إلـى توجـه بعـض المـزارعين والمسـتثمرين لاسـتخدام الطاقـة الشمسـية كبـديل للمصـادر التقليديـة فـي ضـخ الميـاه مـن الآبـار الجوفيـة خاصـة بالمنـاطق البعيـدة عـن الشـبكة الموحـدة

للكهربـاء، وتبلـغ جملـة الآبـار المحولـة للعمـل بالطاقـة الشمسـية ٢٧٩ بئـرًا، تمثـل ٣,٩% مـن جملة الآبار المحفورة بالمحافظة، وكل المحطات الشمسـية التـي تضـخ الميـاه مـن الآبـار غيـر متصلة بالشبكة الموحدة للكهرباء، وتعمل خلال سـاعات النهـار فقـط؛ نتيجـة لتكلفـة البطاريـات المرتفعـة، وعنـد دراسـة الجـدول(٣) والشـكل (٥) يمكن استنتاج الحقائق التالية:

جدول(٣) توزيع الآبار التي تعمل بالطاقة الشمسية بمراكز الوادى الجديد عام ٢٠٢٠م

المركز	الآبار المحفورة (بئرًا)	الأبار التى تعمل بالطاقة الشمسية			قدرة المحطات ك.و.س	% من جملة قدرة المحطات
		(بئرًا)	% من جملة الابار الشمسية	% من جملة الآبار المحفورة بالمركز		
الخارجة	١٤٦٥	٨٠	٢٨,٧	٥,٥	١٣٠٧	١٠,٢
الداخلة	٣٧٥٩	٩٧	٣٤,٨	٢,٦	٥٢٨٧.٣	٤١,١
الفرافرة	٣٦٩	٨٦	٣٠,٨	٢٣,٣	٥٦١٢	٤٣,٧
باريس	١٩١	٢	٠,٧	١	١٠٧	٠,٨
بلاط	١٣٩٣	١٤	٥	١	٥٣٥.٦	٤,٢
جملة	٧١٧٧	٢٧٩	١٠٠	٣,٩	١٢٨٤٨.٩	١٠٠

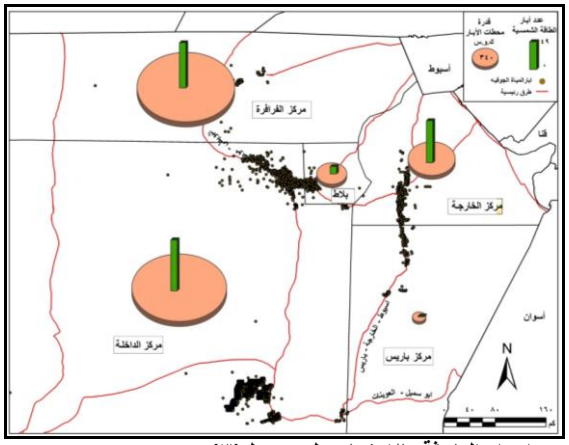
من اعداد الباحثة بالاعتماد على المسح الميداني، ومديرية الري بالوادي الجديد، بيان عن مواقع الأبار الجوفية وانتاجها من المياه وطريقة الانتاج المتبعة.

من تصوير الباحثة، ٧ مارس٢٠٢١، الساعة الثانية ظهرًا.
محطة طاقة شمسية بتشاسيه متحرك بقدرة ٤٠ كيلو وات بقرية الراشدة/مركز الداخلة

من تصوير الباحثة، ٧ مارس٢٠٢١، الساعة ١٢ظهرًا.
محطة طاقة شمسية بقدرة ٢٠ كيلو وات بقرية القصر/ مركز الداخلة

من تصوير الباحثة، ١٥ مارس٢٠٢١، الساعة ١٢ظهرًا.
محطة طاقة شمسية بقدرة ٥٠ كيلو وات بقرية الخرطوم/ مركز الخارجة

صورة (٣) نماذج لمحطات الطاقة الشمسية المستخدمة فى ضخ المياه من الآبار بمحافظة الوادي الجديد ٢٠٢١.



من إعداد الباحثة بالاعتماد على جدول(٣).

شكل(٥) توزيع قدرات آبار المياه الجوفية التى تعمل بالطاقة الشمسية بمراكز الوادى الجديد عام ٢٠٢٠م.

يتركز ٣٠,٨% من جملة عدد الآبار التي تعمل بالطاقة الشمسية في مركز الفرافرة بإجمالي قدرات بلغت ٥,٦ ميجاوات.ساعة، تمثل ٤٣,٧% من جملة قدرات محطات الآبار الشمسية بمحافظة الوادي الجديد، وتشغل بتلك النسبة المرتبة الأولى مقارنة بباقي مراكز المحافظة؛ ويمكن إرجاع التوسع في استخدامها في تشغيل طلمبات الري بالمركز إلى زيادة مساحة الأراضي التي يرويها البئر الواحد بين(٣٥ – ٣٨٠٠) فدانًا، كما تزيد المياه المنصرفة منه إلي (٠,٥ – ٤) ألف متر٣/يوم، زد على ذلك ارتفاع تكلفة إنتاج المياه من الآبار باستخدام مولدات الديزل المصدر الرئيس لتوليد الطاقة الكهربائية بالفرافرة كما سبقت الإشارة، وللأسباب السابقة تم تحويل عدد ١٢ بئرًا حكوميًا للعمل بالطاقة الشمسية بقرى الشيخ مرزوق وحطية الشيخ مرزوق وتركيب عدد ٧٤ محطة فوتوفولطية لإنتاج المياه من الآبار الاستثمارية بالأراضي الصحراوية المخصصة للاستصلاح الزراعي أغلبها تقع بقرى الكفاح وأبي منقار وسهل البركة وأبي هريرة واللواء صبيح.

يأتي مركز الداخلة في المرتبة الثانية من حيث جملة قدرات المحطات الفوتوفولطية المستخدمة لإنتاج المياه من الآبار بإجمالي قدرات بلغت ٥,٣ ميجاوات.ساعة، تمثل ٤١,١% من جملة نظيرتها بالمحافظة؛ ويمكن إرجاع ذلك إلى تحويل عدد ٥٩ بئرًا حكوميًا للعمل بالطاقة الشمسية بدلًا من الديزل بقرى المعصرة والقلمون والراشدة وبدخلو وعزب القصر وموط، بالإضافة لتشغيل طلمبات ضخ المياه بعدد ٣٨ بئرًا خاصًا لتعمل بالطاقة الشمسية بمركز الداخلة، أما قدرات المحطات بالمركز فتتراوح بين (٢٠ –٧٧) ك.و.س، وقد ساعد نظام الري السائد بالمركز وهو الغمر على التوسع في استخدام الطاقة الشمسية كما سبقت الإشارة ؛ لأنه يترتب عليه زيادة كمية المياه المصرح بإنتاجها من الآبار لتتراوح بين (٠,٧ – ١٥) ألف متر٣/يوم، بالإضافة لاتساع الرقعة الزراعية التي تخدمها تلك الآبار لتتراوح بين (١٠٠ – ١٠٠٠) فدانًا(إدارة ري الداخلة، ٢٠٢٠). ويتضح كذلك أن نسبة الآبار التي تعمل بالطاقة الشمسية تقل بالنسبة لجملة الآبار المحفورة بالمركز إلى ٢,٥%؛ كنتيجة رئيسة ؛ لوجود ٢٤٠١ بئرًا بمنطقة شرق العوينات جنوب الداخلة لم يعمل أيًا منها بالطاقة الشمسية بعد؛ نتيجة لتوفير الكهرباء لها من أبي سمبل عبر ثلاث محطات محولات بإجمالي قدرة بلغت ٢٣٠م.ف.أ، تمثل ٦٣,٩% من جملة السعة الفعلية للمحطات الثلاث والتى تبلغ(٣٦٠م.ف.أ).

رغم أن عدد الآبار التي تعمل بالطاقة الشمسية تبلغ ٨٠ بئرًا بمركز الخارجة بما يمثل ٢٨,٧% من جملة نظيرتها بالمحافظة، إلا أن جملة قدراتها تقل إلى ١,٣ ميجاوات.س ؛ أى ما يمثل ١٠,٢% من جملة قدرات محطات الآبار

بالمنطقـة؛ ويمكـن إرجـاع ذلـك إلـى تنـاقص المساحة التي تخدمها ، وسطحية الآبار المحفورة بهـا ؛ الأمـر الـذي ترتـب عليـه تنـاقص قـدرات المحطات، وما يؤكد ذلك هو أن ٤٩ محطة بها تقل قدراتها عن المتوسط العام لقدرات المحطات بمركز الخارجة وتتراوح بين (٢ – ١٦)ك.و.س ؛ اي مـا يعـادل ثلثـي المحطـات، فـى حـين تبلـغ عـدد المحطـات التـي تكـاد تتقـارب قـدراتها مـع المتوسط العام إلى قدرات ٢١ محطة، بينما تزيد قدرات عشر محطات فقط عن المتوسط العام ؛ إذ تتـراوح قـدراتها بـين(٣٠ – ١٠٠)ك.و.س، وهـى تتبـع لمستثمرين بقرى الخرطوم ، والمنيرة، والثورة، والقطارة وبورسعيد.

ب- الإضاءة وتشغيل الأجهزة الكهربائية :

وتشـمل علـى إضـاءة المبـاني المخصصـة للسكن والتجارة ومباني الخدمات، وقد وضـعت الوكالـة الدوليـة للطاقـة المتجـددة IRENA تصـنيف لأنظمـة الطاقـة الكهروضـوئية المتصـلة بالشبكة القومية للكهرباء حسب القدرة والاستخدام النهائي لها إلى أربعة أنواع رئيسة ، هي أنظمة خاصـة بالمبـاني السكنية Residential PV systems لا تتعدى قدراتها ٢٠ك.وات، وأنظمة خاصـة بالمبـاني الكبيـرة Large-scale building PV systems التي لا تزيد قدراتها عـن ١ ميجـاوات، وأنظمـة تطبيقـات المرافـق Utility-scale PV systems التـي تزيـد قدراتها عن ١ ميجاوات، والأنظمة غير المتصلة بالشـبكة Off-grid applications (IRENA, 2012,P22) ، ويمكن تطبيق هذا التصـنيف علـى أنظمـة الطاقـة الشمسـية الكهروضـوئية المتصـلة بالشبكة وغيـر المتصـلة بمنطقة الدراسة كالتالي:

- **الأنظمة المتصلة بشبكة الكهرباء :**

- **أنظمـة اللوحـات السكنية أقل من ٢٠ك.و:** وهـي غالبًـا مـا تثبـت علـى أسـطح المبـاني الصغيرة، وتضم محافظة الوادي الجديد منها ١٤ محطـة، تتـراوح قـدراتها بـين(٥ – ١٥) ك.وات، **تقـع سـت محطـات منهـا بمركـز الفرافـرة**، مركبـة بالوحـدات المحليـة بـالقرى التابعة لها ، وهى: النهضة، واللواء صبيح، وأبـو هريـرة، والكفـاح، والخيـر والنمـاء ، بالإضـافة للوحـدة المحليـة لمدينـة الفرافـرة، وبإجمالي قدرات بلغت ٤٥ك.وات، **كما تقع ثلاث محطات بمركز بلاط**، مركبة بالوحدات المحليـة لقـري تنيدة(بقـدرة ١١,٥ ك.وات)، وبشـندى(بقدرة ٩ ك.وات)، ومدينـة بـلاط (١٢ك.وات)، **وثـلاث محطـات بمركـز الخارجـة** ؛ الأولـي مركبـة بمدرسـة الثانويـة بنـين بقـدرة (٨ك.وات) كمـا موضـح بالصـورة(٤)، ومبنـى نقابـة المهندسين(١٠ك.وات)، ومبنى محطة وقود التعاون(١٥ك.وات)، ويوجد محطتان **بمركز الداخلـة** واحدة مركبة بمبنى محطة وقود التعـاون بقـدرة ١٥ ك.وات، ومحطـة بقـدرة ١٠ ك.وات بقريـة ديـزرت لـودج السـياحية بمدينـة القصـر، ويبلـغ إجمـالي قـدرات

محطـــات الطاقـــة الشمســـية بتلـــك الفئـــة ١٤٥,٥ك.وات، تمثـل ٩,٢% مـن جملـة الأنظمـة المتصـلة بالشـبكة ، التـي تعمـل بنظام صافي القياس.

من تصوير الباحثة، بتاريخ ١٤ ابريل ٢٠٢١م.

صورة (٤) محطة مدرسة الثانوية بنين بالخارجة

- **أنظمـــة اللوحـــات الخاصـــة بالمبـــاني الكبيـرة(٢٠ – ١ميجـاوات):** وتشـمل علـى المباني الخدمية ذات القدرات العالية، وتضم ٣٦ محطـة تتـراوح قـدراتها بـين (٢٠ – ٢٥٠) ك.وات، وبإجمـالي قـدرات بلغـت ١٤٣٩,٥ك.وات، تمثل ٩٠,٨% من جملة قدرات محطات الطاقة الشمسية المرتبطة بالشبكة، وتوزع كالتالي:

من تصوير الباحثة، بتاريخ ١٢ إبريل ٢٠٢١م.

صورة (٥) محطة حديقة ٣٠ يونيو بمدينة الخارجة عام ٢٠٢١م

من تصوير الباحثة، بتاريخ ١٢ إبريل ٢٠٢١م.

صورة (٦) محطة الطاقة الشمسية بديوان عام المحافظة موزعة أعلى المبنى ومظلات انتظار السيارات بها بمدينة الخارجة عام ٢٠٢١م

تقع خمس عشرة محطة بمركز الخارجة ؛ عشـر محطـات منهـا تغـذي مبـاني الوحـدات المحليـة لقـرى المنيـرة، والشـركة، وبورسـعيد، وبـولاق، وشـرق بـولاق، والثـورة، وصـنعاء، وفلسطين بقدرة ٢٠ ك.وات لكل منها، بالإضافة للمحطـة المركبـة أعلـى مبنـي مديريـة الإسكان، ومبنـى شركة الكهربـاء بالقدرات نفسـها السـابقة، وتزيـد قـدرات المحطـات لأكثـر مـن ذلـك بمبنـى مركز تأهيل ذوى الاحتياجات الخاصة، وحديقة ٣٠ يونيو موضحة بالصورة(٥)، والوحدة المحلية

بمدينة الخارجة، وديوان عام المحافظة موضحة بالصورة(٦) إلى (٣٠، ٥٠، ٦٠، ١٥٠، ٢٥٠) ك.وات على التوالي، ويستحوذ مركز الخارجة بذلك على ٧٤٠ك.وات، تمثل ٥١,٤% من جملة قدرات محطات تلك الفئة.

تتوزع سبع محطات بقدرة ٢٠ ك.وات للمحطة بمركز الداخلة، ومركبة بمباني الوحدات المحلية لقرى المعصرة، والجديدة، والقصر، والراشدة، وبدخلو، ووحدتي الوحدة المحلية لمدينة الداخلة ومرفق بالصورة (٧) أحد النماذج لها، بالإضافة لمحطة مبنى الإدارة العامة للمياه الجوفية بقدرة ٣٠ك.وات، ومباني مزرعة نخيل الشيخ يونس بقدرة ٩٠ك.وات، وتبلغ جملة المحطات المتوسطة المركبة بمركز الداخلة تسع محطات، بإجمالي قدرات ٢٦٠ك.وات، تمثل ١٨,١% من جملة قدرات تلك الفئة، وتشغل بذلك المرتبة الثانية.

من تصوير الباحثة، يوم ٧ مارس، الساعة الواحدة والنصف ظهرًا.

صورة (٧) محطة الطاقة الشمسية بالوحدة المحلية لقرية القصر عام ٢٠٢١م.

يأتي مركز باريس في المرتبة الثالثة بإجمالي قدرات بلغت ٢٢٠ك.وات، تمثل ١٥,٣%، وهي جملة قدرات سبع محطات تمد مباني الوحدات المحلية بقرى جورمشين، وعدن، والماكس، وجدة، والأربعين، وبغداد، ومدينة باريس، يليها في المرتبة الرابعة مركز بلاط بنسبة ١٣,٨%؛ لتناقص عدد المحطات المركبة بها إلى أربعة أكبرها محطة الوحدة المحلية بمدينة بلاط وقدراتها ٨٥ك.وات، وأصغرها محطة الوحدة المحلية لقرية ذخيرة بقدرة ٢٤ ك.وات، أما مركز الفرافرة فيشغل المرتبة الأخيرة بنسبة ١,٤%؛ نتيجة لوجود محطة واحدة مرتبطة بالشبكة به ، وهى محطة الوحدة المحلية لقرية أبي منقار بقدرة ٢٠ك.وات.

- **الأنظمة غير المتصلة بشبكة الكهرباء :**

وتضم ٢٤ محطة ذات قدرات صغيرة تتراوح بين (٠,١ – ٢,٧٥) ك.و.س، وتستخدم في إضاءة الوحدات السكنية وعنابر الدواجن البعيدة عن الشبكة ومد أجهزتها الكهربائية المختلفة كالثلاجات والتلفزيونات والتكييفات والمراوح بالكهرباء، و وتتوزع مكانيًا على مركزين، **الأول** : مركز الداخلة ويوجد به ١١ محطة بإجمالي قدرات بلغت ١٣,٦ ك.و.س، تمثل٧٠,٥% من جملة قدرات محطات الإضاءة غير المرتبطة بالشبكة الموحدة بالمحافظة . **والثاني** : مركز الخارجة، ويضم عدد ١٣ بإجمالي قدرات بلغت ٥,٧ ك.و.س.

خامسًا - إنتاج الكهرباء من محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية :

يتم إنتاج الكهرباء من محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية بالمحافظة من ثلاث محطات هجين تتبع للقطاع الحكومي ومرتبطة بالشبكة المحلية للقرى التي تمدها، بالإضافة لعدد كبير من المحطات الكهروضوئية التي تخدم القطاع السكني والزراعي حُصر منها ٣٥٧ محطة ٨٦% منها غير مرتبط بالشبكة الموحدة ؛ أي أن ما يتم إنتاجه لا يتم تسجيله ، الأمر الذى يصعب معه تحديد الكمية الفعلية للكهرباء المنتجة من تلك المحطات وقياس مدي كفاءتها؛ لذا سيركز هذا العنصر على تطور دراسة إنتاج الكهرباء الفعلية والمرسلة من المحطات الشمسية الهجين بالمنطقة منذ أن بدأ الإنتاج منها وحتى عام ٢٠٢٠م كنموذج، بالإضافة لتتبع الإنتاج الشهري لها خلال المدة نفسها ؛ لتحديد أهم العوامل التي تؤثر على الإنتاج منها بمنطقة الدراسة.

١- التطور السنوي لإنتاج الكهرباء من المحطات خلال المدة ٢٠١٥-٢٠٢٠

بلغت كمية الكهرباء المولدة بمحطات الطاقة الشمسية الهجين الثلاث خلال المدة من (٢٠١٥-٢٠٢٠) ٣٠,١ مليون كيلو وات. ساعة، بمتوسط بلغ ٥٠١٦,٨ م. وات/سنة، وانحراف معياري بلغ ٢١٣١,٦ م.وات فى حين بلغت قيمة معامل الاختلاف ٤٢,٥%، وهو ما يدل على التشتت المتوسط للقيم ؛ أي تكاد تتقارب الكميات المنتجة من الكهرباء سنويًا، وهي من أهم النتائج التي رصدت عند تحليل الجدول(٤) والشكل(٦)، ومن الاستنتاجات الأخرى التى تم التوصل ما يأتي:

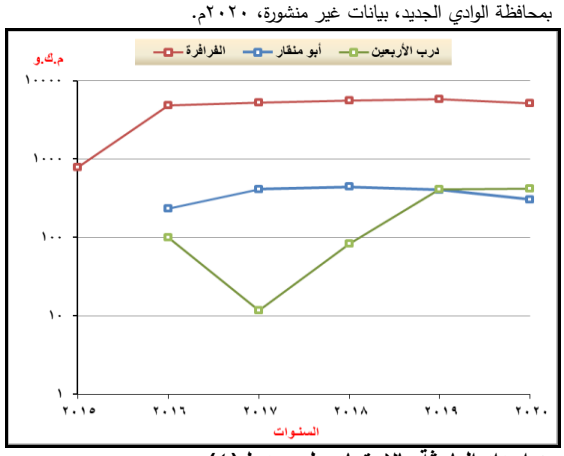
- تستحوذ محطة الفرافرة على ٩٠,٦% من جملة الكهرباء المنتجة من محطات الهجين فى حين تقل نظيرتها بمحطتي أبي منقار ودرب الأربعين إلى (٦ ، ٣,٤)% على التوالي، كما يتبين أيضًا أن محطة درب الأربعين أنتجت نحو نصف الكمية التى أنتجتها محطة أبو منقار خلال المدة نفسها رغم أن قدرتهما متساوية (٠,٥ ميجاوات)؛ ويرجع ذلك لعدة أسباب، منها : تناقص عدد سكان قرية درب الأربعين الى ٣٠٦ نسمة مقابل ١٥٣٩ نسمة بقرية أبي منقار، بالإضافة لتركز ٩٤% من جملة العاملين بالنشاط الزراعي بالقرية الأولي، في حين يتنوع النشاط الاقتصادي فى قرية أبي منقار بين الزراعي الذي يستحوذ على ٦٤% من جملة العاملين بالقرية، والأنشطة الخدمية كالتعليم والصحة ، التي يتركز بها ٢٤% من جملة العاملين، زد على ذلك أن المحطة تعمل بنظام الهجين ؛ أي تعمل بالتوازي مع مولدات الديزل ومع ارتفاع أسعار السولار وتكلفة نقله المرتفعة لقرية درب الأربعين الرابعة ؛ إذ تبعد القرية ٢٢كم عن أقرب محطة وقود لها (محطة وقود على الكيلو ٧٠ على طريق باريس- درب

الاربعين) – غالبًا ما تعمل المحطة فترة صباحية من ٩ – ٣عصرًا وتتوقف خلال الساعات المتبقية من النهار، لتوفير الطاقة وتقليل التكلفة.

جدول(٤) تطور إنتاج الكهرباء من الخلايا الفوتوفولطية بمحطات الهجين خلال المدة من(٢٠١٥-٢٠٢٠) بمحافظة الوادي الجديد.

السنة / المحطة	كمية الكهرباء المنتجة (مليون وات.س)				كمية الكهرباء المرسلة (مليون وات.س)			
	الفرافرة	أبو منقار	درب الأربعين	الجملة	معدل التغير %	الفرافرة	أبو منقار	درب الأربعين	الجملة	معدل التغير %
٢٠١٥	٧٨٩	٠	٠	٧٨٩	-	٧٨٤	٠	٠	٧٨٤	-
٢٠١٦	٤٧٩٠	٢٣٢,٤	٩٩	٥١٢١,٤	٥٤٩	٤٧٤٨,٥	٢٣٠,٨	٩٨,٣	٥٠٧٧,٦	٥٤٧,٦
٢٠١٧	٥١٩٦	٤١١	١١,٧	٥٦١٨,٧	٩,٧	٥١٦٤	٤٠٠,٥	١١,٢	٥٥٧٥,٧	٩,٨
٢٠١٨	٥٥٢٩	٤٤٢,٧	٨٣,٣	٦٠٥٥	٧,٨	٥٤٩٧,٥	٤٣٠,٨	٨١,٧	٦٠١٠	٧,٨
٢٠١٩	٥٨٤٠,٤	٤٠٣,٢	٤٠٨,٥	٦٦٥٢,١	٩,٩	٥٨٠٩,٨	٣٩٣,٢	٤٠٧,٤	٦٦٠١,٤	١٠
٢٠٢٠	٥١٣٩,٢	٣٠٢,٧	٤٢١,٨	٥٨٦٤,٧	-١١,٨	٥١١٠,٤	٢٩٦,٩	٤٢١,٦	٥٨٢٨,٩	-١١,٨

من إعداد الباحثة بالاعتماد على شركة مصر الوسطى لتوزيع الكهرباء، قطاع كهرباء الوادي الجديد، قطاع محطات التوليد، بيان عن اداء المحطات الشمسية بمحافظة الوادي الجديد، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٠م.



من إعداد الباحثة بالاعتماد على جدول(٤)

شكل(٦) تطور إنتاج الكهرباء السنوي من الخلايا الفوتوفولطية بمحطات الهجين خلال المدة من(٢٠١٥-٢٠٢٠) بمحافظة الوادي الجديد.

- تناقص إنتاج الكهرباء عام ٢٠١٥ من المحطات الي ٧٨٩ م.وات؛ كنتيجة رئيسة لبدء العمل من محطة أبي منقار في حين بدء العمل بالمحطتين الأخريين منتصف عام ٢٠١٦.
- تطور إنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية المركبة بمحطات الهجين الثلاث تدريجيًا نحو الزيادة خلال مدة الدراسة بشكل عام، ولا يشذ عن القاعدة إلا محطة درب الأربعين ، التي تناقص إنتاجها عام ٢٠١٧ الى ١١,٧ م.و.س بعدما بلغ عام ٢٠١٦ الي ٩٩ م.و.س بمعدل تغير بلغ – ٨٨,١% ثم عاود إنتاجها في الزيادة التدريجية خلال السنوات التالية؛ نتيجة توقف المحطة عن العمل مدة عشرة شهور (من مارس وحتي ديسمبر) عام ٢٠١٧.
- تفاوت الفقد الكهربائى الناتج عن الفرق بين الكميات المنتجة من المحطات الشمسية والمرسلة لشبكات القرى المحلية المجاورة لها خلال المدة من(٢٠١٥ – ٢٠٢٠م) ؛ إذ بلغ أدناه ٥ م.و.س عام ٢٠١٥ فى حين بلغ أقصاه ٤٥ م.و.س عام ٢٠١٨م، ويزيد الفقد ويقل تبعًا لزيادة وتناقص مؤشرات الإنتاج ؛ إذ بلغت قيمة معامل الارتباط بينهما (٠,٩٥ %) عند مستوى دلالة ٠,٠٥، وهي الكميات التى تُستهلك في خدمة المحطات.

التطـور الشـهري لإنتـاج كهربـاء محطـات الطاقـة الشمسية :

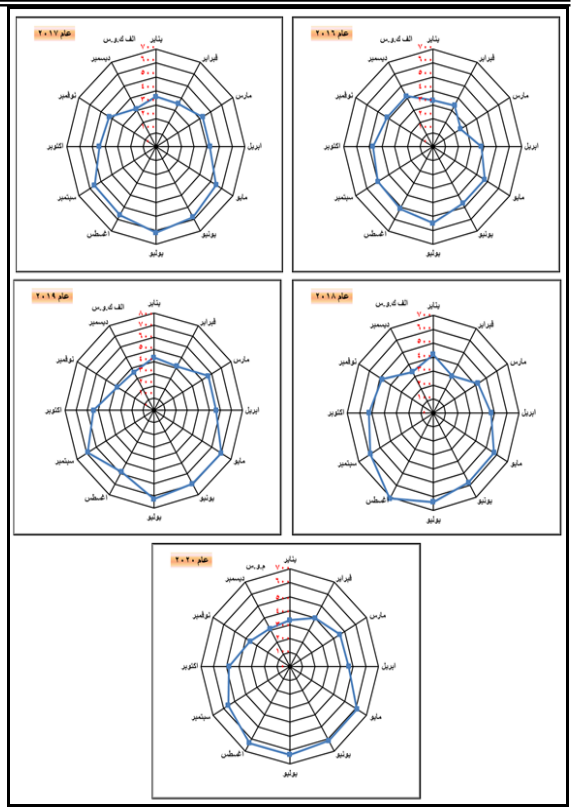
تساعد دراسة التوزيع الشهرى لكميات الكهرباء المنتجة على فهم رصد أهم العوامل التى قد تؤثر علـى الكميـات المنتجـة مـن الخلايـا الشمسـية الكهروضـوئية ، وعنـد تحليـل الجـدول (٥) والشكل(٧) تبين عدة حقائق تتمثل فيما يأتي:

جدول(٥) المتوسط الشهرى لكمية الكهرباء المنتجة من محطات الهجين خلال المدة من(٢٠١٥ – ٢٠٢٠) .

الفصل	الشهر	كمية الكهرباء المنتجة م.و/ساعة	%
شتاء	ديسمبر	٢٠٧٦,٦	٦,٩
	يناير	١٨٧٣,٣	٦,٢٢
	فبراير	١٨١٧,٨	٦
ربيع	مارس	٢١٢٠,٦	٧
	ابريل	٢٣٠٥,٢	٧,٧
	مايو	٢٩٠٤,٥	٩,٧
صيف	يونيو	٢٩٤٣,٢	٩,٨
	يوليو	٣١٦٩	١٠,٥
	اغسطس	٣٠٠٧	١٠
خريف	سبتمبر	٢٨٩٦	٩,٦٢
	اكتوبر	٢٦٠٠	٨,٦٣
	نوفمبر	٢٣٨٧,٥	٧,٩٣
الجملة		٣٠١٠٠,٧	١٠٠

من إعداد الباحثة بالاعتماد على شركة مصر الوسطى لتوزيع الكهرباء، مصدر سابق

- بلـغ المتوسـط الشـهري لكميـة الكهربـاء المنتجـة مـن الخلايـا الشمسـية الكهروضـوئية ٢٥٠٨,٤مليـون.و.س خـلال المـدة مـن (٢٠١٥-٢٠٢٠)، وانحـراف معيـاري بلـغ ٤٧٣,١ م.و.س لتبلـغ بـذلك قيمـة معامـل الاختـلاف إلـى ١٨,٩%، ويعد ذلك مؤشرا على التشتت البسـيط بـين الكميـات المنتجـة شـهريًا بسنوات الدراسة.
- تعد الخلايا الشمسية أقل إنتاجًا للكهرباء خـلال فصـل الشـتاء مقارنـة بالفصـول الأخـرى ؛ إذ بلـغ جملـة كميـة الكهربـاء المنتجـة بـه ٥٧٦٧,٨م.و.س تمثـل ١٩,٢% من جملة الكمية المنتجة خلال مـدة الدراسـة، وبمتوسـط ١٩٢٢,٦م.و.س/شـهريًا، وتتنـاقص كميـات الكهربـاء المنتجـة بالفصـل بـدءًا مـن شـهر ديسـمبر(أدني شـهور السـنة إنتاجًـا) وحتـى شـهر فبرايـر تـدريجيًا وبنسـب متقاربـة، ويعنـى ذلـك أن شـهر فبراير هو أدني شهور السنة انتاجية.
- ترتفع كفاءة عمل الخلايا الشمسية خلال فصـل الصـيف، ومـا يؤكـد ذلـك ارتفـاع كميـة الكهربـاء المنتجـة منهـا صـيفًا إلـى ٩١١٩,٣ م.و.س، بنسـبة بلغـت ٣٠,٣% مـن جملـة نظيرتهـا بالمنطقـة، وهو ما يعادل ثلث الإنتاج تقريبًا، وُيعد شـهر يوليـو الأعلـى فـى كميـة الكهربـاء المنتجة.



من إعداد الباحثة بالاعتماد على شركة مصر الوسطى لتوزيع الكهرباء، مصدر سابق

شكل(٧)المتوسط الشهرى لكمية الكهرباء المنتجة من الخلايا الكهروضوئية

بمحطات الهجين خلال المدة من (٢٠١٥ – ٢٠٢٠).

- تتقارب كميات الكهرباء المنتجة خلال فصلي الخريف والربيع، بمتوسط ٢٦٢٧,٨ م.و.س/ شهر، و ٢٤٤٣,٤ م.و.س/شهر لكل منهما على التوالي، وبنسب تبلغ ٢٦,٢ ، و ٢٤,٣% على الترتيب.

٢- العوامل المؤثرة على إنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية :

تختلف كمية الكهرباء المنتجة من الخلايا الشمسية الكهروضوئية تبعًا لتأثرها بعدة عوامل منها : كمية الإشعاع الشمسي الساقطة وعدد ساعات سطوع الشمس بالمكان .. الخ ، ويمكن حصر أهم تلك العوامل من خلال تتبع العلاقة بين كل منها ومتوسط كمية الإنتاج الفعلية من محطات أبي منقار ودرب الأربعين والفرافرة ، كما موضح بالجدول فيما يأتي:

أ- **الموقع:**

الموقع الفلكي: تقع محافظة الوادي الجديد بين دائرتي عرض ٢٢° و ٤٤//٤٠/ ٢٧°شمالًا ، وخطي طول ٢٥° و٢٥//٤٢/ ٣٢° شرقًا ؛ أي أن مدار السرطان يمر بجنوب المحافظة(٢٣,٥ ° شمالًا)، وخلال فصل الصيف الذي يبدأ مع شهر يونيو يكون القطب الشمالى مواجهًا للشمس وعموديًا تمامًا على مدار السرطان وقريبًا منها؛ الأمر الذي يترتب عليه زيادة كثافة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح المحافظة بشكل عام، فالأشعة العمودية تخترق مسافة أقصر من الغلاف الجوي وتتوزع على مساحة أصغر من سطح الأرض فتكون أقوى وأشد تركيز (نعمان شحاته، ٢٠٠٩، ص٨٠)، وفي شهر ديسمبر بداية فصل الشتاء تسقط الأشعة بصورة غير مباشرة نتيجة انحراف القطب الشمالى بعيدًا عن الشمس نحو الجنوب (٢٣,٥ جنوبًا) ، وهو ما يترتب عليه زيادة زاوية ميل الشمس ، وتناقص كمية الطاقة الساقطة على المتر المربع من سطح الأرض بالمكان ؛ أي أن موقع المحافظة بالنسبة لدوائر العرض ساعد على تحديد زاوية سقوط الشمس فصليًا وبالتالي توزيع كمية الأشعة الشمسية الساقطة

عليها وبالتطبيق على محطات عينة الدراسة وبالرجوع للشكل(١٠) يتضح التالي:

- تقع محطة الفرافرة عند تقاطع دائرة عرض ٢/ ٢٧° مع خط طول ٥٧/ ٢٧° ، وتتوسط كمية الإشعاع الشمسي المباشر بها إلى ٢٧ ميجاوات/متر٢/يوم ، بإجمالي قدرة متوقعة ٧,٥ ك.و.س/م٢/يوم.
- تقع محطة أبو منقار جنوب محطة الفرافرة عند تقاطع دائرة عرض ٢٩/ ٢٦° مع خط طول ٣٩/ ٢٧°، وتزيد كمية الإشعاع الشمسي المباشر بها إلى ٢٧,٢ ميجاوات/متر٢/يوم على التوالي، بإجمالي قدرة متوقعة ٧,٦ ك.و.س/م٢/يوم.
- تقع محطة درب الأربعين جنوب شرق المحافظة عند تقاطع دائرة عرض ٥٨/ ٢٣° مع خط طول ٢١/ ٣٠°، وتقل متوسط كمية الإشعاع الشمسي المباشر بها إلى ٢٦,٥ ميجاجول/متر٢/يوم، بإجمالي قدرة متوقعة بلغت ٧,٤ ك.و.س/م٢/يوم.

ويتضح بذلك أن إنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية بالمحافظة يزيد شمالًا ويقل بالاتجاه نحو الجنوب الشرقي، وما يؤكد ذلك أن الكيلو وات من قدرة الخلايا الكهروضوئية بمحطتى الفرافرة وأبي منقار الواقعتين شمال المحافظة يزيد إنتاجها الفعلى من الكهرباء خلال المدة من ٢٠١٥- ٢٠٢٠ بمتوسط ٩٠٩,٤ ، ٥٩٧,٦ ك.و.س/سنة ، فى حين تقل نظيرتها بمحطة درب الأربعين جنوب شرق المحافظة إلى ٣٤١,٤ ك.و.س/سنة.

كما ساعد **الموقع الجغرافي** لمحافظة الوادي الجديد في التأثير على إنتاج الطاقة من الخلايا الفوتولطية بشكل غير مباشر في اتجاهين: الأول يكمن فى أن نسبة اليابس بها تشكل٩٩,٨% من جملة مساحة المحافظة، الأمر الذي ساعد على استفادة معظم أراضيها من كمية الطاقة الواصلة لها كاملة؛ نتيجة تركز الإشعاع الشمسي في قشرة رقيقة فى اليابس ؛ بسبب عدم شفافيته ، أما الماء فتوزع أشعة الشمس به في طبقة كبيرة ؛ لعظم شفافيتها، وهذا ما يفسر زيادة معدلات الإشعاع الشمسى على اليابس مقارنة بنظيرتها التي تطل على المسطحات المائية(مسعد سلامة، ٢٠٠٢، ص ص١٥-١٦)، أما الثاني فيتمثل في أن أرض المحافظة جزء من صحراء مصر الغربية التي تغطيه الرمال الأمر يزيد من نسبة المواد العالقة بالغلاف الجوي ؛ مما تقلل من كفاءة إنتاج الكهرباء من الخلايا الشمسية.

ب- **مدة سطوع الشمس الفعلية:** ويقصد بها المدة التي يكون فيها قرص الشمس واضحًا أثناء فترة السطوع الفعلية(على حسن موسى، ١٩٩٢، ص٢٥)، وتزيد عدد ساعات سطوع الشمس بمنطقة الدراسة خلال شهور الصيف لتتراوح بين (١١,٩- ١٢,٤) ساعة/يوم وبمتوسط ١٢,٢

ساعة/يوم، فى حين تكاد تتقارب عدد ساعات سطوع الشمس بفصلي الخريف والربيع بمتوسط (١٠,٧ – ١٠,٥)ساعة/يوم لكل منهما على التوالي، أما فصل الشتاء فسجل أقل عدد ساعات سطوع بمتوسط٩,٥ ساعة/يوم، وكما هو واضح بالشكل(٩) أنه كلما زادت عدد ساعات السطوع كلما زادت كمية الكهرباء المنتجة فالعلاقة قوية معنوية بين المتغيرين بلغت قيمتها ٠,٩ عند مستوى دلالة ٠,٠٠١.

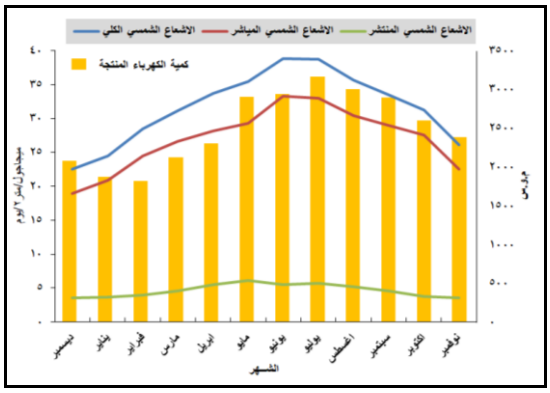
ج- **الإشعاع الشمسي Solar Radiation:**

ويقصد به الطاقة الإشعاعية التي تنطلق من الشمس في كل الاتجاهات، ويصل للأرض جزء من ألفي مليون جزء من هذه الطاقة تقدر بنحو ١٣٠ ميجاوات/متر٢ من سطح الشمس، ويتكون الإشعاع الشمسي من ثلاثة أنواع؛ الأشعة فوق البنفسجية بنسبة ٩% من جملة الإشعاع الشمسي وبأطوال موجية تتراوح بين ٠,٢ – ٠,٤ ميكرون، والأشعة الضوئية وتعرف أحيانًا بضوء النهار وتتراوح موجاتها بين ٠,٤ – ٠,٧ ميكرون، وتستحوذ على ٤١% من جملة الإشعاع الشمسي ، وهى مجال تلك الدراسة ؛ إذ تعد المصدر الرئيس لتوليد الطاقة الكهربائية من الخلايا الفوتوفولطية، أما النوع الثالث فهو الأشعة الحرارية وتتراوح أطوال موجاتها بين ٠,٧ – ٠,٨ وتمثل ٥٠% من جملة الإشعاع الشمسي(مياس، صفحات متعددة)، ويتباين توزيع الإشعاع الشمسي مكانيًا تبعًا لاختلاف الألبيدو الأرضي، وزاوية سقوط أشعة الشمس، والبعد بين الأرض والشمس فصليًا، بالإضافة للموقع بالنسبة لدوائر العرض وكمية المواد والغازات العالقة بالجو (Muneer, 2004). وتكمن أهمية هذا العنصر فى كونه المحدد الأساسي لكمية الطاقة الكهربائية التى يمكن توليدها من أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

ولقياس مدى الارتباط بين جملة كمية الكهرباء المنتجة بالفعل من المحطات الفوتوفولطية بأبي منقار ودرب الأربعين والفرافرة – تطلب ذلك قياس الإشعاع الشمسي الكلي والمباشر والمشتت عند كل منها شهريًا، ومن دراسة الشكلين (٨) و(٩) يمكن إبراز أهم النتائج التى توصلت إليها الدراسة على مستوى كل نوع كالتالي :

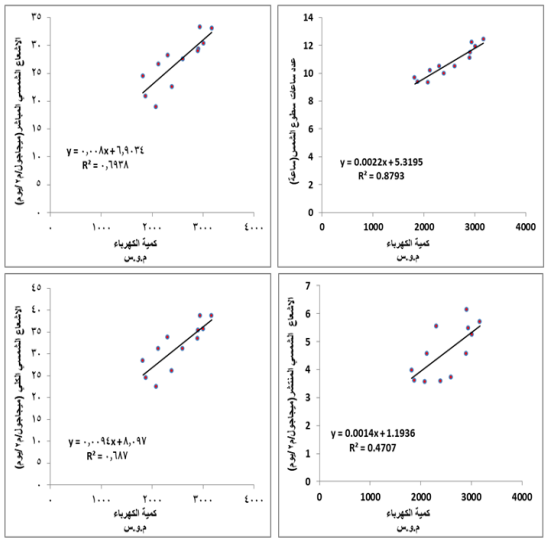
- **الإشعاع الشمسي المباشر:** ويسمى غالبًا بالإشعاع العمودي المباشر ، وهى الأشعة التي تسقط من الشمس للأرض مباشرة، وكما هو واضح بالشكل (١٠) فقد بلغ المتوسط الشهري لكمية الإشعاع الشمسي المباشر الساقطة عند مواقع المحطات الثلاث إلى ٢٩,٩ ميجاجول/متر٢/يوم، وتصل قمته خلال شهور الصيف بمتوسط ٣١,٩ ميجاجول لتشغل بذلك المرتبة الأولي، يليها فصل الربيع بمتوسط ٢٨

ميجاجول، أما المرتبة الثالثة فيشغلها فصل الخريف بمتوسط ٢٦,٣ ميجاجول، ويأتي فصل الشتاء فى المرتبة الأخيرة لتدني كميات الإشعاع الساقطة عليه بمتوسط ٢١,٤ ميجاجول. وسُجلت أعلى كمية إشعاع شمسي مباشر خلال شهر يونيو بمتوسط ٣٣,٣ ميجاجول/متر ٢/يوم، فى حين بلغت أدنى معدلاتها خلال شهر ديسمبر بنحو ١٨,٩ ميجاجول، ويعد تباين توزيع الإشعاع الشمسي المباشر فصليًا سواء بالزيادة أو بالنقصان مؤشرًا على مدي التباين في توزيع الطاقة الكهربائية المنتجة من المحطات بنفس المعدلات ؛ فالعلاقة بين المتغيرين طردية قوية قيمتها ٠,٧ عند مستوى دلالة ٠,٠١ ، ويعني ذلك أن الارتباط معنوي ؛ أي كلما زاد الاشعاع المباشر زادت كمية الكهرباء المنتجة والعكس صحيح.



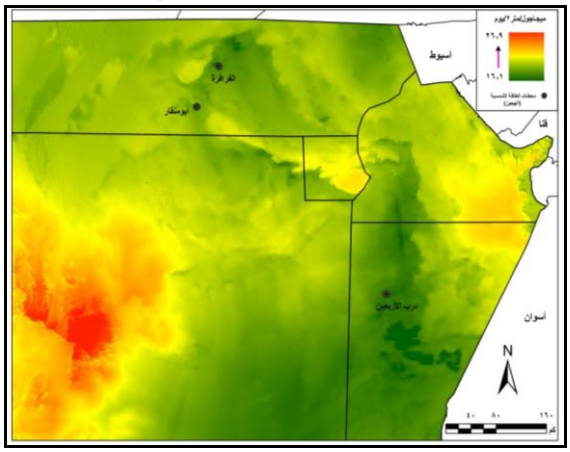
من إعداد الباحثة بالاعتماد على ملحق(١)

شكل(٨) التوزيع الشهري لمتوسط كمية الكهرباء المنتجة والإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر والكلي.



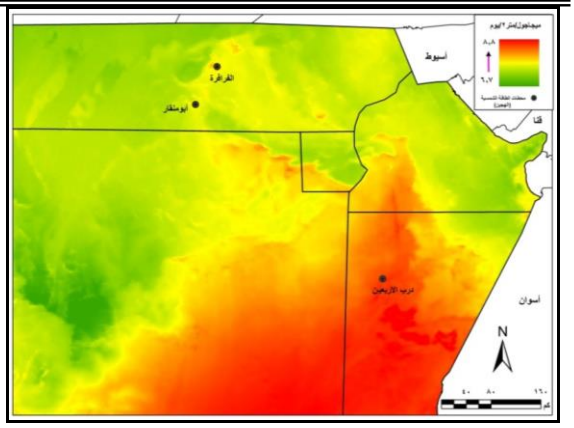
من اعداد الباحثة بالاعتماد على ملحق(١)

شكل(٩) العلاقة بين كمية الكهرباء المنتجة و المتوسط الشهري لكل من الاشعاع الشمسي المباشر والمنتشر والكلي



من اعداد الباحثة بالاعتماد على: The world Bank, Global solar Atlas

شكل(١٠) المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي المباشر بمحافظة الوادي الجديد خلال المدة من (١٩٩٤ – ٢٠١٨)

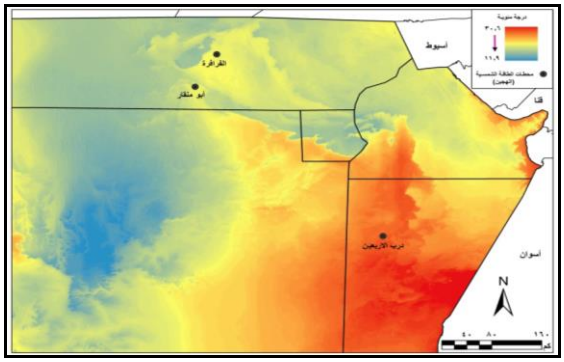


من اعداد The world Bank, Global solar Atlas
الباحثة بالاعتماد على:

شكل(١١) المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي المنتشر بمحافظة الوادي الجديد خلال المدة من (١٩٩٤ – ٢٠١٨)

- **الإشعاع الشمسي المنتشر:** ويقصد به الإشعاع الذي يمتصه الجو ثم ينتشر منه إلى أعلى وإلى أسفل فيصل بعضه بالانتشار إلى سطح الأرض (عبد العزيز طريح، ص٤٩) ومعدلاته موضحة بالشكل(١١)، ويتباين توزيعه من فصل لآخر تبعًا لكمية المواد العالقة بالغلاف الجوي من أتربة وبخار ماء وسحب وغيرها أثناء سقوط الأشعة الشمسية، ويسهم الإشعاع المنتشر بنسبة تتراوح بين (١١ – ١٦,٤)% من جملة الإشعاع الشمسى الكلي الواصل لسطح الأرض بمواقع المحطات الثلاث ، وهى نسبة لا يمكن إغفالها كعامل مؤثر في إنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية بالمكان ؛فالعلاقة بينه وبين كمية الطاقة المنتجة طردية متوسطة بلغت (٠,٥) عند مستوي دلالة أقل من ٠,٠٥، ويتشابه توزيعه مع توزيع الطاقة الإشعاعية المباشرة، وتزيد كميته بشكل عام في الصيف بمتوسط ٥,٥ ميجاجول/متر ٢/يوم، وتقل في الشتاء بمتوسط ٣,٧ ميجاجول/متر ٢/يوم.
- **الإشعاع الشمسي الكلي:** وهو عبارة عن كمية الأشعة الساقطة على مساحة معينة ، وهى بذلك تضم مجموع الأشعة الشمسية المباشرة والمنتشرة معًا، والعلاقة بينها وبين كمية الطاقة المنتجة طردية قوية بلغت (٠,٧) عند مستوي دلالة أقل من ٠,٠٥، وتصل قيمته إلى أعلى معدلاتها فى فصل الصيف بمتوسط ٣٧,٣ ميجا جول/متر ٢/يوم، بينما تنخفض الى ٢٦,٤ ميجاجول/متر ٢/يوم شتاءً.

ويتضح مما سبق ، أن قمة الإشعاع الشمسي المباشر والمنتشر والكلي تبلغ أعلاها خلال فصل الصيف وتتوسط بالاعتدالين وتقل خلال فصل الشتاء، وأن توزيعها الشهري والفصلي يتناسب طرديًا مع كميات الكهرباء المنتجة بالمحطات.



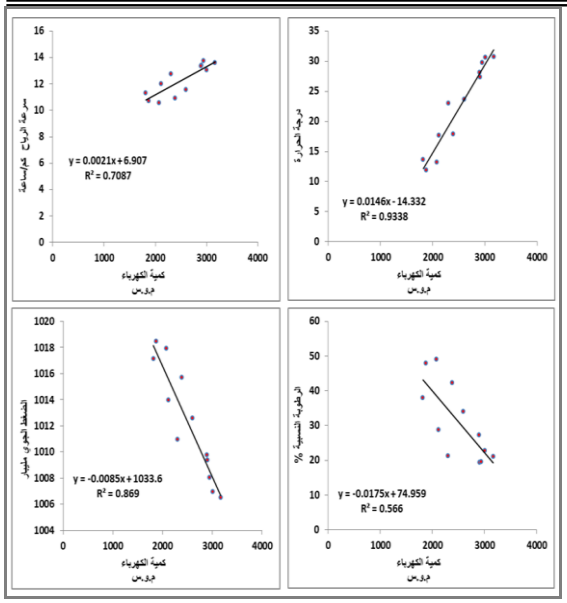
The world Bank, Global solar Atlas
من اعداد الباحثة بالاعتماد على:

شكل(١٢) المتوسط الشهرى لدرجات الحرارة بمحافظة الوادي الجديد خلال المدة من (١٩٩٤ – ٢٠١٨)

د- **الحرارة:** تُعد أشعة الشمس المصدر الرئيسي لحرارة الجو ، ويتبين من الشكلين (١٢) و(١٣) أن درجة حرارة الجو ترتفع في الأشهر التى ترتفع بها كثافة الإشعاع الشمسي ؛ وهو نتيجة مؤكدة من واقع العلاقة الطردية القوية بين المتغيرين ، التى بلغت قيمتها ٠,٩، كذلك الحال بالنسبة للعلاقة بين درجة الحرارة ومتوسط كمية الكهرباء المنتجة من الخلايا الكهروضوئية بالمحطات الثلاث ، التى بلغت قيمتها ٠,٩٦ عند مستوى دلالة أقل من ٠,٠١، ورغم الارتباط القوى المعنوى بين المتغيرين إلا أن الخلايا الكهروضوئية تنتج الكهرباء من الأشعة الضوئية وليس من الحرارة الناتجة عنها ، كما هو الحال بالنسبة لمحطات الطاقة الشمسية الحرارية، وأن الخلايا الكهروضوئية تتأثر سلبًا بارتفاع درجة الحرارة؛ فكلما ارتفعت الحرارة ١ درجة مئوية يقل الفولت بقيمة تتراوح بين(٠,٠٤ – ٠,١) فولت كما تقل القدرة النهائية من ٤– ٥% (مها عيد عبد الستار،٢٠١٣، ص٣٣) ؛ الأمر الذى يترتب عليه تناقص كفاءة إنتاج الخلايا الشمسية الكهروضوئية ؛ لذا يجب أن لا تزيد درجة الحرارة المحيطة بها عن ٢٥ °س للحفاظ على كفاءة الإنتاج العالية منها (Mahmud Wasfi, 2011,p5) ومع ذلك فإن الفقد الكهربي الناتج من الخلايا الشمسية الكهروضوئية ؛ نتيجة ارتفاع الحرارة بمنطقة الدراسة ، يعوضه زيادة الإنتاج الناتج عن ارتفاع شدة الإشعاع الشمسى بالمنطقة من ناحية ، وتركيب الخلايا الشمسية على هياكل مفتوحة أو ترك مسافات خلف الخلايا الشمسية المركبة لضمان التهوية الجيدة والتقليل من حدة التأثير السلبي للحرارة من ناحية أخرى . ويفسر السببين السابقين الارتباط الطردي بين ارتفاع الحرارة والإنتاج من الخلايا رغم تأثيرها السلبى على كفاءتها، وما يؤكد ذلك هو التوسع فى استخدام المحطات الشمسية الكهروضوئية بالمحافظة إلى ٣٥٤محطة، ويبلغ أقصي ارتفاع للحرارة بالمحطات خلال فصل الصيف بمتوسط ٣٠,٣ °م، وتتوسط بفصلي الربيع والخريف بقيم متقاربة بلغت ٢٢,٧ ، ٢٣,٢ °م على التوالي، فى حين تقل لأدنى مستوى لها بفصل الشتاء إلى ١٢,٩ °م، ولوحظ أن شهر يناير هو الأقل حرارة بمعدل (١١,٩ °م) وشهر يونيو هو الأعلى حرارة بمعدل (٣٠,٦ °م).

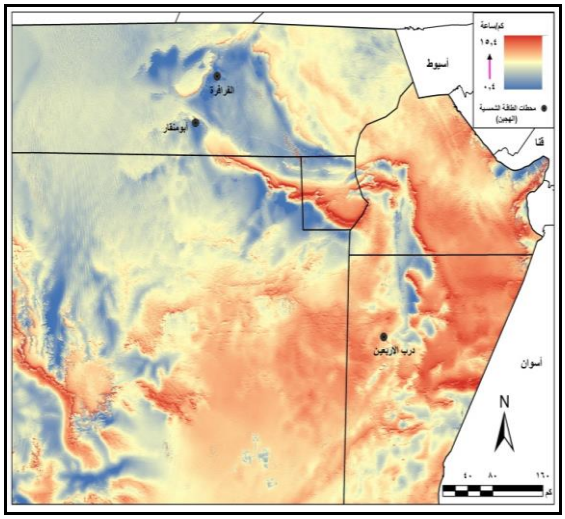
هـ- **الرياح:** ويقصد بها الحركة الطبيعية للهواء سواء كانت بطيئة أم سريعة، وللرياح أثران متضادان على الإنتاج من الخلايا الفوتوفولطية ؛ **الأول سلبي** : يتمثل فى كونها المحرك الرئيسي للرمال وغيرها من المواد العالقة التى تستقر على سطح الخلايا ؛ مما يقلل من كفاءتها وارتفاع التكاليف

اللازمة لتنظيفها بشكل مستمر ؛ للحد من ذلك . **والثاني إيجابي:** تساعد على خفض درجة حرارة سطح الخلايا الشمسية من خلال رفع معامل انتقال الحرارة بالحمل الذي يساعد بدوره فى انتقال الحرارة من سطح الخلية إلى المحيط الخارجي فتنخفض لذلك الحرارة الداخلية للخلايا، وهذا بدوره يعزز من كفاءتها ويحسنها أثناء التشغيل فينعكس ذلك على حجم الإنتاج منها (تأثير العوامل المناخية في اختيار نوعية الألواح الكهروضوئية المستخدمة ، ٢٠٠٠، ص٦)، والعلاقة طردية متوسطة بين متوسط الإنتاج وسرعة الرياح بالمحافظة ؛ إذ بلغت قيمة معامل الارتباط بينهما ٠,٨٤، و تتراوح سرعة الرياح بالمحطات كما موضح بالشكل(١٤) بين ١٠,٥ – ١٣,٥كم/ساعة، وتتوسط سرعة الرياح بالمحطات خلال فصلي الربيع والخريف بمتوسط ١٢,٧ ، ١١,٩ كم/ساعة، فى حين تزيد سرعتها خلال فصل الصيف بمعدل ١٣,٤كم/ساعة ، وتصل أدنى سرعة للرياح لها خلال شهور فصل الشتاء بمتوسط ١٠,٨كم/ساعة.



من اعداد الباحثة بالاعتماد على ملحق(١).

شكل(١٣) العلاقة بين كمية الكهرباء المنتجة من المحطات و المتوسط الشهري لكل من الحرارة والرياح والرطوبة والضغط الجوي خلال المدة من (١٩٨٣ – ٢٠١٣)

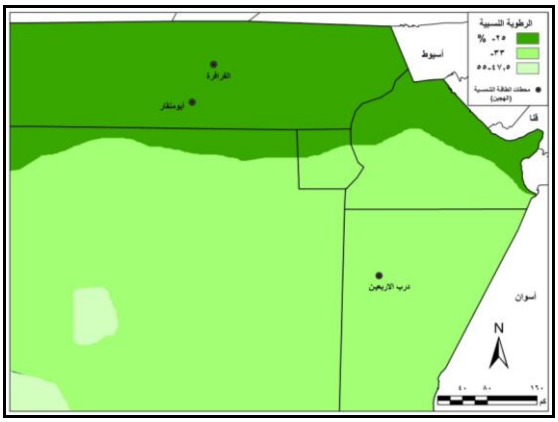


من The world Bank, Global Wind Atlas
اعداد الباحثة بالاعتماد على:

شكل(١٤) المتوسط الشهرى لسرعة الرياح بمحافظة الوادي الجديد خلال المدة من (٢٠٠٨- ٢٠١٧)

و- **الرطوبة النسبية:** وتعرف بمقدار بخار الماء الموجود في الهواء عند درجة حرارة معينة مقارنة بالحد الأدنى الذي يستطيع

الهواء أن يحمله عند درجة الحرارة نفسها، وتقل الرطوبة النسبية بشكل عام كما موضح بالشكل(١٥) كلما اتجهنا نحو الجنوب، وتقل في أدنى معدلاتها خلال شهور الصيف بمتوسط ٢١٢٨%، فى حين تبلغ أقصاها خلال شهور الشتاء بمتوسط ٤٥%؛ أى أن الهواء أقرب للتشبع بالماء خلال فصل الشتاء مقارنة بالصيف . والعلاقة عكسية قوية بين متوسط كمية الكهرباء المنتجة من الخلايا الشمسية الفوتوفولطية والرطوبة بقمية بلغت -٠,٧٤ عند مستوى دلالة أقل من ٠,٠٠١ ؛ أى كلما زادت الرطوبة قل الإنتاج والعكس صحيح، فتجمع بخار الماء على سطح الخلايا يساعد على انعكاس او انكسار جزء من الأشعة الساقطة عليها فيقل من كفائتها، كما أن تكرار تجمعها يساعد على تدهور الخلايا وتناقص جودتها على المدى البعيد(Glenn H., Aug 23, 2018).

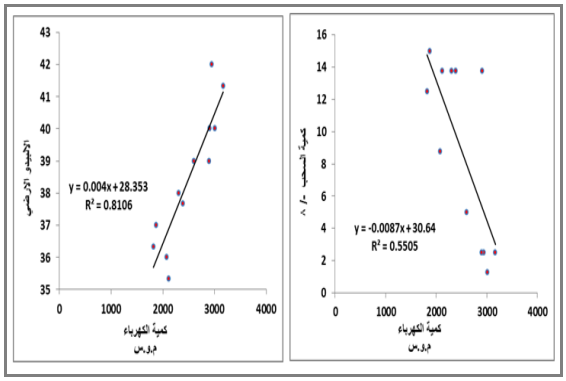


من اعداد الباحثة بالاعتماد على: (SAGE), Atlas of the Biosphere, USA

شكل(١٥) المتوسط السنوي للرطوبة النسبية بمحافظة الوادي الجديد

ز- **الضـــغط الجـــوي:** وهـو الثقـل النـاتج مـن الغلاف الجوي على سطح الأرض، فالمواد العالقة فى الهواء والعناصر الغازية بالغلاف الجـوي لهـا أوزانهـا التـى تسـاهم بهـا فـى الضغط الذي يحدثه الغلاف الجوي على أى منطقـة(عبـد العزيـز طـريح، ٢٠٠٠، ص٩١)، ويعد رصده بمنطقة الدراسة مؤشرًا مهمًـا علـى تنـاقص أو زيـادة الإشـعاع الشمسـى الـذى يصـل للمنطقـة، فالغـازات العالقة بالجو، مثل : ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين وبخار الماء ، بالإضافة للغبار والضباب والدخان كلها عوامل تؤثر بالسلب على إنتاجية الخلايا الشمسية؛ فهي تعمل على إعاقة جزء من الأشعة الشمسية ، ويتم ذلك عبر ثلاث عمليات ، هي : الانتشار، والامتصـاص ، والانعكـاس(على موسـى، ١٩٩٣، ص ص٢٥-٢٨)، والارتبـــاط عكسـي قـوي بـين متوسـط كميـة الطاقـة المنتجة من الخلايا ومتوسط الضغط الجوي بالمكـان بلغـت قيمتـه – ٠,٩ عنـد مسـتوى دلالـة أقـل مـن ٠,٠١، فكلمـا قـل الضـغط الناتج عن قلة المواد الغازية والعالقة بالهواء زاد الانتـاج والعكس صـحيح، ويقل متوسط الضـغط الجـوي بمنطقـة الدراسـة فـي أدنـى مستوياته خلال شهور الصيف إلى ١٠٠٧ ملليبار، في حين يصل إلى أعلى مستوياته خـلال فصـل الشـتاء (١٠١٧ ملليبـار)، ويتوسط خلال شهور فصلي الخريف والربيع

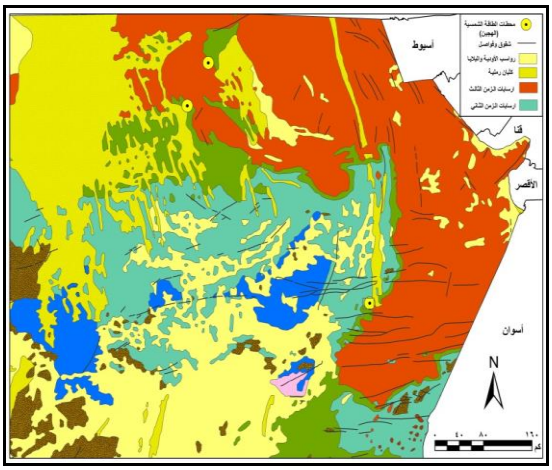
الـــى (١٠١٢ ، ١٠١١) ملليبـــار علـــى التوالي.



من اعداد الباحثة بالاعتماد على ملحق(١).

شكل(١٦) العلاقة بين كمية الكهرباء المنتجة و المتوسط الشهري لكل من كمية السحب والألبيدو خلال المدة من (١٩٨٣ – ٢٠١٣).

ح- **السُحب:** وهى عبارة عن تجمعات من بخار الماء المتكثف فى الجو في صورة قطيرات مائية دقيقة، وتوجد علاقة عكسية قوية بين متوسط كمية الكهرباء المنتجة من الخلايا الكهروضوئية ونسبة السحب ؛ إذ بلغت قيمة معامل الارتباط ٠,٧ عند مستوى دلالة أقل من ٠,٠٠١، وهو ارتباط معنوي ؛ يعني أنه كلما زادت كمية السحب زادت الغيوم وحجبت جزءًا من الأشعة الشمسية دون وصوله لسطح الأرض ؛ وبالتالى تتناقص كمية الكهرباء المنتجة من الخلايا الكهروضوئية، وبشكل عام تنخفض نسبة السحب بمحافظة الوادي الجديد خلال فصل الصيف (٢,٥ – ١,٥%) ؛ أى تغطي أقل من ٨/١ وتزيد تدريجيًا بنسب بسيطة إلى أن تصل أعلاها خلال فصل الشتاء ، وبالتحديد فى شهر يناير بنسبة ١٥% ؛ ويتضح من ذلك : أن سماء الوادى الجديد صافية طوال العام ؛ إذ لا تتعدى نسبة السحب بها عن ٨/٢.

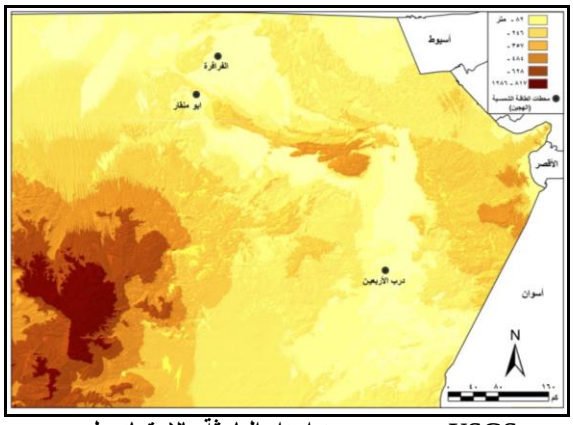


من إعداد الباحثة بالاعتماد على الخريطة الجيولوجية لمصر، وزارة الصناعة والموارد التعدينية، ١٩٨١م.

شكل(١٧) التكوين الجيولوجي لسطح محافظة الوادي الجديد

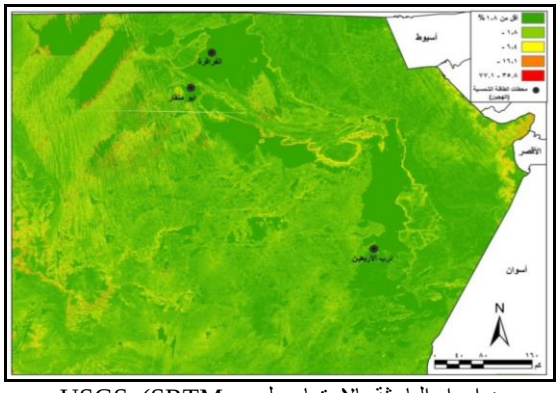
ط- **الألبيـدو الأرضـي:** عبارة عن نسبة الأشعة المنعكسة من سطح الأرض إلى مجموع الأشعة الساقطة عليه، وتختلف حسب عدة عوامل ، منها : لون سطح الجسم الساقط عليه، وملمسه(ناعم او خشن)، وخصائصه وزاوية سقوط الأشعة الشمسية...الخ (طريح، مرجع سابق) ، وبشكل عام تعكس الأسطح البيضاء الناعمة أكبر قدر من الأشعة عن نظيرتها السوداء ذات الملمس الخشن، وبمراجعة الشكل (١٧) والملحق (١) يتضح أن أرض الوادي الجديد هى جزء من الصحراء الغربية، التى تغطي أغلب سطحها تكوينات رملية وجيرية وحصوية ، تتراوح نسبة

الأشعة المنعكسة بها بين(٣٥ – ٤١)% من جملة الأشعة الساقطة على سطحها ، وعند قياس مدى الارتباط بين الألبيدو الأرضي وكمية الكهرباء المنتجة ؛ تبين أن العلاقة طردية قوية (٠,٩)، الأمر الذي يدعم استخدام الطاقة الشمسية بالتطبيقات المختلفة بالمنطقة.



من إعداد الباحثة بالاعتماد على: USGS, (SRTM DEM),30M and Arcgis10.3 Prog.

شكل(١٨) تضاريس سطح محافظة الوادي الجديد بالنسبة لمستوى سطح البحر



من إعداد الباحثة بالاعتماد على: USGS, (SRTM DEM),30M and Arcgis10.3 Prog.

شكل(١٩) نسبة انحدار سطح محافظة الوادي الجديد

ي- تضاريس سطح الأرض؛ ويقصد بها منسوب سطح المنطقة وانحداره، فكما هو واضح من الشكلين(١٨) و(١٩) أن أغلب مساحة محافظة الوادي الجديد ينخفض منسوب سطحها ليتراوح بين (٨٢ – ٣٥٦) متر، كما يقل انحداره عن ٢٠% ؛ مما يعنى أن المنطقة انحدارها يتدرج من المنخفض للمتوسط (أحمد أحمد مصطفي، ١٩٨٧) ؛ أى يكاد يكون مستويًا ، ولا تظهر التضاريس به إلا في أقصى الجنوب الغربي بمنطقة الجلف الكبير وعلى حواف المنخفضات(الداخلة والخارجة والفرافرة) ؛ لذا فتأثيرها على حجب الأشعة الشمسية (مصدر الطاقة) عن مراكز الاستيطان البشرى والأنشطة البشرية سواء القائمة أو التى ستمتد فى المستقبل بالمكان تكاد تنعدم، كما أن تأثيرها على تكوين الظل الذي يحجب بدوره جزءًا من الأشعة الشمسية أسفله يكاد ينعدم هو الآخر بالمنطقة.

وتعد خصائص السطح بمواقع المحطات الشمسية الثلاث بأبي منقار والفرافرة ودرب الاربعين عاملًا رئيسًا ساعد على رفع إنتاجها من الكهرباء ؛ فهي تتوطن بمناطق مستوية يقل انحدارها عن ١ % مع العلم أن الدرجة المثلى لإنشاء الخلايا الكهروضوئية تتراوح بين ٥ – ١٥° (Kereush D., Perovych I.,2017, P40).

جدول (٦) تكلفة الكهرباء المنتجة من الخلايا الفوتوفولطية الشمسية مقارنة بتكلفتها من الشبكة الموحدة عام ٢٠٢٠م.

تكلفة بيع الطاقة من الخلايا الفوتوفولطية							تكلفة بيع الكهرباء من الشبكة القومية				الفرق (الف جنيه)
قدرة المحطة الشمسية(ك.وات)	غرض الاستخدام	الأحمال الفعلية ك.وات.س/يوم*	تكلفة الإنشاء (جنيه)**	جنيه/ك.وات.س	ضمان المحطة	الأحمال الشهرية ك.وات.س/شهر	تكلفة بيع الكهرباء قرش/ك.وات.س/ شهرية***	تكلفة خدمة العملاء جنيه/فاتورة	جملة تكلفة بيع الأحمال جنيه/شهر	جملة تكلفة بيع الأحمال الف جنيه/٢٥سنة	
١	سكني	٢٤٤٠	٤٩٥٠٠٠	٥٤٤٢,٧٩	٢٥ سنة	١١٣,٢	٦٥	٦	١١٢,١	٣٣,٦٢	٤,١
٢,٢٥	سكني	٩٥٦٠	٥٧٠٠٠٠	٥٩٦٢,٣٤		٢٨١,٨	٩١	١١	٢٨٦,٣	٨٥,٩	٢٨,٩
٣	سكني	١٣٠٥٢	٨٧٠٠٠٠	٦٦٦٥,٦٥		٣٩١,٥١	١١٨	١١	٤٧٣,٠٤	١٤١,٩	٥٤,٩
٤	سكني	١٩٠٧٨	١٢٢٠٠٠٠	٦١٧٧,٨٥		٥٩٣,٤	١١٨	١٥	٧١٥,٢	٢١٤,٥٦	٩٢,٥٦
٥	سكني	٢٥٠٦	١٤٨٠٠٠٠	٥٧٨١,٢٥		٧٦٨	١١٨	٢٥	٩٣١,٢٤	٢٧٩,٤	١٣١,٤
٧,٥ (١٠حصان)	طلمبات رفع	٥٢٠٥	٣١٢٠٠٠	١٢٤٨,٧١		١٥٧٥	٨٥	٤	١٢٤٢,٧	٤٠٢,٨	٣٣٧,٣
٣٧,٣ (٥٠حصان)	طلمبات رفع	٢١١٠١	٦٥٦٠٠٠	١١٩٨,٧٧		٧٨٣٣	٨٥	٤	١٦٦٢	١٩٩٨,٦	١١٨٥,٦
٣٧٤,٦ (١٠٠حصان)	طلمبات رفع	٥٢٢٠٢	٦١٨٠٠٠	١١٨٢,٤٥		١٥٦٦٦	٨٥	٤	١٣٢٢,٠١	٣٩٩٦	٣٢٧٨

من إعداد الباحثة بالاعتماد على:

- شركة ابكار لتصنيع الخلايا الشمسية (٢٠٢٠)، بيان عن تكلفة تركيب محطات الطاقة الشمسية، بيانات غير منشورة.
- جريدة الوقائع المصرية (٩ يونيه ٢٠٢٠)، قرار وزارة الكهرباء والطاقة المتجدد رقم ١٠٠ بشأن تعريفة بيع الطاقة الكهربائية، العدد ١٣٠.

* تكلفة المحطات المكتفية تشمل على تكاليف البطاريات أما التي تعمل بدون بطاريات.

** تم حساب الأحمال الفعلية طبقًا لقدرات الأجهزة الموصلة بها وعدد ساعات تشغيلها

*** تشمل تكلفة خدمة العملاء الخطاطة على كل فاتورة حسب الفروض وشريحة الاستهلاك

سادسًا -الآثار المترتبة على إنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية :

١- الآثار الاقتصادية :

تستخدم الخلايا الكهروضوئية في إنتاج الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل طلمبات الري وإنارة الوحدات السكنية والقرى البعيدة عن الشبكة الموحدة وغيرها من الاستخدامات المختلفة، ويحقق استخدامها وفرًا اقتصاديًا ذات بُعدين ؛ **الأول** : يتمثل فى تناقص تكلفة إنتاج الكيلو وات.ساعة من الكهرباء باستخدامها على المدي البعيد، **والثاني** : يتمثل في توفير الدعم على استهلاك الكهرباء المستخدمة فى إنتاج المياه من الآبار المتصلة بالشبكة الموحدة خاصة وأن ٥٩٦١ بئرًا متصلًا بها، وكذلك تحقيق وفر فى استهلاك السولار كمصدر للوقود الأحفوري سواء المستخدم في توليد الطاقة الكهربائية بمحطات الديزل الحرارية في درب الأربعين والفرافرة وأبي منقار أم المستخدم في تشغيل طلمبات آبار الري بالمحافظة ، التى يبلغ عددها ٨٨٩ بئرًا ، وعند دراسة الجدول(٦) يمكن رصد أهم الآثار الاقتصادية لإنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية كما يلى:

أ- اتضح من دراسة الجدول أن تكلفة إنشاء المحطات الكهروضوئية بالمنازل أعلى من نظيرتها المستخدمة فى تشغيل طلمبات الري ؛ لأن الثانية تعمل خلال ساعات النهار فقط ، وبالتالي تركب بدون بطاريات فى حين تحتاج محطات القطاع السكني إلى بطاريات لتشغيلها خلال ساعات الليل ، وهى الأعلى تكلفة ؛ إذ تمثل تكلفة شراء البطاريات ٥٦,٥% من جملة تكلفة إنشاء المحطات، في حين تمثل تكلفة الألواح الكهروضوئية قدرة ٢٧٥ وات نحو ٢٩,٦%، والانفيرتر ٥,٢%.

ب- تقل تكلفة إنتاج الكيلو وات/ساعة من الأحمال الفعلية كلما زادت قدرة المحطات الكهروضوئية؛ فنجدها تزيد بمحطة قدرتها ١ ك.و.س الى ٥,٤ ألف جنية، وتتوسط بمحطة قدرتها ٧,٥ ك.و.س الى ١,٣ ألف جنيه، وتقل الى ١,١ ألف جنيه بمحطة قدرتها ٧٤,٦ ك.و.س.

ج-تقل تكلفة إنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية مقارنة بتكلفة بيع نظيرتها من الشبكة القومية على المدى البعيد، فمع فرض ثبات تكلفة بيع الكيلوات من الكهرباء طبقًا لشرائح الاستهلاك المعلنة فإن الوفر المحقق مدة ٢٥ عامًا فى حالة تركيب محطة شمسية بقدرة ١ ك.و.س يصل الى ٤,١ ألف جنيه، ويزيد إلى ٩٢,٦ ألف جنية فى حالة تركيب محطة بقدرة ٥ ك.و.س، وإلى ٣٣٧,٣ ألف جنية عند تركيب محطة بقدرة ٣٧,٣ ك.و.س ، ويصل إلى ٣,٤ مليون جنيه عند تركيب محطة بقدرة ٧٤,٦ ك.و.س ؛ أى أن الوفر المحقق يزيد كلما زادت قدرة المحطات الكهروضوئية المركبة.

جدول (٧) اقتصاديات تحويل محطات الديزل للعمل بالطاقة الشمسية فى انتاج الطاقة الكهربائية بمحافظة الوادي الجديد عام ٢٠٢٠م

المحطة	درب الأربعين	ابو منقار	الفرافرة	الاجمالى
كمية الديزل المستهلكة (لتر)×	٥٧٤٢,٥	٦٠٤٤,٧	٢٥٢٥١١٤,٥	٢٥٣٦٩٠١,٧
الطاقة الكهربائية المنتجة م.و.س/سنة	٦٢,٩٤	٦٦,٣	٢٧٦٧٥,٣	٢٧٨٠٤,٤
تكلفة الوقود الف جنيه/السنة××	٣٨,٧٦	٤٠,٨	١٧٠٤٤,٥٢	١٧١٢٤,١
تكلفة الوقود المستهلك مدة ٢٥ عامًا (الف جنيه)	٩٦٩	١٠٢٠	٤٢٦١١٣	٤٢٨١٠٢,٢
قدرة المحطات الفوتوفلطية المتوقعة (ك.و.س)×××	٢٥	٢٦,٣	١٠٩٨٢,٢	١١٠٣٣,٥
تكلفة المحطات المتوقعة (الف جنيه)	٢٠٦,٩	٢١٧,٨	٩٠٩٨٩	٩١٤٠٣,٦

الجدول من اعداد الباحثة بالاعتماد على:-
- شركة مصر الوسطى لتوزيع الكهرباء، بيان عن كميات الطاقة المنتجة من محطات الديزل بالوادى الجديد، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٠م.

× من حساب الباحثة بالاعتماد على المعادلة التالية: التر ديزل تعادل ١٠,٩٦ ك.و.س

×× بلغ سعر بيع لتر الديزل عام ٢٠٢٠م الى ٦,٧٥جنيه عن https://www.petroleum.gov.eg

××× تم حساب قدرة المحطات وتكلفتها المتوقعة على اساس ان الاحمال الفعلية خلال ساعات النهارلمحطة فوتوفلطية بدون بطاريات قدرتها ٧٤,٦ ك.و.س هى ١٥,٧ ميجاوات.ساعة/شهريًا وباجمالي تكلفة تبلغ ٦١٨ الف جنيه، راجع جدول(٦).

د- بلغت كمية الكهرباء المنتجة من محطات الكهرباء الحرارية بأبي منقار ودرب الأربعين والفرافرة إلى ٢٧٨٠٤,٤ ميجاوات.س عام ٢٠٢٠م، وتطلب توليد تلك الكمية من الطاقة الكهربائية حرق ٢٥٣٦,٩ ألف لتر من الديزل بإجمالي تكلفة بلغت ١٧,١ مليون جنيه فى العام نفسه، ولإنتاج كمية الكهرباء نفسها باستخدام المحطات الكهروضوئية يتطلب ذلك تركيب ثلاث محطات بإجمالى قدرات تبلغ ١١٠٣٤ ك.و.س وبإجمالي تكلفة تبلغ ٩١,٤ مليون جنيه، ولأن العمر الافتراضي للخلايا الشمسية يبلغ ٢٥ عامًا ف؛ هذا يعني أنه في حالة استخدام الخلايا الشمسية في توليد الكهرباء من المحطات الثلاث ؛ سينتج عنه وفر بقيمة ٣٣٦,٧ مليون

جنيه تمثل قيمة الديزل الذى سيتم شراؤه مدة ٢٥ عامًا لتوليد الكهرباء منها.

٢- الآثار البيئية :

تتمثل أهم الآثار البيئية لإنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية في أمرين ، هما : **الأول:** المحافظة على التوازن والنظام البيئي وعدم تجاوز حدوده فى استهلاك موارده واستنزافها؛ فالطاقة الشمسية الضوئية مصدر طبيعي متجدد غير قابل للنضوب فلا يستنزف ولا يؤدي زيادة استهلاكه إلى إخلال التوازن البيئي . **والثاني:** يتمثل فى تجنب الآثار السلبية لاستخدامها على البيئة، وخفض الانبعاثات الضارة الناتجة عن استخدام الوقود الأحفورى فى توليد الطاقة الكهربائية بالمنطقة ؛ نتيجة إحلال الخلايا الكهروضوئية مكان أغلبها.

جدول (٨) حجم الانبعاثات التى تم تخفيضها نتيجة استخدام اللوحات الكهروضوئية في إنتاج الطاقة الكهربائية بمحافظة الوادي الجديد عام ٢٠٢٠م

نوع المحطات الشمسية	القدرة ك.و.س	كمية الكهرباء المقدرة م.و.س/سنة×	كمية الديزل الف لتر	الانبعاثات الكربونية الف كجم ××
محطات الهجين	٦٠٠٠	٥٨٩٤,٧	٥٣٥,١	١٤٣٨,٢
المحطات الشمسية الكهروضوئية	١٤٤٥٣,٢	٣٦٩٢٧,٩٣	٣٣٦٩,٣٤	٩٠٥٦,١

الجدول من إعداد الباحثة بالاعتماد على جدول(٣):-

× من حساب الباحثة من خلال ضرب القدرة * متوسط ساعات اليوم(٧ ساعات) * ٣٦٥ يومًا.

×× من حساب الباحثة بالاعتماد على المعادلة التالية: واحد لتر ديزل ينبعث عنه ٢,٦٨ كجم من ثاني اكسيد الكربون

http://www.eauc.org.uk/file_uploads/ucccfs_unit_converter_v1_3_1.xlsx

وبمراجعة الجدول(٧) و(٨) يتضح أن استخدام الخلايا الكهروضوئية بمنطقة الدراسة ترتب عليه الحد من انبعاث ١٠,٥ مليون كجم من ثاني أكسيد الكربون بالغلاف الجوي ، وهى الكمية التى كانت ستنبعث إذا ما استخدم وقود الديزل فى توليد الكمية نفسها من الطاقة الكهربائية ، خاصة فى ضخ المياه من الآبار العميقة باعتباره التطبيق السائد للخلايا بالمنطقة ؛ اذ بلغت قدرة المحطات الشمسية الكهروضوئية المركبة على الابار ١٢,٨ ميجاوات.س تمثل نحو ٦٣% من جملة قدرات المحطات بالمحافظة.

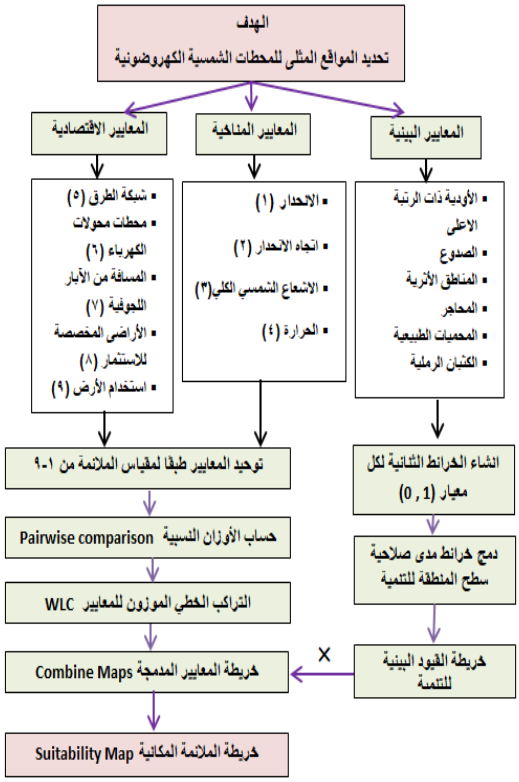
سابعًا - التحليل متعدد المعايير لتحديد المواقع الملائمة لانشاء محطات الشمسية الكهروضوئية بالمنطقة :

إن التوسع في إنشاء المحطات الشمسية الكهروضوئية ؛ يرجع إلى كونها مصدرًا متجددًا للطاقة واسع الانتشار وصديق للبيئة الأمر الذي ساعد على منح حوافز لبنائها وتنميتها، ويتم تحديد المواقع المثلي لانشاء المحطات الكهروضوئية طبقًا لعدد من المعايير والمتطلبات الاقتصادية والبيئية والمناخية التى يجب أن تتوفر بها.

ونظرًا لاختلاف نسبة تأثير كل معيار عن الآخر على اختيار المواقع المحتملة للمحطات الشمسية فقد تم تحليل البيانات باستخدام أدوات التحليل المكاني، بالاضافة لاسلوب التركيب الخطي الموزون Weight Linear

Combination Techniques(WLC)، والتحليل الهرمي (AHP) في دعم اتخاذ القرار المكاني متعدد المعايير MCDA، وهي عبارة عن مجموعة من الأساليب الرياضية والأدوات التي تسمح بمقارنة متغيرات صناعة القرار المختلفة والمتناقضة معًا (Hejmanowska & Hnat 2009; Janke, 2010, PP109-129) وصولًا للقرار الأمثل وقد تم تطبيقها على عدة مراحل ، هي:

١- تحديد الهدف الرئيس والمعايير المستخدمه فى تحقيقه، وهدف الدراسة هنا ، هو تحديد المواقع المثلى لإنشاء المحطات الشمسية الكهروضوئية بمحافظة الوادي الجديد، على أن تحقق تلك المواقع عدة متطلبات ، أهمها : ارتفاع كمية الإشعاع الشمسي الكلى بالمكان، وأن يبلغ متوسط درجة حرارة الجو بين ١٥ – ٤٠ °م، وأن تتراوح درجة انحدار سطحه بين ٥- ١٥ ° واتجاه الانحدار بين ١١٠ – ١٢٠ ° (Kereush D, Perovych I,2017, Ipid)، والبعد عن المناطق المحمية مسافة ٢٠٠ متر (Effat, 2016, P7) مثل المناطق الأثرية، والمحميات الطبيعية، والبعد بنفس المسافة عن المواقع التى تقلل من كفاءة الألواح ومخاطر البناء عليها ، مثل : مواقع المحاجر، والكثبان الرملية، والصدوع ، ومجاري الأودية ذات الرتب الأعلى، ويراعي كذلك أن يحقق الموقع أقل تكلفة إنشاء من خلال القرب من شبكة الطرق والكهرباء والمناطق المبنية وآبار المياه الجوفية ومناطق الاستثمار المتعاقد عليها حديثًا ؛ لإقامة الأنشطة الاقتصادية المختلفة، وتُحقق تلك المتطلبات من خلال ١٥ معيار موضحة بالشكل(٢٠).



من إعداد الباحثة .

شكل(٢٠) نموذج تحديد المواقع الملائمة للمحطات الكهروضوئية

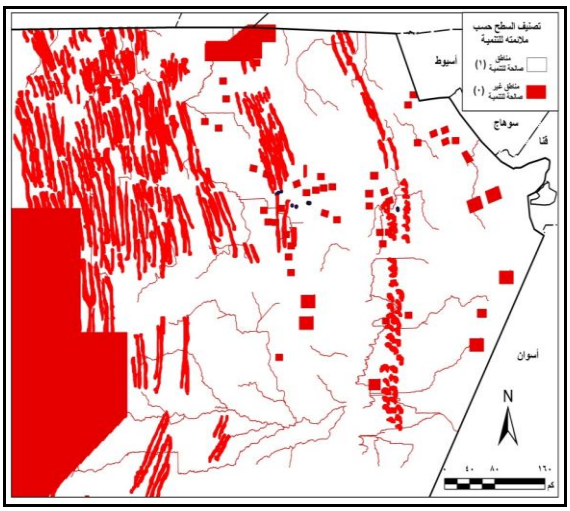
٢- إنشاء خريطة القيود Constrain Map، التى تهدف إلى تحديد المناطق التى يوجد قيود بيئية فى البناء عليها ، وقد أُنتجت طبقًا لعدة معايير ، هي :

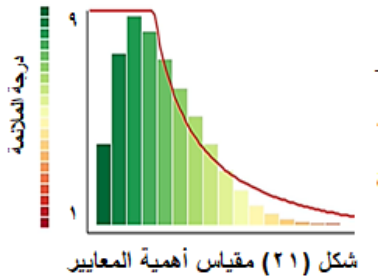
- ✓ البعـد عـن المنـاطق الأثريـة والمحميـات الطبيعيـة وأمـاكن الصـدوع وشـبكة الأوديـة ذات الرتب العالية باعتبارها المناطق الأكثر تعرضًـا لتجمعـات الميـاه ومخـاطر السـيول بالمحافظة مسافة ٢٠٠ مترًا.

فالمحافظة تضم عشرة مواقع رئيسة أثرية ، هـي : مدينـة بـلاط الاسـلامية، وقلعـة الضـبع وعين الأصيل ببلاط، و مدينة القصر والقصبة وعـين السـبيل وأسـمنت الخـراب وعـين الجديـدة القبطية بالداخلة، و جبانة البجوات ومعبد هيبس وواحـة الخاراجـة بمركـز الخارجـة(موقع وزارة السياحة والأثـار)، كمـا تضـم المحافظـة ثـلاث محميات طبيعية ، هى : هضبة الجلف الكبير ونيـزك جبـل كامـل جنـوب شـرق المنطقـة والصحراء البيضاء شمالًا.

- ✓ البعد عن مناطق الكثبان الرملية ؛ فهي من الظـاهرات الطبيعيـة المنتشـرة علـى سـطح المحافظـة، والتـى تتراوح معدل حركتها بـين ٢٠-١٠٠متر/سـنة(جهـاز شـئون البيئـة،٢٠٠٨، ص١٣) ، وتغطـى مسـاحة تبلغ ٤١,٣٣ ألف كم٢(من حساب الباحثة بالاعتماد على خريطة توزيع الكثبان الرملية فـى مصـر عـن **Olaf Bubenzer, Nabil S. Embabi and Mahmoud M. Ashour, 2020,** **p3**) وبرنـامج Arcgis10.3)؛ لـذا يجـب البعـد عنهـا مسـافة ٥٠٠ – ١٠٠٠متـرًا باعتبارها المناطق متوسط الخطورة (فاطمة عبد الرافـع،٢٠١٦، ص١٨١) فتقل لـذلك إمكانيـة زحـف الرمـال علـى المحطـات الشمسية والتأثير على كفاءة الإنتاج منها.

- ✓ – البعـد عـن مواقـع المحـاجر والمنـاجم مسـافة ٢٠٠متـرًا، وتضـم محافظـة الـوادي الجديـد ٣٨ محجـرًا ومنجمًـا واحـدًا ؛ لاسـتخلاص المعـادن الطبيعيـة كالفوسـفات والرمـل والطفلـة والـزلط والبازلـت والحجـر الجيري والرخام(ادارة المحاجر،٢٠٢٠) ، وينتج عن تلك العملية غازات وأتربة ضارة تؤثر بالسلب على كفاءة الإنتاج من الألواح الشمسية.



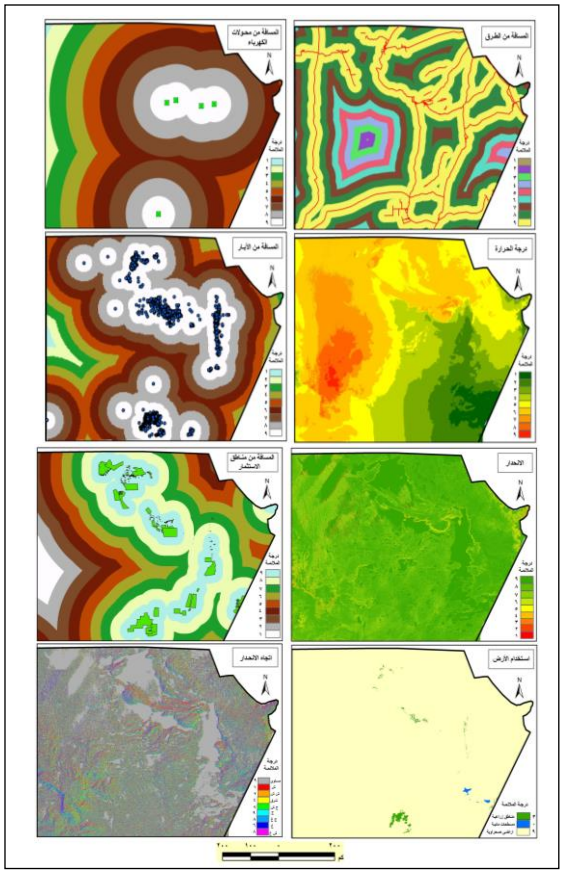


شكل (٢١) مقياس أهمية المعايير

من أعداد الباحثة بالاعتماد على برنامج Arc gis10.3.

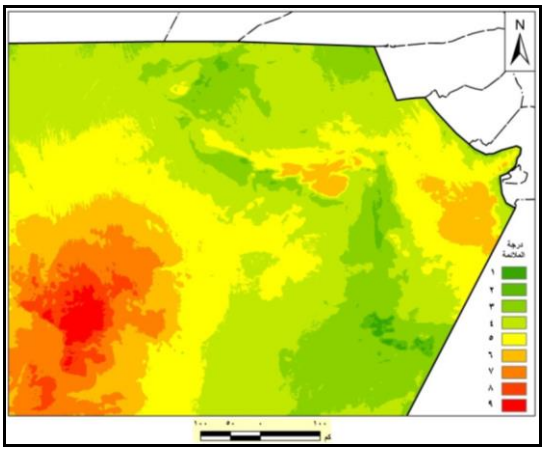
شكل(٢١) تصنيف سطح الوادي الجديد حسب ملائمته للتنمية عام ٢٠٢٠م

٣- إنتاج خريطة لكل معيار على أن يُقسم كل منها إلى تسع فئات متساوية، ثم يُعاد تصنيفها ويُوحد مقياسها جمعيًا من ١ – ٩ بحيث تأخذ الفئات الأقل ملائمة قيمة ١ والأعلى ملائمة قيمة ٩ كما موضح بالشكل (٢١)، وقد خصصت درجة الأهمية الأعلى للمناطق التى يزيد بها نسبة الاشعاع الشمسي، ويقل بها الانحدار والقريبة من شبكة الطرق ومحولات الكهرباء ومناطق الاستثمار الجديدة والآبار وتقل بها درجة الحرارة كما موضح بالشكل(٢٢) والشكل(٢٣).



من إعداد الباحثة بالاعتماد على ملحق(١) و(٣).

شكل(٢٢) معايير تحديد المواقع المثلي للمحطات الكهروضوئية بالوادي الجديد



من إعداد الباحثة بالاعتماد على ملحق(١) و(٣)

شكل(٢٣) مدى ملائمة الاشعاع الشمسي لمواقع المحطات الكهروضوئية

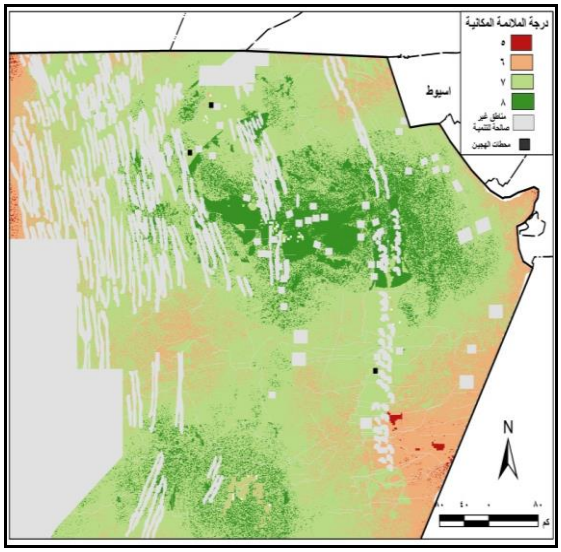
٤- استخدام أسلوب التسلسل الهرمي التحليلى في حساب مصفوفة الأوزان النسبية للمعايير Pairwise Comparison Matrix من خلال المقارنة الثنائية الكمية بين المعايير الفرعية مع بعضها البعض والرئيسة مع بعضها البعض تبعًا لأهميتها النسبية ، ومن ثم وزنها بالنسبة للهدف طبقًا لتصنيف توماس ساتي (Saaty,1987; 1997) كما موضح بالملحق (٣) و(٤).

٥- حساب مؤشر التوافق الاتجاهي the consistency index (CI) لقياس مستوي توافق آراء الخبراء في المقارنة الثنائية بين المعايير كما موضح بالملحق(٥).

٦- التحقق من نسبة التوافق المطلوبة لضمان صحة المقارنة الثنائية من خلال حساب نسبة التوافق the consistency ratio (CR) وذلك بقسمة ناتج مؤشر التوافق CI على متوسط التوافق العشوائي

المحدد وفقًا لمقياس ساتي RI حسب عدد المعايير، والناتج مرفق بملحق(٧)، والذي يبين أن نسبة التوافق فى الآراء تقل عن ١٠% (Kereush D., PerovychI., 2017, Ipid, p46) الأمر الذي يعني عدم تناقض الآراء ونجاح المقارنة الثنائية وصحة الأوزان النسبية للمعايير ، ومن ثم يمكن استخدامها فى ترتيب الأولويات فيما بينها.

٧- دمج خرائط المعايير كل حسب وزنه المحدد مسبقًا WLC مع خرائط مواقع قيود البناء وإنتاج خريطة الملائمة المكانية للمحطات الشمسية الكهروضوئية والموضحة بالشكل (٢٤).



من إعداد الباحثة بالاعتماد على ملحق(٤).

شكل(٢٤) الاماكن المثلى للمحطات الكهروضوئية بمحافظة الوادي الجديد عام ٢٠٢٠م

ويتضح من الناتج السابق أن قيمة الملائمة المكانية تزيد الى ٨ فى المناطق الشمالية والشمالية الشرقية والجنوبية الغربية (شرق العوينات) من محافظة الوادي الجديد، وهي المناطق التى تحققت بها اشتراطات الموقع المحددة مسبقًا بنسبة ٨٠%، والتى تتمثل في زيادة كمية الاشعاع الشمسي، وتناقص درجة الحرارة وانحدار السطح، بالاضافة للقرب من شبكة الطرق، ومحولات الكهرباء، وكذلك القرب من الآبار الجوفية، والمناطق المخصصة للاستثمار الزراعى والصناعي والخدمي.

ويتضح أيضًا أن المحطات الكهروضوئية المركبة بمحطات الديزل الثلاث بالمحافظة تقع فى المناطق المثلى التى تتوسط قيمة درجة ملائمتها الى ٧؛ وما يفسر ذلك أن توطنها تأثر بموقع المحطات بالدرجة الأولى.

سادسًا - الخاتمة

تبين من الدراسة السابقة عدة نتائج يمكن حصرها فيما يأتي:

- تنتشر محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية غير المتصلة لها رواجًا في محافظة الوادي الجديد خاصة بالمناطق النائية التي تفتقر الوصول إلى الشبكات رغم سياسة الدولة المتبعة بدء من عام ٢٠١٤ في ربط محطات الطاقة الشمسية بشبكة الكهرباء.
- اتضح من المسح الميداني لمحطات محافظة الوادي الجديد أنها تضم ٣٥٤ محطة كهروضوئية ؛ ثلاث محطات منها تعمل بالتوازي مع محطات كهرباء الديزل الحرارية وتتوطن فى قرى الفرافرة وأبي منقار

ودرب الأربعين، و ٥٠ محطة بها متصلة بالشبكة، وعدد ٣٠١ محطة غير متصلة بالشبكة الموحدة.

- تتوطن المحطات الشمسية المتصلة بالشبكة بالمنشآت الحكومية الخدمية كالوحدات المحلية والمدارس..الخ، ويستحوذ مركز الخارجة على حوالى نصف قدراتها بالمحافظة.
- كلما زادت قدرات الألواح كلما قلت المساحة اللازمة لإنشاء المحطات عليها ، وكذا عدد الألواح اللازمة لإنتاج كيلو وات واحد من الكهرباء.
- تعمل محطات مولدات الطاقة الشمسية بنسبة تتراوح بين ٤٠-٧٠% من قدراتها الاسمية أثناء النهار وتتوقف أثناء الليل.
- يستحوذ مركز الفرافرة على ٩١,٥% من جملة قدرات محطات الطاقة الشمسية الهجين بالمحافظة ونحو ٩٠,٦% من جملة الكهرباء المنتجة عام ٢٠٢١م.
- ينقطع التيار الكهربي بقري درب الأربعين خلال ساعات الليل ؛ لتوفير كميات الديزل المستخدمة.
- يعد مركزا الفرافرة والداخلة من أكبر المراكز إنتاجًا للكهرباء من محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية غير المرتبطة بالشبكة.
- قطاع الري هو الأكثر إنتاجًا للكهرباء من المحطات الكهروضوئية ؛ إذ يستحوذ على ١٢,٨٤ ميجاوات تمثل ٩٩,٧% من جملة قدرات المحطات غير المرتبطة بالشبكة، ونحو ٦٢,٩ % من جملة قدرات كل المحطات بالمحافظة.
- يقل إنتاج الخلايا الكهروضوئية من الكهرباء خلال فصل الشتاء، فى حين تزيد لتسجل أعلى كمية لها خلال فصل الصيف.
- زيادة إنتاج الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية خلال فصل الصيف بمنطقة الدراسة يتأثر بعدد من العوامل ، منها : زيادة عدد ساعات سطوع الشمس لتتراوح بين ١١,٩ – ١٢,٤ ساعة/يوم، وتعامد الشمس على سطح الأرض خلال فصل الصيف، وزيادة متوسط كمية الإشعاع الشمسي الكلي صيفًا إلى ٢٩,٣ميجاجول/متر٢/يوم، وتوسط درجات حرارة الجو مع الحرارة المثلى اللازمة لتشغيل اللوحات إلى ٣٠,٣ درجة مئوية، بالإضافة لتناقص كل من الرطوبة النسبية إلى ٢١٢٨% والضغط الجوي إلى ١٠٠٧ ملليبار، ونسبة السحب لأقل من ٢,٥%، وزيادة كل من سرعة الرياح إلى ١٣,٤كم/ساعة، وزيادة نسبة الأشعة المنعكسة من سطح الأرض وتناقص نسبة انحداره بمواقع المحطات الشمسية عن ١%.
- تزيد تكلفة إنشاء الكيلو وات من المحطات الكهروضوئية بالقطاع السكني مقارنة بنظيره بطلمبات الري؛ لأنها تشمل على بطاريات ،

وتمثل وحدها ٥٦,٥% من جملة تكلفة المحطات.

- كلما زادت قدرات المحطات كلما قلت تكلفة إنتاج الكيلوات/ساعة منها.
- تزيد التكلفة الإنشائية للمحطات الكهروضوئية ، ولكن مع استدامتها مدة ٢٥ عامًا فإنها تُعد الأوفر اقتصاديا في إنتاج الطاقة الكهربائية مقارنة بانتاجها من المصادر الأخرى على المدى البعيد.
- سيبلغ الوفر المحقق من استبدال وقود الديزل في محطات الهجين للعمل كاملة بالطاقة الشمسية إلى ٣٣٦,٧ مليون جنيه.
- الحد من انبعاث ١٠,٥ مليون كجم من ثاني أكسيد الكربون ؛ نتيجة استخدام الخلايا الكهروضوئية في إنتاج الكهرباء بالمحافظة.
- بينت نتائج تطبيق أسلوب التحليل الهرمي لساتي أن نسبة الأوزان تبلغ أقصاها ١٦% لمتغير الإشعاع الشمسي و١٣,١% لمتغير المسافة من محولات الكهرباء، و١٢,٤ لاستخدام الارض، و ١١,٧% للمسافة من الابار، وتقل عن ذلك فى باقى المتغيرات الى أن تبلغ أدناها ٨% لمتغير المسافة من المناطق المخصصة للاستثمار.
- بلغت نسبة التوافق ٧,٤% الأمر الذي يؤكد نجاح المقارنة الثنائية بين المعايير واعتماد الأوزان الناتجة عنها.
- تختلف معايير تحديد المواقع المثلى للمحطات الشمسية وأوزانها النسبية من مكان لآخر حسب طبيعة العوامل المؤثرة عليها.
- تعد المناطق الشمالية والشمالية الشرقية والجنوبيه الغربية الاكثر ملائمة لمواقع المحطات الكهروضوئية التى يمكن انشاؤها فى المستقبل.

وفي ضوء النتائج السابقة توصي الدراسة بما يأتي: -

- ضرورة ربط محطات الهجين الثلاث بمركزي الفرافرة وباريس بالشبكة الموحدة؛ للحد من انقطاع التيار الكهربي ليلًا بتلك المناطق، وكذلك الحد من استخدام الديزل فى توليد الكهرباء منها.
- ضرورة استبدال الطاقة الشمسية الكهروضوئية مكان الوقود الأحفوري (الديزل) المستخدم في تشغيل طلمبات آبار الري بمحافظة الوادي الجديد ، والتي يبلغ عددها ٨٨٩ بئرًا؛ للحد من انبعاثات ثاني اكسيد الكربون.
- دعم سياسة تحويل طلمبات الآبار المربوطة بشبكة الكهرباء الموحدة للعمل بالطاقة الشمسية الكهروضوئية بدلًا منها باعتباره من أكبر القطاعات استهلاكًا للكهرباء بالمحافظة؛ لتوفير الطاقة المستهلكة من الشبكة من ناحية ، وتوفير التكاليف الناتجة عن ارتفاع بيع الكيلو وات لقطاع الري منها من ناحية أخرى.

- العمل على تنظيف اللوحات الكهروضوئية من الأتربة وبخار المياه بشكل دوري؛ حتى لا تقلل من كفاءة إنتاج الكهرباء منها.
- يراعى عند تركيب المحطات الشمسية أن نترك مسافات بينية بين اللوحات بغرض التهوية والتى تعمل بدورها على الحد من ارتفاع الحرارة المتولدة بداخلها أثناء التشغيل وبالتالى الحد من تناقص إنتاجية اللوحات.
- تشجيع القطاع السكني على استخدام اللوحات الكهروضوئية بتركيبها أعلى أسطح المنازل كالنماذج المركبة بالفعل أعلى مبانى الوحدات المحلية بالمحافظة، وتوفير المساحات المجاورة التي قد تُخصص لها.
- نظرًا للتوسع فى تخصيص مناطق للاستثمار الزراعي والصناعي وغيرها بالمحافظة ؛ فيراعي أن يؤخذ عامل القرب من مواقعها كمعيار عند اختيار المواقع المثلى للمحطات الكهروضوئية ، خاصة وأن أغلبها يتركز بمركز الفرافرة وهو من المراكز غير المتصلة بالشبكة الموحدة للكهرباء.
- يجب أن تُركب المحطات الشمسية بعيدًا عن الكثبان الرملية مسافة ٥٠٠ متر فأكثر ؛ للحد من التعرض لمخاطر حركتها وزحفها عليها، وكذلك مراعاة البعد عن مواقع المحاجر مسافة ٢٠٠متر؛ للحد من إرسابات الأتربة الناتجة عن عمليات التكسير على اللوحات.
- ضرورة تفعيل دور نظم المعلومات الجغرافية في دعم اتخاذ القرار المكاني من خلال استخدام أسلوب التحليل الهرمي AHP ، الذي يعتمد على تقييم المواقع متعدد المعايير MCE وصولًا لتحديد المواقع الأنسب لمحطات الخلايا الكهروضوئية بالمحافظة.
- ضرورة دراسة العوامل المؤثرة على انتاج المحطات الشمسية بالمكان ثم تحديد المعايير والاشتراطات اللازمة لتحديد المواقع المثلى لانشائها فى ضوء تلك العوامل من ناحية وبمساعدة عدد من الخبراء المتخصصين فى تصنيع اللوحات الكهروضوئية من ناحية أخرى، ويراعى كذلك ان لا يتم توحيد الأوزان على مستوى المناطق فالأوزان النسبية لمعايير المحطات الكهروضوئية بمحافظة الوادى الجديد تختلف عن غيرها بالمحافظات الاخرى والعكس صحيح.

قائمة المصادر والمراجع

١- العربية

١) **أحمد أحمد مصطفى(١٩٨٧)**، الخرائط الكنتورية إنشاؤها وتفسيرها وقطاعاتها، دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية.

٢) **إدارة ري الداخلة وشرق العوينات(٢٠٢٠)**، بيان عن خصائص الآبار الفنية بمركز الداخلة، بيانات غير منشورة.

٣) **الجهـــاز المركـــزي للتعبئـــة العامـــة والإحصاء (٢٠١٧)**، النتائج النهائية للتعداد العام للسكان والإسكان والمنشآت.

٤) **جهـاز شـئون البيئـة(٢٠٠٨)**، التوصيف البيئى لمحافظة الوادي الجديد.

٥) **الهيئة العامة للتخطيط العمراني(٢٠٢٠)**، التقريـر النهـائي لنتـائج الرصـد الفعلـي لمشـروع إعـداد الأحـوزة العمرانيـة للعـزب والكفـور والنجـوع التابعـة لمحافظـة الـوادي الجديد.

٦) **الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA (٢٠١٨)**، توقعـات الطاقـة المتجـددة– مصر، أبوظبي.

٧) **سـعيد أحمـد عبـده(١٩٩٩)**، جغرافيـة الطاقـة (مفهومهـا، ومجالهـا ومناهجهـا)، المجلة الجغرافية العربية، العدد٣٤،ج٢.

٨) شـركة النصـر للطاقـة الشمسـية راجـع https://nasrsolar.com

٩) **شـــركة مصـــر الوســـطى لتوزيـــع الكهربـاء (٢٠٢٠)**، قطـاع كهربـاء الـوادي الجديـد، إدارة الشـئون الفنيـة، بيـان عـن محـولات توزيـع الجهـد الكهربـي المتوسـط بمراكـز المحافظـة، بيانـات غيـر منشـورة، ٢٠٢٠م.

١٠) ———— ، قطاع كهرباء الوادي الجديد، إدارة الشـئون التجاريـة، بيـان عـن عـدد المشتركين بمراكز المحافظة، بيانات غير منشورة.

١١) ———— ، هندسة كهربـاء الخارجـة، إدارة الشئون الفنية، بيان عن أطوال شبكة الجهـد العـالي والمـنخفض ومكوناتهـا بالمحافظة، بيانات غير منشورة.

١٢) ———— ، قطاع كهرباء الوادي، قطاع محطات التوليد، بيان عن محطات الطاقة الشمسية بمحافظـة الـوادي، بيانـات غيـر منشورة، ٢٠٢٠/٢٠٢١م.

١٣) **عبـد العزيـز طـريح شـرف(٢٠٠٠)**، الجغرافيـا المناخيـة والنباتيـة مـع التطبيـق علـى منـاخ افريقيا ومنـاخ العـالم العربـي، دار المعرفة الجامعية، الاسكندرية.

١٤) **علـى حسـن موسـى (١٩٩٢)**، أساسيات علم المناخ، دار الفكر المعاصر، دمشق.

١٥) **فاطمـــة عبـــد الرافـــع(٢٠١٦)**، جيومورفولوجيـة الكثبـان الرمليـة وأخطارهـا بمـنخفض الخارجـة باسـتخدام نظـم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الدراسات الإنسانية، جامعة الأزهر.

١٦) **محافظـة الـوادي الجديـد(٢٠٢١)**، إدارة المحاجر، بيان عن مواقع المحاجر والمواد المستخرجة منها ، بيانات غير منشورة.

١٧) **محمد محمود ابراهيم الديب(١٩٩٣)**، الطاقة فى مصر، الأنجلو المصرية، القاهرة.

١٨) **محمد أحمـد ميـاس(٢٠١٣)**، أسـس الاستشعار عن بعد، دار جامعة صنعاء للطباعة والنشر، ط١، الجمهورية اليمنية.

١٩) **محمود توفيق (٢٠١٨)**، منهجية البحث العلمي"مع التطبيق على البحث الجغرافي"، مكتبة الانجلو المصرية، القاهرة.

٢٠) **مسعد سلامة مندور(٢٠٠٢)**، الإشعاع الشمسي في مصر، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة المنصورة.

٢١) **مها عيد عبد الساتر سيد(٢٠١٣)**، الطاقة الجديدة والمتجددة ودورها في التنمية المستدامة للمناطق الريفية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الهندسة، جامعة القاهرة.

٢٢) **نعمان شحاتة (٢٠٠٩)**، علم المناخ، مكتبة الجامعة الاسلامية، غزة، ص٨٠.

٢٣) **نيفين كمال(٢٠١٥)**، إطار لرؤية مستقبلية لاستخدام مصادر الطاقة الجديدة والمتجددة، سلسلة قضايا التخطيط والتنمية، معهد التخطيط القومى.

٢٤) **الهيئة العامة للتخطيط العمراني(٢٠٢٠)**، التقرير النهائي لنتائج الرصد الفعلي لمشروع إعداد الأحوزة العمرانية للعزب والكفور والنجوع التابعة لمحافظة الوادي الجديد.

٢٥) **وزارة الكهرباء والطاقة(٢٠٢٠)**، شركة مصر الوسطى لتوزيع الكهرباء، قطاع كهرباء الوادي الجديد، قطاع محطات التوليد، بيان عن اداء المحطات الشمسية بمحافظة الوادي الجديد، بيانات غير منشورة.

٢٦) **الوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA (٢٠١٨)**، توقعات الطاقة المتجددة– مصر، أبوظبي.

٢– الأجنبية

27) **Ashley J.L. (2019),** Net Metering: In Brief, Congressional Research Service, Unite State, https://crsreports.congress.gov R46010, P1.

28) **Atmaja T.W, Kristi A.A(2018),** Fuel Saving on Diesel Genset using PV/Battery Spike Cutting in Remote Area Microgrid, MATEC Web of Conferences. https://doi.org/10.1051/matecconf/201816401045

29) **ALONSO J.A and LAMATA T.(2006),** CONSISTENCY IN THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS: A NEW APPROACH, International Journal of Uncertainty, Vol. 14, No. 4, pp447-449.

30) **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, P7.

31) **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 No. 1.

32) **Glenn H. (2018)**, How Do Wind and Humidity Affect Solar Panel Efficiency, Solar Learning Center, https://www.solar.com/learn.

33) **Hejmanowska B., & Hnat E.(2009**), Wielokryterialna analiza lokalizacji zabudowy naprzykładzie gminy Podegrodzie (Multi-factoral evaluation of residential area locations: case study of Podegrodzie local authority).

Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing, Vol.20, pp.109-129.

34) **International Renewable Energy Agency(2012)**, RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, Volume 1: Power Sector, Issue 4/5, P22.

35) **International Renewable Energy Agency(2012),** RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES, p22.

36) **Kereush D., Perovych I. (2017)**, Determining criteria for optimal site selection for solar power plants, Geomatics, Landmanagement and Landscape No. 4 , p40

37) **Maharaja K, Pradeep P, etc(2016),** Development of Bidirectional Net Meter in Grid Connected Solar PV System for Domestic Consumers, Conference Paper ,PP1-2.

38) **Ministry of water Resources and Irrigation(2005),** National Water Resources Plan for Egypt-2017, Planning Sector, Cairo.

39) **Muneer, (2004),** "Solar Radiation and Daylight Models". 2nd edn. , Elsevier Ltd.

40) Olaf Bubenzer, Nabil S. Embabi and Mahmoud M. Ashour (2020), Sand Seas and Dune Fields of Egypt, Geosciences journal , p3.

41) **Peter. Haggett(1969**), Locational Analysis in Human Geography, Edward Arnold, London, p5.

42) **Saaty R.W. (1987),** The Analytic Hierarchy Process – what it is and how it is used MATHI Modelling, Vol. 9.

43) **Saaty, T.L. (1997),** "A Scaling method for priorities in hierarchical structures", Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15, pp. 234-81

44) **Sambo A, Zarma I.H. and Ugwuoke P.E. (2012),** Implementation of standard solar PV projects in Nigeria, P12. https://www.researchgate.net/publication/303134242

45) **Wasfi M.(2011),** solar Energy and Photovoltaic Systems, Journal of Selected Areas in Renewable and Sustainable Energy (JRSE), February Edition.

46) **Washington State University Extension Energy Program**(October 2009), Solar Electric System Design-Operation and Installation An Overview for Builders in the Pacific Northwest, www.energy.wsu.edu.

(الملاحق)

ملحق(١) المتوسط الشهري لكمية الكهرباء المنتجة من محطات الطاقة الشمسية الفوتوفولطية المهجن بمحافظة الوادي الجديد خلال المدة من ٢٠١٥ – ٢٠٢٠م، وعلاقتها بالمتوسط الشهري لبعض عناصر المناخ خلال المدة من (١٩٨٣ – ٢٠١٣) م

الشهر / الفصل	كمية الكهرباء م.و.س/ن	كمية الاشعاع الشمسي (ميجاجول/متر٢/يوم)				عدد ساعات سطوع الشمس (ساعة/يوم)			درجة الحرارة (م°)	سرعة الرياح (كم/ساعة)	الرطوبة النسبية (%)	الضغط الجوي (ملليبار)	الأشعة الأرضي (%)	كمية السحب	
		الكلي	المباشر	المنتشر	% من الكلي	الفعلية	الكلية	%						ث	%
ديسمبر	٢٠٧٦,٦	٢٢,٤٩	١٨,٩٢	٣,٥٧	٨٤,١٢	٩,٣٦	١٠,٦	٨٨,٣	١٣,٢٢	١٠,٥٦	٤٩,٠٣	١٠١٧,٩٤	٣٦,٠	٠,٧	٨,٧٥
يناير	١٨٧٣,٤	٢٤,٤٧	٢٠,٨٥	٣,٦٢	٨٥,٢١	٩,٣٧	١٠,٨	٨٦,٨	١١,٩	١٠,٧٢	٤٧,٩	١٠١٨,٤٥	٣٧,٠	١,٢	١٥
فبراير	١٨١٧,٩	٢٨,٤٥	٢٤,٤٧	٣,٩٨	٨٦,٠١	٩,٧	١١,٣	٨٥,٨	١٣,٦٤	١١,٣١	٣٧,٨٧	١٠١٧,١٢	٣٦,٣	١	١٢,٥
شتاء	١٩٢٢,٦	٢٥,١	٢١,٤	٣,٧	٨٥,١٩	٩,٥	١٠,٩	٢٩,٠	١٢,٩	١٠,٩	٤٤,٩	١٠١٧,٨	٣٦,٤	١,٠	١٢,١
مارس	٢١٢٠,٦	٣١,١٨	٢٦,٦٠	٤,٧٨	٨٥,٣١	١٠,٢	١٢,٠	٨٥,٠	١٧,٧١	١٢,٠١	٢٨,٨	١٠١٣,٩٥	٣٥,٣	١,١	١٣,٧٥
ابريل	٢٣٠٥,٢	٣٣,٧٥	٢٨,١٩	٥,٥٦	٨٣,٥٣	١٠,٥	١٢,٨	٨٢,٠	٢٢,٩٨	١٢,٧٥	٢١,٣	١٠١٠,٩٦	٣٨,٠	١,١	١٣,٧٥
مايو	٢٩٠٤,٥	٣٥,٤٥	٢٩,٣١	٦,١٤	٨٢,٦٨	١١,٥١	١٣,٤	٨٥,٩	٢٧,٣	١٣,٤	١٩,٤٦	١٠٠٩,٣٦	٤٠,٠	١,١	١٣,٧٥
ربيع	٢٤٤٣,٤	٣٣,٤٦	٢٨	٥,٥	٨٣,٧٨	١٠,٧	١٢,٧	٨٤,٣	٢٢,٧	١٢,٧	٢٣,٢	١٠١١,٤	٣٧,٨	١,١	١٣,٨
يونيو	٢٩٤٣,٢	٣٨,٨٢	٣٣,٣٣	٥,٤٩	٨٥,٨٦	١٤,١	١٣,٧	٨٩,٢	٢٩,٧٣	١٣,٧٣	١٩,٥٦	١٠٠٨,٠١	٤٢,٠	٠,٢	٢,٥
يوليو	٣١٦٩,١	٣٧,٧٤	٣٢,٠٣	٥,٦١	٨٤,٨٧	١٥,١	١٣,٦	٩١,٥	٣٠,٦٧	١٣,٥٩	٢١,٠٦	١٠٠٦,٥	٤١,٣	٠,٢	٢,٥
اغسطس	٣٠٠٧,٠	٣٥,٦٤	٣٠,٣٩	٥,٢٥	٨٥,٢٧	١٤,٧	١٣,٠	٩١,٧	٣٠,٥٨	١٣,٠٤	٢٢,٨	١٠٠٦,٩٦	٤٠,٠	٠,١	١,٢٥
صيف	٣٠٣٩,٨	٣٤,١	٣١,٩	٥,٥	٨٥,٣٤	١٤,٧	١٢,٢	٩٠,٨	٣٠,٣	١٣,٥	٢١,١	١٠٠٧,٢	٤١,١	٠,٢	٢,١
سبتمبر	٢٨٩٦,٠	٣٣,٥٢	٢٨,٩٦	٤,٥٦	٨٦,٤٠	١٣,٦	١١,١١	٩٠,٣	٢٨,١٣	١٢,٣	١٣,٣٣	١٠٠٩,٧٧	٣٩,٠	٠,٢	٢,٥
اكتوبر	٢٥٩٩,٩	٣١,٢٥	٢٧,٥٢	٣,٧٣	٨٨,٠٦	١١,٩	١٠,٥	٩٠,٥	٢٣,٦٥	١١,٦	١١,٥٨	١٠١٢,٥٨	٣٩,٠	٠,٤	٥
نوفمبر	٢٣٨٧,٥	٢٦,١٦	٢٢,٥٨	٣,٥٨	٨٦,٣١	١٣,٧	٩,٩٨	٩١,٦	١٧,٨٣	١٠,٩١	٤٢,٣٥	١٠١٥,٧١	٣٧,٧	١,١	١٣,٧٥
خريف	٢٦٢٧,٨	٣٠,٣١	٢٦,٣	٤,٠	٨٦,٩٥	١٣,١	١٠,٥	٩٠,٨	٢٣,٢	١١,٩	٣٤,٥	١٠١٢,٧	٣٨,٦	٠,٦	٧,١
المتوسط العام	٢٥٠٨,٤	٢٢,٧	٢٦,٩	٤,٧	٨٥,٢٨	١٠,٧	١٢,٢	٨,٨	٢٢,٣	١٢,٢	٣٠,٩	١٠١٢,٣	٣٨,٥	٠,٧	٨,٨

الجدول من اعداد الباحثة بالاعتماد على:

- الهيئة العامة للأرصاد الجوية، المتوسط السنوي لبعض عناصر المناخ بمحطات الوادي الجديد خلال المدة من (١٩٨١ – ٢٠١٠)، بيانات غير منشورة،
- NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources(POWER),Open Data portal from (1983 – 2013)
- The world Bank and SOLARGIS CO, Global solar Atlas, Open Data portal from (1994 – 2018)
- The world Bank, Global Wind Atlas, Open Data portal from (2008 – 2017)
- Nelson Institute Center for Sustainability and the Global Environment (SAGE), Average Annual Relative Humidity, Atlas of the Biosphere, University of Wisconsin-Madison, USA.

ملحق(٢) مساحة وتكلفة المشاريع الإستثمارية المتعاقد عليها قطاعيًا بمراكز محافظة الوادي الجديد

التكلفة مقدرة بالمليون جنية والمساحة بالألف متر٢

المركز	زراعي وحيواني			صناعي			سياحي			خدمي			الإجمالي				
	العدد	المساحة	التكلفة	العدد	المساحة	التكلفة	العدد	المساحة	التكلفة	العدد	المساحة	التكلفة	العدد	%	المساحة	%	التكلفة	%
الخارجة	٨٨	٩٤٤٢٩,٧	١٥,٤	٢٧	١٢٢,٤	٣٢٢,٦	٧	١٤٠,٣	٨١,٥	١٦	٢١,٣	٣٦,٧	١١١	١٣,٣	٩٤٧١٣,٧	١,٤	٤٥٦,٢	١٩,٦
الداخلة	٢٥٥	٢٣٥١١٤	٧١١,٥	١٤	٨١,٧	٧٥,٤	١٣	٣٧٤,٣	٢٠٣,٢	١٩	١٣	٢٥,٤	٢٨٧	٣٤,٣	٢٣٥٥٨٣	١٦	١٠١٥,٥	٤٣,٧
الفرافرة	٢٩٠	٨٨٨٧٩٢,٧	٣٣٥,٣	٧	١١,٦	١٢,٤	٦	٢٠٤,٤	٢٣١	٢	٣,٣	١٤,٤	٢٩٨	٣٥,٦	٨٨٩٠١٢	٦٠,٦	٥٩٣,١	٢٥,٥
باريس	٢٥	١٥٥٤٩٢,٦	٢٥,٧	-	-	-	٢	١٦٨,١	٢٠١	٢	٨	٧,٢	٢٩	٣,٥	١٥٥٦٦٨,٧	١٠,٦	٢٣٣,٩	١٠,١
بلاط	١١٢	٩٢٧٨٢	٢٤	-	-	-	-	-	-	-	-	-	١١٢	١٣,٤	٩٢٧٨٢	٦,٣	٢٤	١
الجملة	٧٧٠	١٤٦٦٦١١	١١١١,٩	٤٨	٢١٥,٧	٤١٠,٤	٢٨	٨٨٧,١	٧١٦,٧	٣٩	٤٥,٦	٨٣,٧	٨٣٧	١٠٠	١٤١٧٧٥٩,٤	١٠٠	٢٣٢٢,٧	١٠٠

الجدول من إعداد الباحثة بالإعتماد على: محافظة الوادي الجديد، مكتب خدمة المستثمرين، بيان عن الموقف الحالي للمشروعات الاستثمارية بالمحافظة، بيانات غير منشورة، ٢٠٢٠م.

- صندوق استصلاح الأراضي، بيان عن الأراضي المتعاقد عليها للاستصلاح ، بيانات غير منشورة، الوادي الجديد، ٢٠٢٠م.

ملحق (٣) مصفوفة المقارنة الثنائية لمعايير تحقيق الهدف Pair wise comparison matrix

كود المعايير	(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)
(١)	١.٠٠	٠.٨٦	٠.٦٧	١.٠٠	٠.٨٠	٠.٨٠	٠.٧٥	١.٠٩	٠.٧١
(٢)	١.١٧	١.٠٠	٠.٧٨	١.١٧	٠.٩٣	٠.٨٨	٠.٧٥	١.٢٧	٠.٨٢
(٣)	١.٥٠	١.٢٩	١.٠٠	١.٥٠	١.٢٠	١.٢٠	١.١٣	١.٦٤	١.٠٦
(٤)	١.٠٠	٠.٨٦	١.٥٠	١.٠٠	٠.٨٠	٠.٨٠	٠.٧٥	١.٠٩	٠.٧١
(٥)	١.٢٥	١.٠٧	٧.٥٩	١.٢٥	١.٠٠	١.٠٠	٠.٩٤	١.٣٦	٠.٨٨
(٦)	١.٢٥	١.٠٧	٧.٥٩	١.٢٥	١.٠٠	١.٠٠	٠.٩٤	١.٣٦	٠.٨٨
(٧)	١.٣٣	١.١٤	٠.٨٩	١.٣٣	١.٠٧	١.٠٠	١.٤٥	١.٠٧	٠.٩٤
(٨)	٠.٩٢	٠.٧٩	٠.٦١	٠.٩٢	٠.٧٣	٠.٦٩	١.٠٠	١.٠٠	٠.٦٥
(٩)	١.٤٢	١.٢١	٠.٩٤	١.٤٢	١.١٣	١.٠٦	١.٥٥	١.٠٠	١.٠٠
المجموع	١٠.٧٥	٩.٢١	١٤.٧٦	١٠.٧٥	٨.٦٧	٨.٦٠	٨.٠٦	١١.٧٣	٧.٥٩

من حساب الباحثة بالاعتماد على آراء خبراء بمجال الطاقة الشمسية بشركة ابنكار، وتطبيق اسلوب AHP

ملحق (٤) مصفوفة توحيد مقياس الأوزان Normalized pairwise comparison matrix

كود المعايير	(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)	الوزن النسبي %
(١)	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٥	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٨.٨
(٢)	٠.١١	٠.١١	٠.٠٥	٠.١١	٠.١١	٠.١١	٠.١١	٠.١١	٠.١١	١٠.٢
(٣)	٠.١٤	٠.١٤	٠.٠٧	٠.١٤	٠.١٤	٠.١٤	٠.١٤	٠.١٤	٠.١٤	١٦
(٤)	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.١٠	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٩.٤
(٥)	٠.١١	٠.١١	٠.٠٥	٠.١١	٠.١٢	٠.١١	٠.١١	٠.١١	٠.١١	١٠.٣
(٦)	٠.١٢	٠.١٢	٠.٠٥١	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	١٣.١
(٧)	٠.١٢	٠.١٢	٠.٠٦	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	١١.٧
(٨)	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٤	٠.٠٩	٠.٠٨	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٨.٠
(٩)	٠.١٣	٠.١٣	٠.٠٦	٠.١٣	٠.١٣	٠.١٣	٠.١٣	٠.١٣	٠.١٣	١٢.٤

من حساب الباحثة بتطبيق اسلوب AHP

ملحق(٥) مصفوفة حساب مؤشر التوافق الاتجاهي والعنواني CI, CR

كود المعايير	(١)	(٢)	(٣)	(٤)	(٥)	(٦)	(٧)	(٨)	(٩)	مجموع	مجموع/ الوزن
(١)	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٨	٠.١٣	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٨٢	٩.٣٩
(٢)	٠.١٠	٠.١٠	٠.١٠	٠.١١	٠.١٠	٠.١٥	٠.١٠	٠.١٠	٠.١٠	٠.٩٧	٩.٤٨
(٣)	٠.١٣	٠.١٣	٠.١٣	٠.١٤	٠.١٢	٠.١٩	٠.١٣	٠.١٣	٠.١٣	١.٢٥	٩.٤٨
(٤)	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٢٠	٠.٠٩	٠.٠٨	٠.١٣	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٠٩	٠.٩٤	١٠.٠١
(٥)	٠.١٠	٠.١٠	٠.١٠	٠.١١	٠.١٠	٠.١٥	٠.١٠	٠.١٠	٠.١٠	٠.٩٨	٩.٤٧
(٦)	٠.١١	٠.١١	١.٠٠	٠.١٢	٠.١٠	٠.١٦	٠.١١	٠.١١	٠.١١	١.٩٣	١٢.٠١
(٧)	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٣	٠.١١	٠.١٧	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	١.١١	٩.٤٨
(٨)	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.٠٩	٠.٠٨	٠.١٢	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.٠٨	٠.٧٦	٩.٤٨
(٩)	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٣	٠.١٢	٠.١٨	٠.١٢	٠.١٢	٠.١٢	١.١٨	٩.٤٨

من حساب الباحثة بتطبيق اسلوب AHP

ملحق(٦) مؤشر التوافق العشوائي لساتي Random index

Order matrix	٧	٨	٩	١٠	١١	١٢	١٣	١٤	١٥
RI	١.٣٢	١.٤١	١.٤٥	١.٤٩	١.٥١	١.٥٣	١.٥٥	١.٥٧	١.٥٨

ملحق(٧) نتائج التوافق

عدد الأوزان	lambda max	CI	RI	CR
٩	٩.٨٠٧	٠.١٠١	١.٤٥	٠.٠٧

من حساب الباحثة من خلال تطبيق المعادلات التالية:

$$CI = \frac{(\lambda - n)}{(n-1)}, \qquad CR = \frac{CI}{RI},$$

where:
CI – consistency index,
λ – average of consistency vectors,
n – number of factors.

where:
CI – consistency index,
RI – random index.

Kereush D, Perovych I (2017), Ibid, p46.