معايير وتقنيات تحديد المواقع المثلى لتوليد الطاقة الشمسية في ضوء التغيرات المناخية المعاصرة "دراسة مرجعية "

اد. / زينهم السيد مجد *

ملخص : على الرغم من الأثار السلبية الكبيرة للتغيرات المناخية ، والتي امتدت لتشمل كافة دول العالم ، ونبه التقرير السادس للهيئة الدولية الحكومية المعنية بتغير المناخ (IPCC) ، وفي النسخة السابعة والعشرين من مؤتمر الاطراف (cop27) الذي عقد في مصر عام ٢٠٢٢م الى امكانية زيادتها ، ارتفع مستوى الطلب على الطاقة والضغط على مصادر الطاقة التقليدية وبخاصة النفط ، إلا إن احتراق الوقود الاحفوري كالبترول والفحم نتج عنه ارتفاع نسب غازات الاحتباس الحراري ، مما يخلف آثار سيئة سواء على مكونات النظام البيئي بصفة عامة ، و صحة الإنسان بصفة خاصة .

وقد اهتم مؤتمر الأطراف(cop27) بتوطين مصادر الطاقة المتجددة والاستثمار بها وبخاصة الطاقة المستمدة من عناصر المناخ والمتمثلة في الإشعاع الشمسي والرياح ، باعتبارها خياراً لا بديل عنه من الناحية الاقتصادية والبيئية ، ومصدراً نظيفاً ومتجدداً يمكن أن يحل بشكل تدريجي محل الفحم ومشتقات البترول ، كما أن ارتفاع التكلفة الاقتصادية لإقامة مشروعات الطاقة المتجددة جعلها تخضع لاعتبارات اقتصادية (الربح والخسارة) ، مما يستلزم التخطيط الجيد الذي يراعي متطلبات المشروع وخصائص الموقع والذي يضمن استمرارية المشروع و نموه ، و تعتبر ظروف المناخ من أهم الاعتبارات التي يجب أن تراعى عند اختيار الموقع المناسب لتوليد الطاقة المتجددة.

وقد سعى الباحث الى رصد و تحليل المعايير والتقنيات المستخدمة في اختيار المواقع المثلى لتوليد الطاقة الشمسية في عينه من الابحاث العلمية العالمية والمحلية (٥٤ بحث) خلال المدة من عامي ٢٠٠٠ الى ٢٠٠٩م ، و الوقوف على اهم التطورات والمستجدات التي شهدتها ، وتوصل الى اعتمادها على اسلوب القرار متعدد المعايير (MCDM) في تحديد المواقع الانسب لتوليد الطاقة الشمسية ، عناصر المناخ بصفة عامة هي المعيار الاوحد في الاختيار ، وانما دخلت معايير أخرى تتعلق بجيومورفولوجية سطح الارض مثل : الانحدار و اتجاه و الارتفاع ومعايير تتعلق بالخدمات واستخدامات الارض مثل :البعد عن الطرق و خطوط نقل الكهرباء و العمران و المسطحات المائية والأراض الزراعية و المحميات الطبيعية و المناطق الأثرية ، ومعايير تتعلق بالسكان مثل عدد السكان و نسبة البطالة .

تم الاعتماد على اساليب اعطاء وزن نسبي للمتغيرات ومن أهمها: اسلوب التحليل الهرمي(AHP) و اسلوب التسلسل الهرمي الضبابي (Fuzzy AHP) واسلوب الشبكة التحليلية (ANP) واسلوب ترتيب الافضلية وفقاً للتشابه أو الاقتراب من الحل المثالي (TOPSIS) ، واستخدام برنامج Expert choice في عمل مصفوفات الوزن النسبي للمتغيرات الرئيسية والثانوية ، واستخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من البعد في عمليات التحليل المكاني للبيانات.

كلمات مفتاحية : تغيرات مناخية ، طاقة متجددة ، طاقة شمسية .

* استاذ المناخ التطبيقي ونظم المعلومات الجغرافية بكلية الآداب - جامعة كفر الشيخ.

مقدمة:

شهد العالم في القرن الحادي والعشرين زيادة كبيرة في أعداد السكان وبخاصة في المدن ، علاوة على ارتفاع مستوى الرفاهية ، مما أدى الى ارتفاع مستوى الطلب على الطاقة ومن ثم الضغط على مصادر الطاقة التقليدية ، الأمر الذي أدى الى ارتفاع أسعار النفط بصفته المصدر الرئيس لتوليد الطاقة في العالم ، إلا إن احتراق الوقود الاحفوري كالبترول والفحم نتج عنه ارتفاع نسب غازات الاحتباس الحراري (GHG) وبخاصة في أجواء المدن ؛ فقد أوضح التقرير السادس للهيئة الدولية الحكومية المعنية بتغير المناخ (IPCC) أن معظم انبعاثات الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري تخرج من المدن ، مما يخلف آثار سيئة سواء على مكونات النظام البيئي بصفة عامة ، أو على صحة الإنسان بصفة خاصة .

ومن المرجح ازدياد الآثار السلبية لزيادة فعالية الاحتباس الحراري في القريب العاجل ؛ فقد أشار Jane and Walter (2011) أنه وفقاً لتقارير البنك الدولي بحلول عام ٢٠٥٠م سيصل عدد سكان العالم إلى٩مليار نسمة ، وسيزداد عدد سكان الدول النامية و يتحسن مستوى معيشتهم، وسيترتب على ذلك ازدياد الطلب على الطاقة ، لذا من المتوقع أن يتضاعف حجم غازات الاحتباس الحراري، وسيترتب على ذلك ارتفاع درجة حرارة الأرض بحلول عام ٢١٠٠م من ٣,٧ الى ٤,٨ درجة مئوية وفقاً لتقرير برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP,2017,p.11).

ومن ثم يخضع العالم الآن لاختبار صعب ، يتمثل في محاولة توفير متطلباته المتزايدة من الطاقة ، مع الحفاظ على سلامة وتوازن النظام البيئي ، ولن يتحقق ذلك إلا بإيجاد مصادر طاقة بديلة نظيفة ومتجددة ، لتحل تدريجياً محل الفحم ومشتقات البترول ، أو الطاقة النووية التي لا تؤمن أثارها السلبية على البيئة ، ومن أهمها الطاقة المستمدة من أشعة الشمس وحركة الرياح.

وفي الآونة الأخيرة زاد الاهتمام على مستوى دول العالم بمصادر الطاقة المتجددة ، وبخاصة الطاقة المستمدة من عناصر المناخ والمتمثلة في الإشعاع الشمسي والرياح ، باعتبارها خياراً لا بديل عنه من الناحية الاقتصادية والبيئية ، ومصدراً نظيفاً ومتجدداً يمكن أن يحل بشكل تدريجي محل الفحم ومشتقات البترول ،الا أن ارتفاع التكلفة الاقتصادية لإقامة مشروعات الطاقة المتجددة سواء على مستوى الحكومات أو الشركات الخاصة جعلها تخضع لاعتبارات اقتصادية (الربح والخسارة) ، مما يستلزم التخطيط الجيد الذي يراعي متطلبات المشروع وخصائص الموقع والذي يضمن استمرارية المشروع و نموه ، و تعتبر ظروف المناخ من أهم الاعتبارات التي يجب أن تراعى عند اختيار الموقع المناسب لتوليد الطاقة المتجددة.

تعتبر مشكلة العشوائية وعدم التخطيط الجيد قبل اقامة مشروعات انتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية أولى خطوات فشلها، حيث ينخفض العائد المادي من الطاقة المنتجة مقارنة بنفقات التشغيل والصيانة وهنا تكمن الاشكالية ، و يعد البحث العلمي وبخاصة في مجال المناخ التطبيقي من أهم دعائم نجاح مشروعات الطاقة المتجددة ، فمن خلال نتائجه يمكن تحديد النطاقات والمواقع الأنسب لإقامة تلك المشروعات ، مما يضمن تحقيق الجدوى الاقتصادية منها ويضمن استمراريتها ونموها ، وقد شهدت الابحاث العلمية التطبيقية في مجال الطاقة المتجددة في السنوات العشر الأخيرة تطوراً ملحوظاً ، تمثل في زيادة اعدادها وانتشارها في معظم دول العالم سواء

المتقدمة أو النامية على حد سواء ، واعتمادها على أساليب وتقنيات متطورة جعلت نتائجها مصدراً موثوقاً للمعلومات التي يحتاجها متخذ القرار.

ومن هنا تنبع الأهمية التطبيقية للبحث ، والذي يسعى الباحث من خلاله الى رصد و تحليل الابحاث العلمية في مجال تحديد دور المناخ في اختيار المواقع الأنسب لتوليد الطاقة الشمسية ، والتي صدرت في الآونة الأخيرة و الوقوف على اهم التطورات والمستجدات التي شهدتها ، وبخاصة الاساليب والتقنيات والنتائج .

اولاً: أهداف البحث.

١-القاء الضوء على مفهوم وأنواع الطاقة المتجددة مع التركيز على الطاقة الشمسية .

٢- تحديد المستوى الحالي لإنتاج مصر والعالم من أهم أنواع الطاقة المتجددة وبخاصة الطاقة الشمسية .

٣-التعرف على طرق توليد الكهرباء من عناصر المناخ مع التركيز على أشعة الشمس.

٤- ابراز الدور الكبير لعناصر المناخ في تحديد المواقع الأنسب لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية .

٥-الوقوف على طبيعة التطور العددي والتوزيع الجغرافي وأهم المجلات العلمية للبحوث في مجال الطاقة المتجددة.

٦-اظهار التغير في مستوى اعتماد البحوث العلمية على معيار المناخ في تحديد المواقع الانسب لإنتاج الطاقة الشمسية خلال المدة من ٢٠١٠الى ٢٠١٩م .

٧- رصد السمات العامة ونقاط التشابه والاختلاف بين البحوث العلمية التي تناولت تحديد مواقع انتاج الطاقة الشمسية ، مع مقارنتها بالأبحاث المصرية .

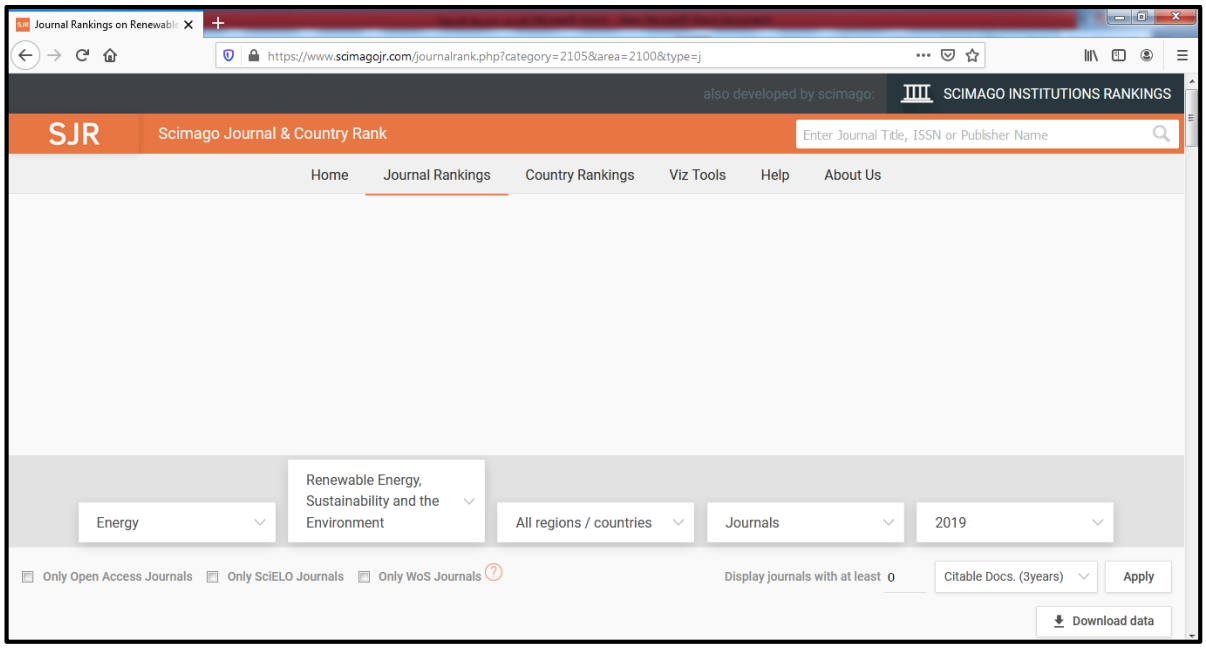
ثانياً : مناهج البحث وأساليبه:

١- المنهج الببليومتري: استخدم في التحليل الكمي لبعض متغيرات الابحاث العلمية المنشورة في مجال الطاقة المتجددة ، والمتمثلة في تطور أعدادها وأهم الدول على مستوى العالم في مجال النشر.

٢- اسلوب الدراسة المسحية :البحث في شبكة المعلومات العالمية عن أهم المجلات العالمية في مجال الطاقة بصفة عامة والطاقة المتجددة بصفة خاصة ، وأهم الدول في هذا المجال البحثي ، وقد تم استخدام موقع سيماجو(scimago) في ذلك لأنه يعد من أهم المواقع الالكترونية صورة (١) ، والتي تسجل كافة الاحصاءات التي تم احتسابها على قاعدة بيانات سكوبس(Scopus) ، وقد تركز البحث في أهم المجلات العلمية في مجال الطاقة المتجددة ملحق (١) باستخدام بعض الكلمات المفتاحية مثل:solar energy ، potential sites ، solar park ، Renewable energy ، solar plants.

٣- اسلوب دراسة الحالة: اختيار عينه من الابحاث العلمية بلغت ٥٤ بحثاً ، روعي في اختيارها أن تعبر عن كافة الاتجاهات البحثية في مجال اختيار مواقع انتاج الطاقة الشمسية ، وتعكس ما تحتويه تلك الابحاث من تنوع في المناهج و التقنيات ، و ان تشتمل على ابحاث لمصريين منشوره دولياً و محلياً(١٢ بحث بنسبة ٢٢% تقريباً).

٤- اسلوب تحليل المحتوى : تحليل المحتوى العلمي للبحوث للوقوف على أهم النقاط المشتركة والتي قد تشكل اتجاهاً عاماً للبحوث ، باستخدام بعض المعايير مثل :الحيز الجغرافي للدراسة و نوعية البيانات ومصادر الحصول عليها وأهم البرامج والاساليب الاحصائية والتقنية المستخدمة.



المصدر: https://www.scimagojr.com/journalrank.php?category=2105&area=2100&type=j

صورة رقم (١) واجهة موقع سيماجو الالكتروني(scimago)

ثالثاً: أنواع الطاقة المتجددة.

تعرف الطاقة المتجددة (Renewable energy) بأنها الطاقة المشتقة من الموارد الطبيعية للأرض غير المحدودة أو المستنفدة ، مثل الرياح وضوء الشمس وتعد بديلاً للطاقة التقليدية المستنفذة التي تعتمد على الوقود الأحفوري ، وتميل إلى أن تكون أقل ضررا على البيئة ، و تشتق الطاقة المتجددة من العديد من المصادر :

١-الطاقة الشمسية (solar energy) ، وهي الطاقة المستمدة من أشعة الشمس حيث يتم تحويلها الى حرارة أو كهرباء أو ماء ساخن .

٢-طاقة الرياح (wind energy) ، وهي الطاقة التي يتم استخلاصها من حركة الرياح ليتم تحويلها الى كهرباء عن طريق حركة التوربينات.

٣-الطاقة الكهرومائية (Hydropower) تستخلص من تدفق المياه عبر القنوات المائية و فتحات السدود المائية والتي تحرك توربينات تحول الطاقة الحركية الى كهرباء .

٤-الطاقة المستمدة من حرارة باطن الأرض (Geothermal energy) ، تستمد هذه الطاقة من الحرارة الجوفية المحتجزة تحت القشرة الأرضية منذ تكوين الأرض قبل ٤,٥ مليار سنة ومن التحلل الإشعاعي في بعض الأحيان ، حيث تتسرب كميات كبيرة من هذه الحرارة بشكل طبيعي في صورة انفجارات بركانية أو سخانات، ويتم التقاط هذه الحرارة باستخدام البخار الذي يأتي من ضخ المياه الساخنة تحت السطح ، والذي يرتفع بعد ذلك إلى الأعلى ويمكن استخدامه في تشغيل التوربينات.

٥-الطاقة المستمدة من حركة الأمواج و المد والجزر، تستغل الحركة الميكانيكية للمياه في توليد الطاقة الكهربائية.

٦-الطاقة الحيوية (Bioenergy) وهي الطاقة المستمدة من الكتلة الحيوية Biomass، ومن أبرز صورها غاز الميثان الناتج عن التحلل الطبيعي للمواد العضوية في البرك أو مدافن النفايات الحيوانية أو البشرية.

رابعاً : انتاج مصر والعالم من الطاقة المتجددة مع التركيز على الطاقة الشمسية.

زاد الاهتمام عالمياً بمصادر الطاقة المتجددة ، وبخاصة الطاقة المستمدة من الإشعاع الشمسي والرياح كمصدر نظيف ومتجدد ليحل بديلا للفحم ومشتقات البترول، فوفقاً لتقرير الاحصائي للوكالة الدولية للطاقة المتجددة IRENA بلغ إنتاج العالم من الكهرباء من خلال مصادر الطاقة المتجددة عام ٢٠١٨م نحو ٦,٥٩ مليون جيجاوات ساعة ، بزيادة بلغت نحو ٥٦,٧% عن الانتاج ذاته عام ٢٠١٠م ، يأتي معظم الانتاج (٦٤,٨%) من خلال الطاقة المائية ، حيث استحوذت على نحو ٤,٣ مليون جيجاوات ساعة (IRENA,2020,p.p.3-11).

وقد بلغت كمية الطاقة الكهربائية المولدة من الرياح في عام ٢٠١٨م نحو ١,٢٦ مليون جيجاوات ساعة ، بزيادة بلغت نحو ٢٦٨,٤% عن الانتاج ذاته عام ٢٠١٠م ، بينما بلغت كمية الطاقة الكهربائية المولدة من أشعة الشمس في عام ٢٠١٨م نحو ٥٦٢ألف جيجاوات ساعة ، بزيادة بلغت نحو ١٥٦٢,٢% عن الانتاج ذاته عام ٢٠١٠م ، و يتم توليد معظم الطاقة الكهربائية بواسط أشعة الشمس عن طريق الخلايا الكهروضوئية ، حيث تستحوذ على نحو ٥٤٩,٨ ألف جيجاوات ساعة بنسبة بلغت ٩٧,٨% ، في حين يتم توليد باقي الكمية (١٢,٢ألف جيجاوات ساعة) عن طريق المركزات الشمسية (IRENA,2020,p.p.27-57).

وعلى المستوى المحلي شهد قطاع الكهرباء في مصر تطوراً ملحوظاً خلال الخمس سنوات الماضية ، فقد قفز انتاج مصر من الطاقة الكهربائية عام ٢٠٢٠ –٢٠٢١ م ليصل الى ٢٠٤٧٩٤ جيجا وات ساعة ، محققاً نسبة نمو بلغت ١٧,١% مقارنة بالإنتاج عام ٢٠١٤–٢٠١٥م و الذي بلغ ١٧٤٨٧٥ جيجا وات ساعة .

وعلى الرغم من أن الدولة تستهدف الوصول بمشاركة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة الوطني إلى ٢٠% بحلول عام ٢٠٢٢ م مع إمكانية مضاعفتها بحلول عام ٢٠٣٥(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، ٢٠١٩، ص ٥) ، لم تتخطى نسبة الطاقة الكهربائية المولدة من المصادر المتجددة سواء أشعة الشمس أو الرياح أو حركة المياه طيلة هذه السنوات عن ٢,٤%و ٢,٦ %و٧,٢% من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة على الترتيب ، مما يشكل نسبة ١٢,٢ % من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة في العام ذاته ، ويشير جدول (١) الى أن كمية الطاقة الكهربائية المولدة من الاشعاع الشمسي لم تتجاوز ٤٩٤٥ جيجا وات ساعة ، ويشكل نحو ٢,٤% من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة عام ٢٠٢٠ –٢٠٢١م ، في حين بلغ اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة من أشعة الشمس والرياح عام ٢٠٢٠ –٢٠٢١ م نحو ١٠٢٠٢ جيجا وات ساعة ، و يشكل نحو ٥% من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة في مصر في العام ذاته ، ويشير الشكل رقم (١) الى المواقع الرئيسية لتوليد الطاقة المتجددة في مصر .

خامساً: طرق توليد الطاقة الكهربائية من عناصر المناخ مع التركيز على أشعة الشمس.

تسهم عناصر المناخ بدور كبير في توليد الطاقة المتجددة في مصر والعالم ، حيث تستغل الطاقة المستمدة من عنصري الإشعاع الشمسي والرياح في استخدامات عديدة من أهمها انتاج الكهرباء ؛ فالضغط الذي تمارسه الرياح على عنافات الطواحين الضخمة التي تواجه اتجاه هبوب الرياح بصورة رأسية يتسبب في تحركها بصورة دائرية ، و قد اشار Ding et al. (2013) الى ان أي تضاعف في سرعة الرياح يزيد من طاقة الرياح ثماني مرات.

تستغل الطاقة المستمدة من الاشعاع الشمسي في الكثير من الاستخدامات ؛ فأشعة الشمس تستغل بطريقة

مباشرة في الاضاءة الطبيعية للمباني ، و يستغل التأثير الحراري لأشعة الشمس بصورة مباشرة في تجفيف المحاصيل الزراعية وعن طريق بعض الأجهزة البسيطة في أغراض الطهي و تسخين المياه ، الا أن الاستخدام الأكبر للطاقة المستمدة من أشعة الشمس يتمثل في توليد الكهرباء ، ويحدث ذلك بعدة طرق من أهمها المركزات الشمسية والخلايا الكهروضوئية

جدول (١) تطور الطاقة الكهربائية المولدة من المصادر المتجددة و نسبتها من اجمالي الجمهورية (ج . و. س)

السنوات	الشمسية		الرياح		المائية	
	الطاقة المولدة	%	الطاقة المولدة	%	الطاقة المولدة	%
٢٠١٤-٢٠١٥م	٠	٠	١٤٤٤	٠,٨	١٣٨٢٢	٧,٩
٢٠١٥-٢٠١٦م	١٦٨	٠,١	٢٠٥٨	١,١	١٣٥٤٥	٧,٣
٢٠١٦-٢٠١٧م	٥٨٠	٠,٣	٢٢٠٠	١,٢	١٢٨٥٠	٦,٨
٢٠١٧-٢٠١٨م	٥٣٧	٠,٣	٢٣٣٤	١,٢	١٢٧٢٦	٦,٥
٢٠١٨-٢٠١٩م	١٥٢٥	٠,٨	٣٠١٨	١,٥	١٣١٢١	٦,٦
٢٠١٩-٢٠٢٠م	٤٤٣٠	٢,٣	٤٢٣٣	٢,١	١٥٠٣٨	٧,٦
٢٠٢٠-٢٠٢١م	٤٩٤٥	٢,٤	٥٢٥٧	٢,٦	١٤٧٦٩	٧,٢

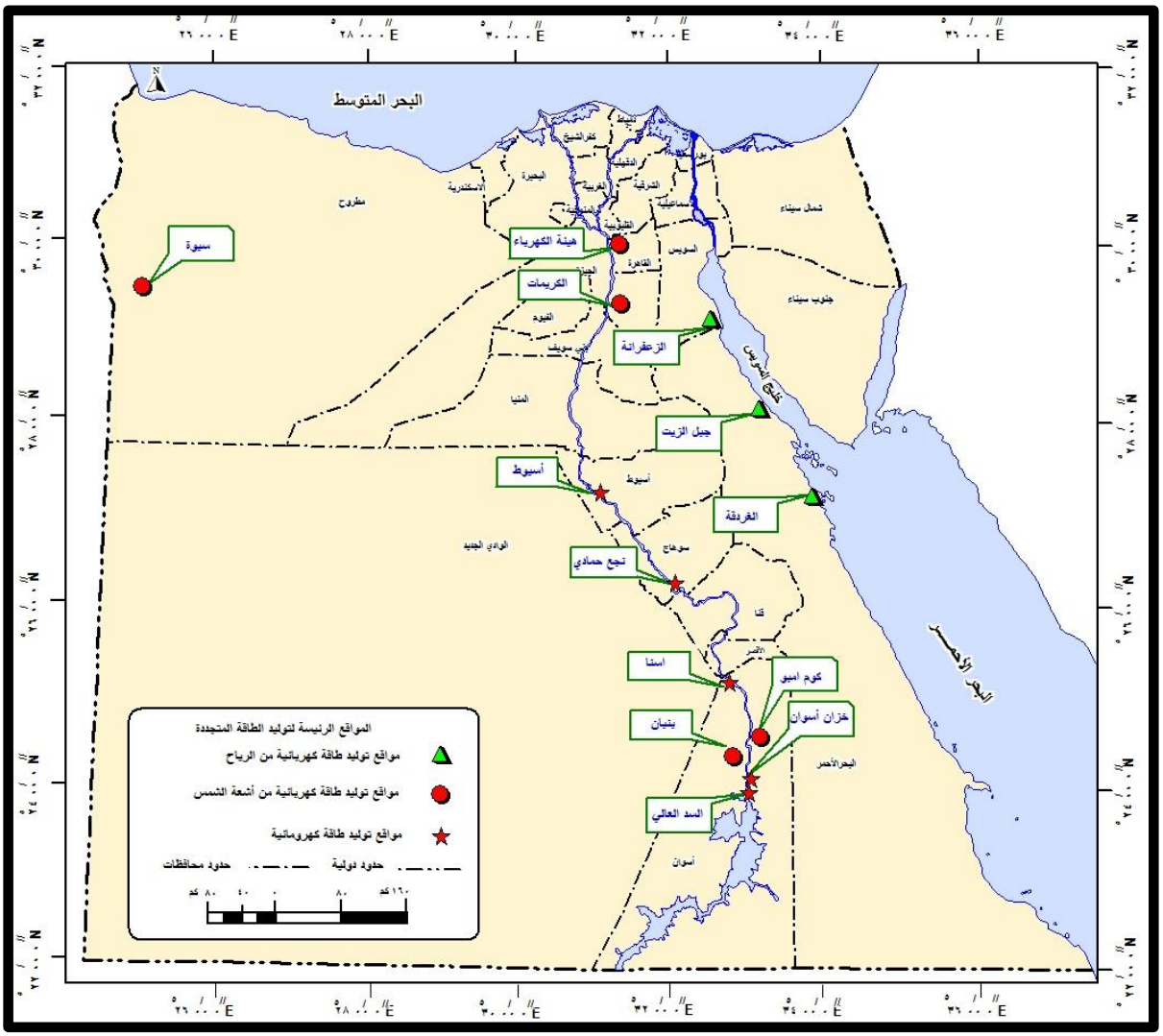
المصدر : وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة – الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ٢٠١٤-٢٠٢٠م.

١- منظومة توليد الكهرباء من المركزات الشمسية Concentrated solar power (CSP)

تقوم المركزات الشمسية بتحويل طاقة الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية ، لتستغل بعد ذلك في إدارة توربينه بخارية لإنتاج الكهرباء ، وتتلخص فكرتها في تجميع الاشعاع الشمسي المباشر من خلال مرايا الى مستقبلات تحتوي على سائل ناقل للحرارة مثل الماء أو الملح المصهور، وهو نظام باهظ التكلفة مقارنة بباقي وسائل توليد الطاقة المتجددة ، وتتمثل تكلفته الاساسية في مستودعات تخزين الطاقة الحرارية (Jenkins and Ramamoorthy,2020,p.293) ، ومن الممكن تكامل المركزات الشمسية مع محطات التوليد التقليدية للاستفادة بربط هذه النظم بالشبكة الكهربائية ، وخير مثال على ذلك محطة الكريمات الحرارية في مصر صورة رقم (٢) ، والتي تم تشغيلها تجارياً وربطها بالشبكة القومية عام ٢٠١١م وتضم ثلاث وحدات بخارية وغازية وشمسية ، وتبلغ القدرة الاجمالية للوحدة الشمسية ٢٠ ميجاوات (http://www.nrea.gov.eg/Technology/HeatingSystems) ، علاوة على ذلك يمكن استخدام الطاقة الشمسية في تحلية مياه البحر، وتتكون المركزات الشمسية مما يلي :

-العاكس (Reflector) وهو سطح منحني مطلي بمادة لامعة مثل الالمونيوم والفضة ، يهدف الى تجميع و عكس أشعة الشمس المباشرة التي تسقط علية نحو المستقبل ، ولا يشترط أن يكون قطعة واحدة ، فقد يكون عبارة عن عدة شرائح مستوية الى جانب بعضها البعض كما هو الحال في المركز المخروطي Conical Concentrator ، أو قد يكون قطع مستوية من المرايا تميل بزاوية نحو مستقبل مركزي Frensel Mirrors، ومن أهم أنواع العاكس و أوسعها انتشاراً في العالم العاكس قطع المكافئ Parabolic trough .

- المستقبل (Receiver) يستقبل أشعة الشمس من العاكس مما يؤدي تسخين السائل الناقل الذي يوجد بداخله الى درجة حرارة تتراوح بين ١٥٠- ٣٥٠ درجة مئوية ، و قد يكون السائل الناقل ماء أو محلول ملحي أو زيت ، تستطيع هذه الحرارة و ضغط البخار الناتج عنها ادارة توربينة توليد الكهرباء.
- نظام تتبع Tracking Systems يهدف الى توجيه المرايا العاكسة باتجاه أشعة الشمس المباشرة على مدار ساعات النهار .



شكل (١) التوزيع الجغرافي للمواقع الرئيسة لتوليد الطاقة المتجددة في مصر

٢- منظومة توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية Solar photovoltaic (PV)

تشمل منظومة توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية العديد من المكونات ، لكل مكون وظيفة محددة ، تتكامل تلك الوظائف فيما بينها لتحقق الهدف المرجو منها وهو توليد الكهرباء من أشعة الشمس بطريقة مباشرة ، تتباين منظومات الخلايا الكهروضوئية في نوعية وحجم مكوناتها وفقا لنوع المنظومة أو الغرض منها ، وفيما يلي شرح لتلك المكونات :

- **مكونات المنظومة.**

تعد الخلايا الكهروضوئية المكون الرئيس في المنظومة ، حيث تقوم بوظيفة التوليد المباشر للكهرباء من أشعة الشمس، كما أن تكلفتها تتعدى نصف تكلفة منظومة التوليد كاملة (Agroui,2012,p.857) ، وتتركب من مواد شبه موصلة (semi-conductor) أهمها السيلكون ثم الكادميوم ، يضاف إليها نسب صغيرة من مواد أخرى كالفسفور والزرنيخ ، عندما يتعرض السيلكون لأشعة الشمس تتحفز الكتروناته وتتحرر من مداراتها مكونه شحنات سالبة ، بينما تترك مكانها فجوات موجبة الشحنة (Chenming&Richard,1983,p.39) ، يتحرك كلا النوعين من الشحنات إلى خطوط نقل معدنية (Busbars) تسمح بتدفق التيار الكهربائي ، وعادة ما تصنع تلك الخطوط من الفضة ، وتكسب الخلية مظهر جمالي ومتانة وقدرة على تحمل الظروف الجوية مثل الرياح والحرارة .

تدعم شرائح السيلكون بألواح زجاجية تكسبها متانة وقدرة على تحمل الظروف الجوية ، وفي الوقت نفسه تسمح بنفاذ أشعة الشمس ، وعادة ما يكون الزجاج من النوع الجيد (سيكوريت مقوي سمك ٣,٢مليمتر) ، وكلا سطحيه خشن مما يسمح بامتصاص أكبر قدر ممكن من أشعة الشمس .

المصدر : https://www.google.com/maps

صورة (٢) عاكس من المكون الشمسي في محطة الكريمات

تختلف الخلايا الكهروضوئية المتاحة في الأسواق التجارية وفقا لنوع كريستالات السيلكون المصنعة منها ؛ فقد تكون أحادية الكريستالات (Monocrystalline) أو متعددة الكريستالات (polycrystalline) ، أو سيلكون غير متبلور (Amorphous silicon) ، وحديثاً تم تدشين نوعية جديدة من الخلايا تتسم بسمكها الصغير ومرونتها وسهولة تشكيلها تعرف بالخلايا الرقيقة (Thin film) .

يتم تجميع وربط عدد من الخلايا الكهروضوئية معاً في إطار معدني – غالباً ما يكون من الالومنيوم – بهدف زيادة الطاقة الكهربائية المنتجة ، يطلق عليه وحدة فولتوضوئية (PV Module) ، وللهدف نفسه يتم أيضاً تجميع وربط عدد من الوحدات الفولتوضوئية ببعضها لتشكل مجموعة فولتوضوئية (PV Array) .

علاوة على الخلايا الكهروضوئية توجد مكونات أخرى الصمامات (Fuses) وتهدف إلى تقليل الفقد من إنتاج الكهرباء ، وأهمها الصمامات الثنائية (Bypass Diodes) ، و المحولات inverters يهدف هذا المكون إلى تحويل

التيار الكهربائي المستمر (DC) الذي تنتجه الخلايا إلى تيار متردد (AC) ليناسب الأجهزة المنزلية المختلفة ،و البطاريات (Batteries) تستخدم لغرض تخزين الكهرباء بغرض استخدامها أثناء الليل أو في أوقات الطقس الغائم ، و الشاحن (charge controller) يستخدم في تنظيم عملية شحن البطاريات الشمسية من التيار الكهربائي الذي تنتجه الخلايا الكهروضوئية ، وعداد الكهرباء (Electricity meter) يستخدم في قياس كمية الكهرباء المتحركة من وحدة الخلايا إلى شبكة الكهرباء والعكس ، ويوجد في أنظمة التوليد المتصلة بالشبكة ، و الكابلات (Wire) و مفاتيح التحكم (Controls) والحوامل والتركيبات المعدنية (mounting) ، و نظام تتبع أشعة الشمس (Tracking System) يوجد في الأنظمة المتحركة ، ويهدف إلى تعظيم كفاءة التوليد من خلال تحريك ألواح الخلايا وتغيير زواياها الرأسية والأفقية لتبقي أشعة الشمس متعامدة عليها طيلة ساعات النهار .

- **أنواع منظومات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية.**

تصنف منظومات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية وفقا لعدة معايير أهمها مقدار الطاقة المنتجة ، والاتصال بالشبكة القومية للكهرباء من عدمه ، حركة ألواح الخلايا الكهروضوئية أو ثباتها ، وفيما يلي عرض لأهم أنواع المنظومات :

فوفقاً لمقدار الطاقة المنتجة ، تصنف المنظومات وفقاً لهذا المعيار إلي منظومات كبيرة: أسست لغرض تجاري ، وتتسم بأن إنتاجيتها كبيرة وتقاس بوحدة الميجاوات ساعة ، وخير مثال على ذلك : مجمع بنبان الشمسي للخلايا الكهروضوئية في أسوان بجنوبي مصر صورة رقم (٣) ، والذي تم تشغيله عام ٢٠١٨م بقدرة اجمالية بلغت ١٤٦٥ ميجاوات ، و محطة سيوة بقدرة ١٠ ميجاوات ساعة ، ومحطة كوم أمبو بقدرة ٢٦ميجاوات بالتعاون مع الوكالة الفرنسية للتنمية(AFD) ، والمحطة الجاري تنفيذها في الغردقة بقدرة ٢٠ ميجاوات ساعة بالتعاون مع الوكالة اليابانية للتعاون الدولي (JICA) ، ومنظومات متوسطة: تستخدم في توفير الكهرباء للأبراج السكنية والمؤسسات الكبيرة ، وتتسم بإنتاجيتها المتوسطة والتي تقاس بوحدة الكيلووات ساعة ، وخير مثال لهذا النمط المحطة الكهروضوئية قدرة ٤٢ كيلووات بمبنى وزارة الكهرباء والطاقة المصرية والتي تتكون من عدد ٩٦ لوح خلايا كهروضوئي(وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة، ٢٠١٥) ، و منظومات صغيرة: تستخدم في إمداد المنازل بمتطلباتها الكهربائية ، أو توليد الكهرباء بغرض رفع المياه من الآبار الجوفية ، أو تشغيل محطات بث الهاتف المحمول ، وتقاس إنتاجيتها بوحدة الوات ساعة ، ومنظومات متناهية الصغر ، مثل أعمدة إنارة الشوارع ، وخير مثال على ذلك تركيب عدد ٣٠٠ عمود إنارة بسور محطة توليد الكريمات عام ٢٠١٤م ، علاوة على التطبيقات المحمولة مثل مصابيح الإضاءة و الكاميرات والساعات والآلات الحاسبة .

ووفقاً لطبيعة الاتصال بشبكة الكهرباء القومية تصنف الى منظومات متصلة بالشبكة (on-grid systems) ، يضخ هذا النمط الكهرباء التي تزيد عن الحاجة في الشبكة الموحدة أثناء النهار ، وتأخذ ما تحتاجه من الشبكة أثناء الليل أو أثناء ساعات التغييم ، وفي حالة الحمل الزائد على الشبكة يوفر هذا النظام متطلباته من الكهرباء إما عن طريق بطاريات شمسية أو مولد ديزل ، و منظومات غير متصلة بالشبكة (off-grid systems) ، غالبا ما توجد في المناطق النائية والتي لم تصلها شبكة الكهرباء الموحدة ، يتم توليد الكهرباء أثناء ساعات النهار و ما يفيض عن الاستهلاك يخزن في البطاريات ليتم الاستفادة منه إثناء ساعات الليل أو ساعات تغييم الشمس ، وخير

مثال لهذا النمط إنارة قريتي أم الصغير وعين زهرة بمركز سيوة محافظة مطروح عام ٢٠١٠م (http:// www. Nrea.gov.eg) ، ومن أبرز عيوب هذا النمط أن أي توليد للكهرباء في حالة امتلاء البطاريات يضيع سدى (Anasuya&Hippus,2017,P.6).

المصدر : https://www.google.com/maps

صورة (٣) مجمع بنبان لتوليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية

ووفقاً لحركة ألواح الخلايا الكهروضوئية أو ثباتها تصنف المنظومات الى منظومة ذات ألواح توليد ثابتة ، توجه ألواح الخلايا في هذا النمط بزاوية أفقية (Azimuth angle) من اتجاه الشمال الجغرافي ، وغالباً ما توجه الألواح ناحية الجنوب في نصف الكرة الأرضية الشمالي ، حيث تسقط أشعة الشمس بأعلى زاوية ارتفاع لها في منتصف النهار ، مما يتيح مواجهة أشعة الشمس للألواح معظم ساعات النهار ؛ فتحقق بذلك أعلى كفاءة توليد ، كما توجه الألواح بزاوية رأسية من سطح الأرض بحيث تسقط أشعة الشمس عليها بزاوية قائمة ، فتحقق بذلك أعلى كفاءة توليد ، ووفقاً لذلك يتم تحديد زاوية التوجيه الراسي للوح الشمسي بحيث تكون مساوية لزاوية ميل الشعاع الشمسي (Zenith angle) ، أو انحرافه عن وضع التعامد بالنسبة لسطح الأرض ، يتم توجيه الألواح في هذا النمط وفقاً لزوايا الشعاع الشمسي في فصل الصيف أو في فصل الشتاء ، أو وفقاً لمتوسط الزوايا خلال العام ، بناء على الموقع الفلكي لمكان المنظومة .

والنوع الثاني منظومة توليد ذات ألواح متحركة ، تتغير زوايا التوجيه الرأسي والأفقي لألواح التوليد في هذا النمط منذ شروق الشمس حتى غروبها ، من خلال نظام هيدروليكي يتحكم به جهاز تتبع للشمس ، ومن ثم تزداد كفاءة التوليد بنسبة تصل إلى ٢٥% مقارنة بالأنظمة الثابتة(Robert,etal,2010,P.143) ، إلا أن التكلفة الكبيرة لهذا النمط سواء للشراء أو للصيانة ، والتي لا يعوضها المردود المادي للزيادة في التوليد قلل من انتشار هذا النمط ، وبخاصة في النطاقات ذات المناخ الحار .

سادساً: الضوابط المناخية لتحديد المواقع الأنسب لتوليد الطاقة الشمسية .

تعتبر مشروعات توليد الكهرباء من أشعة الشمس بغرض تجاري من المشروعات ذات التكلفة المالية الكبيرة ، لذا لا تقدم عليها حكومات الدول النامية في كثير من الاحوال الا بالتعاون مع الهيئات الدولية أو بمشاركة القطاع الخاص ، ولكي تنجح تلك المشروعات لابد أن تحقق مردود اقتصادي يغطي تكلفة انشائها ويزيد بنسبة تسمح لتلك المشروعات بالاستمرار والنمو ، ويعتمد نجاح مشروعات الطاقة المتجددة بصفة عامة و مشروعات توليد الطاقة الشمسية بصفة خاصة على جودة مرحلة التخطيط التي تسبق تنفيذها ، و يعد اختيار المواقع المناسبة لإنشاء محطات التوليد من أهم الامور التي يجب أن يهتم بها المخططون . ولإنجاح ذلك لابد من الأخذ في الحسبان كافة المعايير المؤثرة في اختيار المواقع المناسبة .

تتعدد المعايير التي تأخذ في الحسبان عند تحديد المواقع المناسبة لتوليد الطاقة الشمسية ، مثل نسبة انحدار سطح الأرض و اتجاه الانحدار و المسافة التي تفصل الموقع عن خطوط نقل الكهرباء و مصادر المياه و الطرق والمدن ، وقد أرجع عبدة (٢٠١٢) و عبدالموجود (٢٠١٧) سبب توطن محطة الكريمات الشمسية في مصر الى معظم العوامل السابقة علاوة على كمية الاشعاع الشمسي ، و تعد طبيعة عناصر المناخ أهم تلك المعايير ، وفيما يلي عرض لأوجه تأثير المناخ على توليد الطاقة الشمسية.

١- الاشعاع الشمسي .

يتم تحويل الطاقة الشمسية الى طاقة كهربائية اما بطريقة غير مباشرة عبر المركزات الشمسية ، أو بطريقة مباشرة عبر الخلايا الكهروضوئية ، ومن ثم تؤثر خصائص الإشعاع الشمسي الكمية والنوعية في كفاءة عملية التوليد .

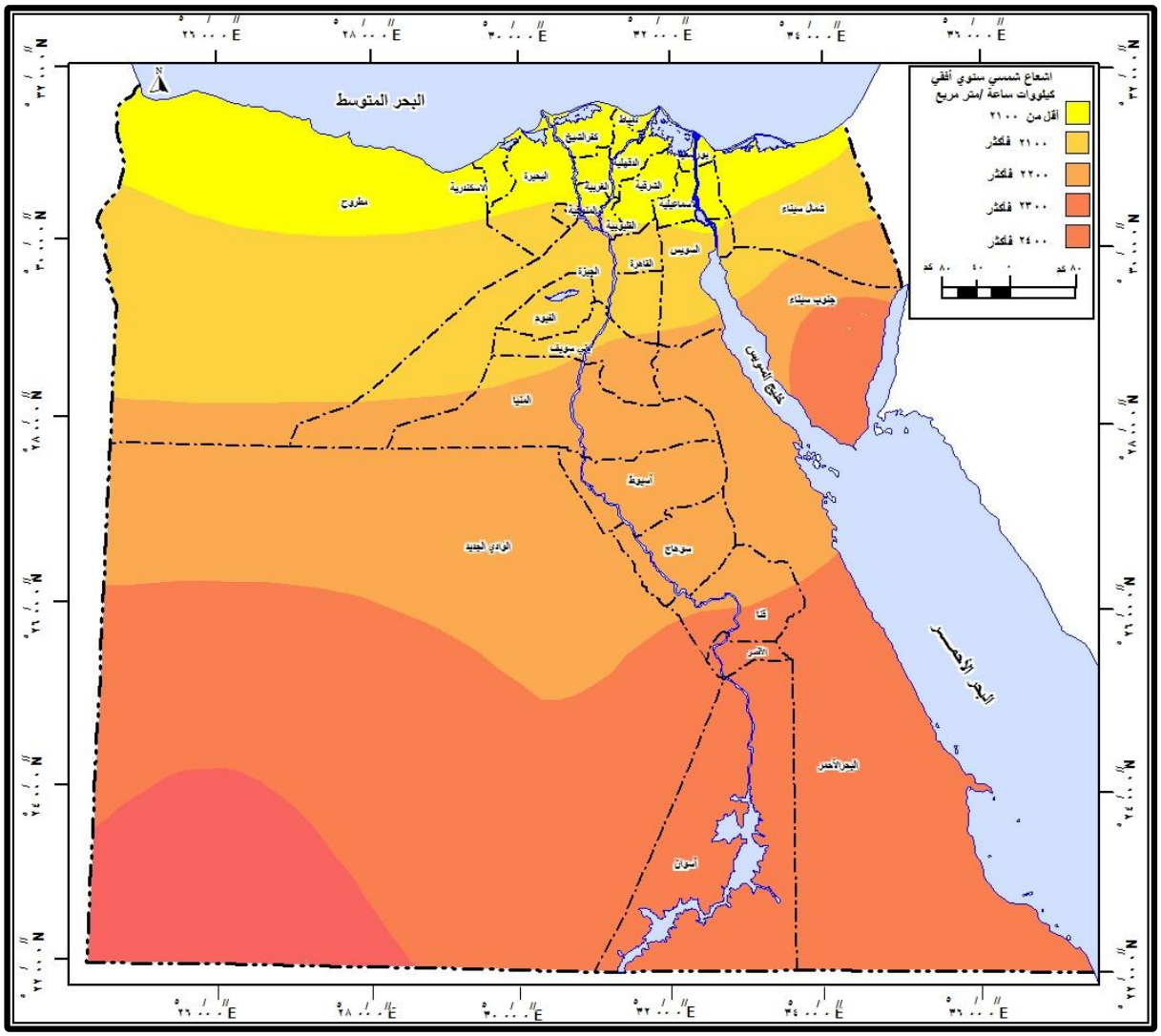
- **كمية الاشعاع الشمسي :**

كلما كان الإشعاع الشمسي متاحاً بكمية كبيرة ، كلما تم تحويل نسبة كبيرة منه إلى كهرباء وفقاً لطريقة التوليد ، وتعتمد الجدوى الاقتصادية لمشروعات توليد الكهرباء من أشعة الشمس على هذا المعيار ، وقد اختلفت الدراسات في استخدام قيمة للحد الأدنى لاختيار المواقع المناسبة للتوليد ، فعلى سبيل المثال بلغت ٢٠٠٠كيلووات ساعة /متر مربع في احدى الدراسات التي اجريت في أستراليا (Clifton&Boruff,2010) ، وبلغت ١٧٥٠ كيلووات ساعة /متر مربع في احدى الدراسات التي اجريت في المغرب (Merrouni,etal,2014) ، وكلما كانت أشعة الشمس متاحة طيلة ساعات النهار دون انقطاع أو تغير في النسبة سواء بفعل السحب أو العواصف الترابية أو الرملية كلما أمن ذلك استمرارية لعملية التوليد، ومن ثم الحصول على تيار كهربائي غير متقطع .

تعد مصر من أفضل جهات العالم من حيث الجدوى الاقتصادية لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية ، حيث تزيد كمية الاشعاع الشمسي الكلي في معظم جهاتها عن ٢٠٠٠كيلووات ساعة /متر مربع ، لتصل الى أكثر من ٣٠٠٠ كيلووات ساعة/ متر مربع في أقصى جنوبها ، ويبلغ المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي الكلي نحو ٢١٥٠ كيلووات ساعة /متر مربع (مجد،٢٠١٨، ص٢٧).

- **نوع الاشعاع الشمسي :**

ينقسم الاشعاع الشمسي الذي يستقبله سطح الارض ، و فقاً لما يتعرض له من تغيرات اثناء عبوره للغلاف الجوي الى: اشعاع شمسي مباشر(Direct irradiation) واشعاع شمسي منتشر (Diffuse irradiation) ، و ترتبط أنظمة توليد الكهرباء من أشعة الشمس بنوع أشعة الشمس ؛ فأنظمة توليد الكهرباء من المركزات الشمسية تعتمد على الاشعاع الشمسي المباشر ، بينما تعتمد أنظمة توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية على كلا النوعين المباشر والمنتشر، فيما يطلق عليه الإشعاع الشمسي الكلي الذي يستقبله السطح الافقي للأرض Global horizontal irradiation شكل (٢ و٣) .



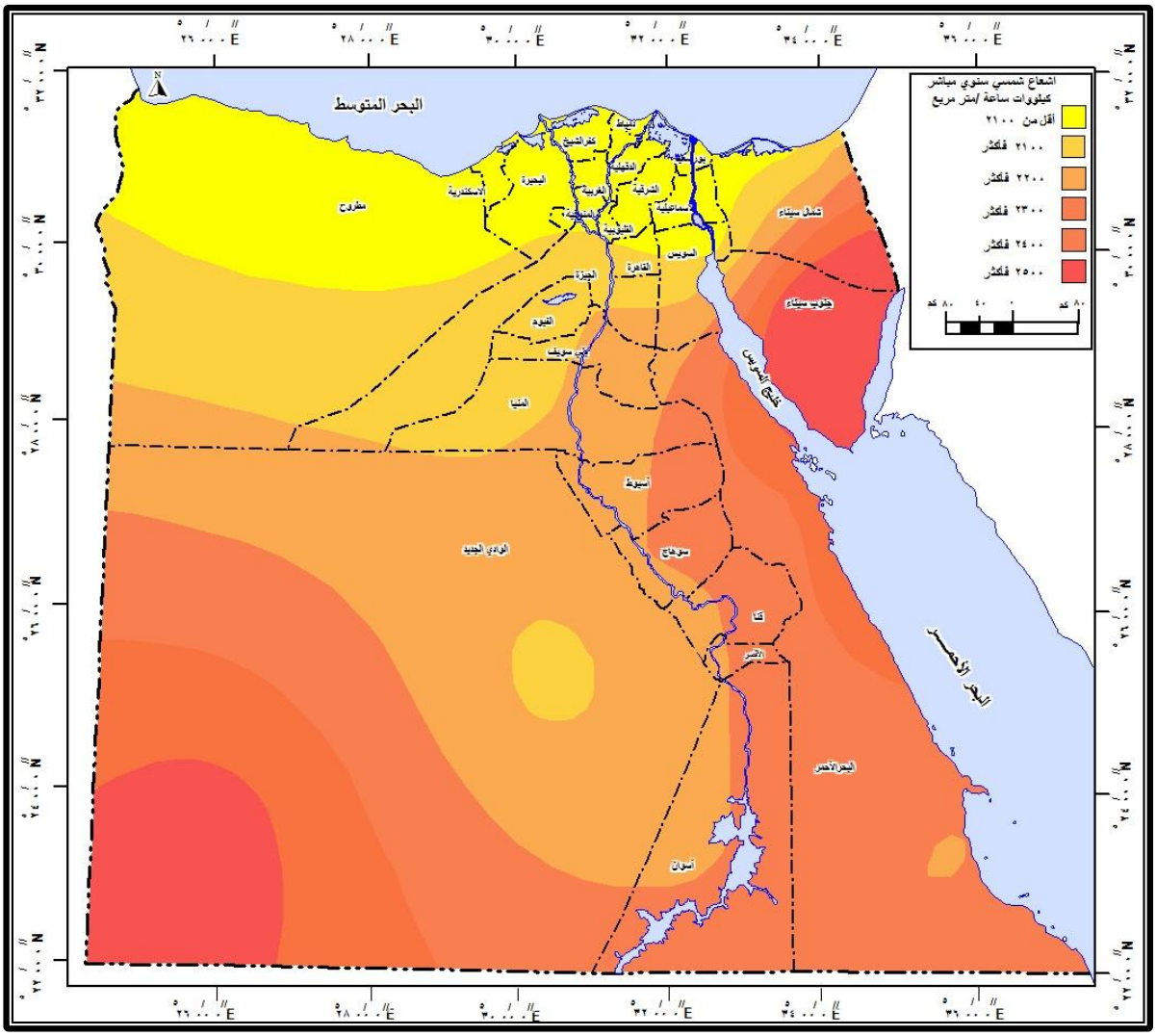
شكل (٢) التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي الكلي الذي تستقبله السطوح الافقية في مصر

- **كثافة الاشعاع الشمسي :**

تؤثر زاوية ارتفاع أشعة الشمس على مساحة السطح الذي تتوزع عليه ومن ثم على كثافته ؛ وتختلف زاوية ارتفاع الشمس في المكان على مدار اليوم الواحد ، حيث تصل لأعلى قيمة لها في منتصف النهار ، وتختلف على أيام مدار العام وفقاً لموقع الارض في مدار دورانها حول الشمس ، وترتبط بالموقع الفلكي للمكاني ومدى اقترابه من المنطقة التي تتعامد أشعة الشمس عليها طوال العام ، وهي المنطقة المحصورة بين مدار السرطان ومدار

الجدي مروراً بخط الاستواء و كلما زادت زاوية ارتفاع أشعة الشمس كلما قلت مساحة السطح الذي تتوزع عليه ومن ثم زادت كثافته ، مما يترتب عليه ارتفاع كفاءة توليد الكهرباء ، حيث تزداد كمية الطاقة الكهربائية المنتجة و يزداد جهد التيار الكهربائي.

وتعد مصر من أفضل جهات العالم لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية وفقا لهذا المعيار، فلم ينخفض المتوسط السنوي لكثافة الاشعاع الشمسي الكلي في أي من جهاتها عن ٨٢,١% عند دائرة عرض ٣١ درجة شمالاً في شمالي مصر، و تراوح المتوسط السنوي لزاوية ارتفاع الشمس بين ٥٨,٩ درجة عند دائرة عرض ٣١درجة شمالاً في شمالي مصر و ٦٧,٦ درجة عند دائرة عرض ٢٢درجة شمالاً في جنوبي مصر (مجد ، ٢٠١٨،ص٣٠).



شكل (٣) التوزيع الجغرافي للإشعاع الشمسي المباشر في مصر

٢ – حرارة الهواء.

تؤثر حرارة الهواء في مستوى كفاءة توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية ، فالخلايا الكهروضوئية تقوم بتحويل ضوء الشمس إلى طاقة كهربائية بطريقة مباشرة ، و من ثم يمكن الحكم على كفاءة أداء الخلية الكهروضوئية لوظيفتها بصفة عامة بحساب نسبة الإشعاع الشمسي الذي تحوله إلى كهرباء مقارنة بإجمالي ما

تستقبله من إشعاع شمسي ، ويعرف ذلك بمصطلح كفاءة التحويل الفولتضوئي (Conversion efficiency) (كراوتر،٢٠١١،ص٦٤) .

عند إنتاج ألواح الخلايا الكهروضوئية يتم إجراء بعض التجارب والقياسات المعملية عليها ، بهدف تحديد كفاءة التحويل ، و كمية الطاقة الكهربائية التي ستنتجها (peak watt) و جهد التيار الكهربائي المنتج ، وتتم تلك المعايرة في ظروف قياسية :عندما تكون حرارة الخلية ٢٥ درجة مئوية ، وعند تعرضها لإشعاع شمسي بقوة ١٠٠٠وات/متر مربع standard test conditions(STC) .

عند تركيب وتشغيل ألواح الخلايا الكهروضوئية ، تتعرض لظروف مناخية فعلية تفوق الظروف القياسية التي عويرت خلالها ، وبخاصة درجة حرارة الهواء المرتفعة والتي تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الخلايا ، مما يؤدي إلى تغير كفاءة التحويل و كمية الطاقة الكهربائية المنتجة و جهد التيار الكهربائي ، لذا يتم إخضاع ألواح الخلايا إلى قياسات تحت ظروف التشغيل الفعلية لتحديد درجة حرارتها الفعلية nominal cell temperature (NOCT) operating ، وغالباً ما تحدد درجة حرارة الخلية الفعلية عندما تتعرض لهواء درجة حرارته ٢٠ درجة مئوية ، وإشعاع شمسي بقوة ٨٠٠ وات/متر مربع وهواء سرعته متر/الثانية (Tiwari&Swapnil,2010,P.104) ، وتبلغ درجة حرارة الخلايا الفعلية في معظم ألواح الخلايا المتداولة ٤٥ درجة مئوية .

يتم الحكم على كفاءة أداء الخلايا بمقارنة كمية الطاقة الكهربائية المنتجة و جهد التيار الكهربائي المنتج في ظل الظروف القياسية (STC) ، بنظائرها في ظل ظروف التشغيل الفعلية (NOCT) ، فيتم الحصول على معامل الفقد في الطاقة المنتجة ، والذي يصل في معظم أنواع الخلايا الكهروضوئية المتداولة في الأسواق التجارية إلى نحو – ٠,٥% من الطاقة المنتجة في ظل الظروف القياسية ، لكل زيادة مقدارها درجة مئوية في حرارة الخلية الكهروضوئية عن ٢٥درجة مئوية (الحرارة القياسية) ، ومعامل الفقد في جهد التيار المنتج ، والذي يصل إلى –٠,٣٦ % من جهد التيار المنتج في ظل الظروف القياسية ، لكل زيادة مقدارها درجة مئوية في درجة حرارة الخلية الكهروضوئية عن ٢٥درجة مئوية .

٣- الرياح.

تؤثر الرياح في أنظمة توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية ، ويتراوح هذا التأثير من الايجابي الى السلبي وفقاً لخصائص الرياح سواء من حيث السرعة و الحمولة ؛ فللرياح تأثير ايجابي على درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية ومن ثم على كفاءتها ، حيث تستطيع الرياح الأفقية التي تتحرك أسفل ألواح الخلايا بسرعة مناسبة على تبريد تلك الخلايا و خفض درجة حرارتها التشغيلية ، مما يسهم في زيادة كفاءتها وبخاصة في المناطق التي ترتفع درجة حرارة الهواء فيها عن درجة الحرارة المثالية لعمل تلك الخلايا .

تسهم الرياح السريعة و المحملة بالرمال والاتربة في الاضرار بأنظمة توليد الكهرباء من أشعة الشمس ، فحبيبات الرمال التي تحملها الرياح تصطدم بالسطوح العاكسة للمركزات الشمسية فتعمل على ازالة الطبقة الامعة مما يؤثر بصورة سلبية على كفاءتها ، وقد تلتصق تلك الحبيبات على سطح المركزات أو الخلايا الكهروضوئية مما يشكل طبقة عازلة تمنع وصول أشعة الشمس لها ، ويتسبب ذلك في انخفاض كفاءة التوليد ، وقد توصل

Calinoiu et al. (2013) في دراسته حول تأثير ملوثات الهواء على الطاقة الشمسية المجمعة في رومانيا خلال عامي ٢٠١١و ٢٠١٢م ، أنها تتسبب في انخفاض الانتاجية بنسبة ٢٠%.

تضطر محطات التوليد الى القيام بأعمال تنظيف لأسطح الخلايا الكهروضوئية و المركزات الشمسية بصورة دورية يدوياً أو باستخدام بعض الآلات ، وقد تصل عدد مرات التنظيف الى مرتين خلال الشهر الواحد ، وفي بعض الاحيان تحتاج لتنظيف يومي عند هبوب العواصف الرملية ، مما يزيد من نفقات التشغيل بدرجة كبيرة وبخاصة محطات التوليد كبيرة المساحة ، الأمر الذي قد يفقدها نسبة كبيرة من ارباحها ويخفض من جدواها الاقتصادية (عبده ،٢٠١٢، ص٢٨) .

٤- المطر.

للمطر تأثير متباين على أنظمة توليد الكهرباء من أشعة الشمس وفقاً لطبيعة المكان ، حيث يسهم في تنظيف أسطح الخلايا الكهروضوئية والمركزات الشمسية من الأتربة الملتصقة بها مما يقلل من تكلفة التنظيف ، و يسهم في خفض درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية في المناطق التي تعاني من ارتفاع درجة حرارة الهواء عن درجة حرارة الخلايا المثالية ، يقل هذا التأثير في مصر نتيجة لسقوط المطر في الفصل الابرد من العام ، يسهم المطر الغزير المتواصل في خفض درجة حرارة المستقبلات ومن ثم يقلل من كفاءة التوليد في أنظمة المركزات الشمسية ، و قد يؤدي الى حدوث سيول وفقاً لطبيعة سطح الأرض ، الأمر الذي قد يؤدي الى تدمير المحطات اذا كانت في مجرى السيول .

سابعاً: التحليل الببليومتري للبحوث العلمية المنشورة في مجال الطاقة المتجددة .

من خلال الدراسة الببليومترية للإنتاج العلمي في مجال الطاقة المتجددة على مستوى العالم تبين ما يلي:

١- زاد الاهتمام العالمي بمجال الطاقة بصفة عامة والطاقة المتجددة بصفة خاصة ، وهذا ما تعكسه الزيادة الكبيرة في أعداد البحوث العلمية المنشورة ، والتي تضاعفت الى ما يقارب الأربعة أضعاف خلال المدة بين عامي ٢٠١٠م و ٢٠١٩م ، حيث وصل عدد الابحاث المنشورة الى ٩٢٠٢٤ بحث عام ٢٠١٩م ، بنسبة تغير بلغت ٣٨٣,٦% مقارنة بعام ٢٠١٠م ، جدول (٢) وشكل (٤) .

جدول (٢) تطور أعداد الابحاث العلمية المنشورة في مجال الطاقة خلال المدة من ٢٠١٠الى ٢٠١٩م

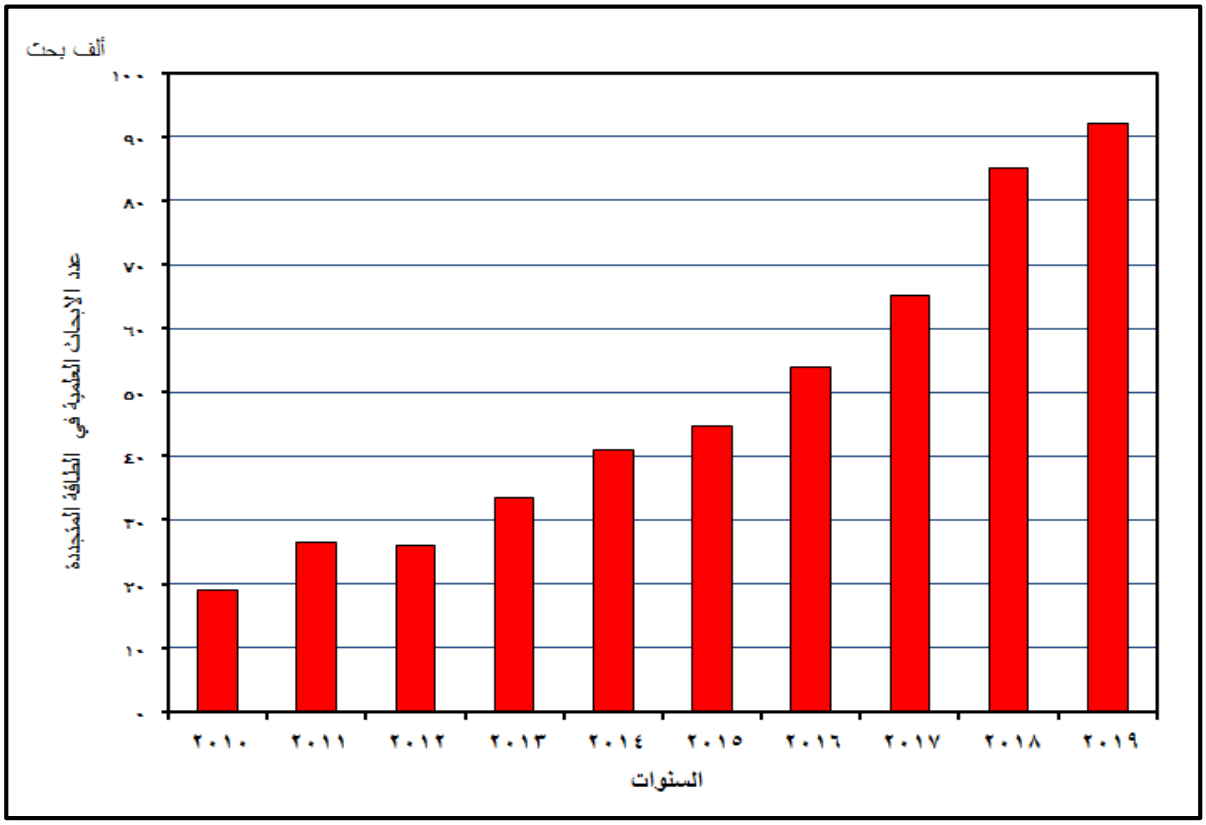
السنة	عدد الابحاث	السنة	عدد الابحاث
٢٠١٠	١٩٠٣٠	٢٠١٥	٤٤٧٦٨
٢٠١١	٢٦٥٤٢	٢٠١٦	٥٣٩٦٣
٢٠١٢	٢٦٠٢٧	٢٠١٧	٦٥١١٧
٢٠١٣	٣٣٣٤٩	٢٠١٨	٨٥١٤٧
٢٠١٤	٤٠٨٨٢	٢٠١٩	٩٢٠٢٤

المصدر من اعداد الباحث بالاستعانة بموقع :

https://www.scimagojr.com/countryrank.php?category=2105&area=2100&order=ci&ord=desc

٢- هناك تفاوت كبير في الانتاج العلمي في مجال الطاقة المتجددة بين دول العالم خلال المدة بين عامي ٢٠١٠م و ٢٠١٩م ، حيث تستأثر دولتان فقط وهما الصين والولايات المتحدة الأمريكية على ما يزد عن ثلث اجمالي الابحاث العلمية المنشورة (٣٤,٢%) وثلث الاستشهادات العلمية (٣٦,٩%) ، وتستحوذ عشرون دوله من دول العالم على ٧٨,١% من عدد الابحاث العلمية المنشورة و ٨٢,٥% من الاستشهادات العلمية جدول (٣) وشكل (٥) .

٣- بالبحث في قواعد البيانات تبين أن هناك ٢٩٧ مجلة في مجال الطاقة (energy) بصفة عامة و الطاقة المتجددة والاستدامة والبيئة (Renewable Energy, Sustainability and the Environment) ، منهم ٤٨ مجلة مفتوحة الوصول (Open Access) .



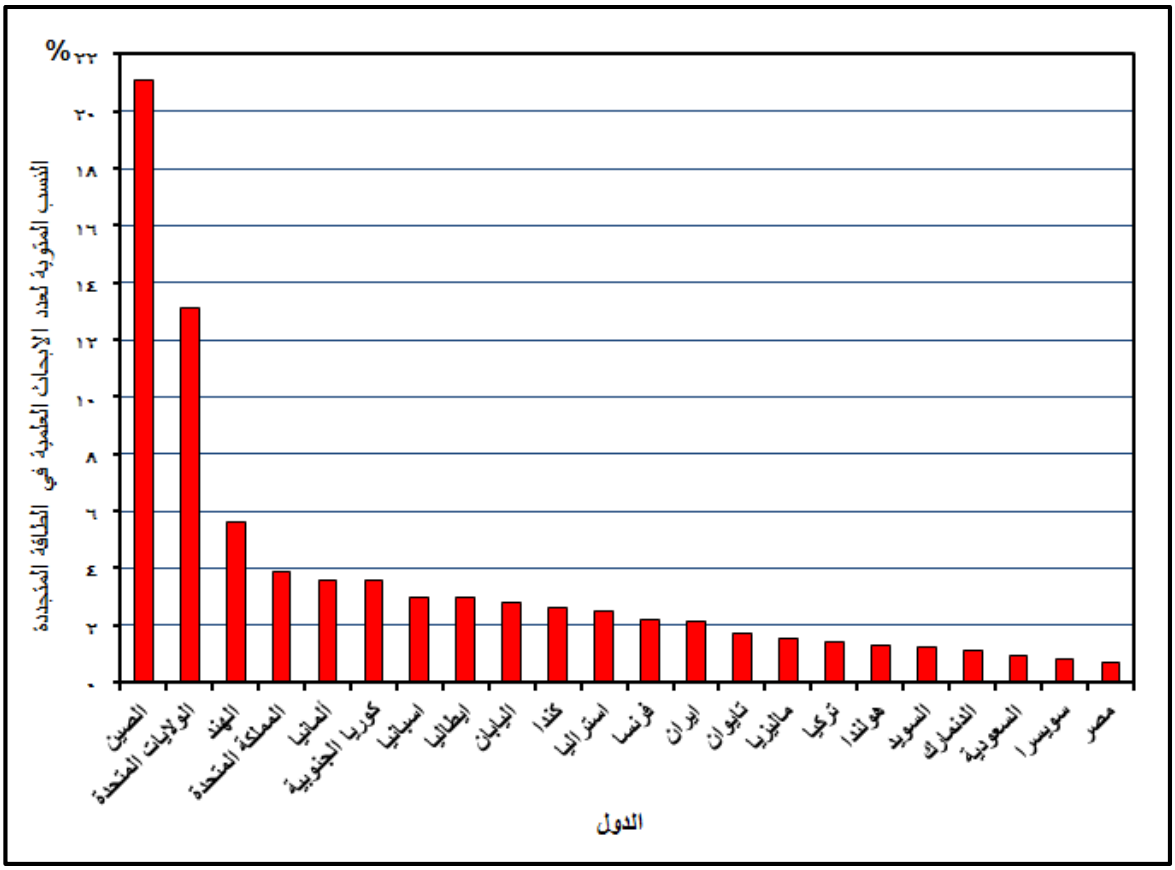
شكل (٤) تطور أعداد الابحاث العلمية المنشورة في مجال الطاقة خلال المدة من ٢٠١٠الى ٢٠١٩م

جدول (٣) أكبر عشرون دولة في العالم وفقاً للنسب المئوية لإجمالي أعداد الأبحاث والاستشهادات العلمية في مجال الطاقة المتجددة مقارنة بمصر والمملكة العربية السعودية خلال المدة من ٢٠١٠الى ٢٠١٩م

م	الدولة	الابحاث		م	الدولة	الابحاث	
		عدد	استشهاد			عدد	استشهاد
١-	الصين	٢١,١	٢١,٨	١٢-	فرنسا	٢,٢	٢,٢
٢-	الولايات المتحدة الامريكية	١٣,١	١٥,١	١٣-	تايوان	١,٧	١,٦
٣-	المملكة المتحدة	٣,٩	٤,٤	١٤-	تركيا	١,٤	١,٣
٤-	الهند	٥,٦	٤,١	١٥-	هولندا	١,٣	١,٥
٥-	اليابان	٢,٨	٢,٩	١٦-	السويد	١,٢	١,٤
٦-	ألمانيا	٣,٦	٤	١٧-	ماليزيا	١,٥	٢,١
٧-	كوريا الجنوبية	٣,٦	٣,٨	١٨-	الدنمارك	١,١	١,٣
٨-	كندا	٢,٦	٢,٩	١٩-	ايران	٢,١	١,٨
٩-	اسبانيا	٣	٣,١	٢٠-	سويسرا	٠,٨	١,٢
١٠-	ايطاليا	٣	٢,٨	٢١-	مصر	٠,٧	٠,٥
١١-	استراليا	٢,٥	٣,١	٢٢-	السعودية	٠,٩	١

المصدر من اعداد الباحث بالاستعانة بموقع :
https://www.scimagojr.com/countryrank.php?category=2105&area=2100&order=ci&ord=desc

٤- اسهمت مصر بنسبة منخفضة نسبياً في أعدد الابحاث المنشورة والاستشهادات العلمية خلال المدة بين عامي ٢٠١٠م و ٢٠١٩م ، حيث بلغت نسبة اسهاماتها ٠,٧% و ٠,٥% على الترتيب ،سبقتها في ذلك المملكة العربية السعودية حيث اسهمت بنسبة ٠,٩% و ١% على الترتيب .



شكل (٥) أكبر عشرون دولة في العالم وفقاً للنسب المئوية لإجمالي أعداد الأبحاث والاستشهادات العلمية في مجال الطاقة المتجددة مقارنة بمصر والمملكة العربية السعودية خلال المدة من ٢٠١٠الى ٢٠١٩م

ثامناً :تحليل الدراسات السابقة.

من خلال الدراسة التحليلية المقارنة لمحتوى الدراسات الحديثة ، والتي ركزت على اختيار المواقع الأنسب لتوليد الطاقة الشمسية ، اعتماداً على طبيعة عناصر المناخ السائدة في تلك المناطق ، خلال العشر سنوات الأخيرة يمكن اظهار اتجاهاتها العامة في النقاط التالية:

١- الحيز الجغرافي لتطبيق الدراسات.

لم تقتصر الدراسات التي اجريت بهدف تحديد المناطق المناسبة لتوليد الطاقة الشمسية على حيز جغرافي بعينة ، فقد اتسع ليشمل العالم ككل في بعض الدراسات ، أو اقتصر على قارة واحدة من قارات العالم ، أو دولة أو اقليم داخل حدود دولة .

- اتسع الحيز الجغرافي في بعض الدراسات ليشمل كافة قارات العالم ، فقد قام Crook et al. (2011) بدراسة التأثيرات المستقبلية للتغيرات المناخية على انتاجية الخلايا الكهروضوئية والمركزات الشمسية حتى عام ٢٠٨٠م ، واعتمد في ذلك على سيناريوهات التغير من الهيئة الحكومية الدولية المعنية بالتغيرات المناخية (IPCC) ، وتوصل الى تصنيف العالم وفقاً لدرجات التغير في الإنتاجية ، ومن هذا التصنيف توقع ازدياد طاقة الخلايا الكهروضوئية في حدود ١٠% في قارة اوروبا علاوة على زيادة طاقة المجمعات الشمسية .
- بينما طبقت بعض الدراسات على قارة بأكملها ؛ فقد قام Miglietta et al. (2017) بدراسة التكامل بين موارد القارة الأوربية من طاقة الرياح والطاقة الشمسية و اظهر التباين المكاني للطاقة الشمسية على مستوى القارة بهدف

استخدامها في توجيه مشروعات الطاقة المتجددة ، وقام Gregory et al. (2012) بإجراء دراسة حول قيم الاشعاع الشمسي في قارة استراليا بهدف انتاج نموذج رقمي للتنبؤ بتلك القيم واستغلالها في مشروعات انتاج الطاقة الشمسية.

- وطبقت العديد من الدراسات على دولة واحدة ولم يستثنى من ذلك أي من قارات العالم ، فدراسة (Clack 2017) و التي تناولت التباين المكاني لمخرجات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية تم تطبيقها في الولايات المتحدة الأمريكية ، وخلصت الى أن قدرة للخلايا الكهروضوئية في جنوب غرب الولايات المتحدة هو الأفضل من شمالها وشمالها الشرقي ، ودراسة Faye and Thaim (2017) ركزت على اختيار مواقع مناسبة لتركيب محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية في دولة السنغال ، وتوصلت الى أن كفاءة محطات توليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية الساحلية تزداد عن المحطات الداخلية ، ودراسة.Gathu et al (2017) التي ركزت على تحديد المواقع المناسبة لإنشاء محطات توليد الكهرباء من خلال المركزات الشمسية واسعة النطاق في كينيا ، وتمكنت من تحديد ١٠ مناطق مثالية لتوليد الكهرباء من المركزات الشمسية ، بينما طبقت دراسة Zell et al. (2015) على المملكة العربية السعودية ، حيث تم تقييم موارد الإشعاع الشمسي في المملكة العربية السعودية لاستغلالها في مشروعات توليد الطاقة الشمسية .

- واجريت بعض الدراسات على أقاليم ادارية أو مناطق طبيعية داخل حدود بعض الدول ، فدراسة Uyan (2017) عن اختيار المواقع الأمثل لمحطات الطاقة الشمسية تم تطبيقها في منطقة ايرانسي (Ayranci) في كرامان بدولة بتركيا ، وخلصت الى تقسيم المنطقة الى أربعة مستويات وفقاً للملاءمة لتوليد الطاقة الشمسية بلغت مساحة المنطقة المثلى منها ٦,٤% من اجمالي مساحة المنطقة ، ودراسة.Habib et al (2020) عن النمذجة المكانية لاختيار المواقع الأنسب لإنشاء محطات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية (الكهروضوئية) في الساحل الشمالي الغربي لمصر ، وخلصت الدراسة الى أن نحو ٢٦١,١ كيلومتر مربع (٢٤,٩% من مساحة منطقة الدراسة) تعتبر مناطق واعدة لتوليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية ، ودراسة Aboushal (2018) عن تحديد الأنظمة المناسبة من الخلايا الكهروضوئية ، لتوليد الكهرباء من الاشعاع الشمسي في احدى مناطق مدينة الاسكندرية .

٢ – نوع البيانات المناخية المستخدمة.

- تعد البيانات المناخية هي المعيار الاساسي التي اعتمدت عليه الدراسات المناخية الحديثة في تصنيف الدول والمناطق وفقاً لإمكانية توليد الطاقة الشمسية ، وتحديد المواقع الانسب للتوليد داخل الحيز الجغرافي الواحد ، الا أن نوعية البيانات المناخية التي تم استخدامها اختلفت من دراسة لأخري ؛ فقد اعتمدت بعض الدراسات على بيانات الاشعاع الشمسي فقط ، فدراسة khemiri et al. (2018) عن تحديد الأماكن الانسب لإنشاء مزارع الطاقة الشمسية الكهروضوئية في منطقة مكة المكرمة بالمملكة العربية السعودية ، استخدمت معيار مناخي واحد فقط في بناء نموذجها الاحصائي وهي قيم الاشعاع الشمسي الكلي ، و بالمثل دراسة Colak et al. (2020) حول اختيار الموقع الأمثل لمحطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية دراسة حالة لمقاطعة ملاطيه بتركيا ، واعتمد

solar atlas of Egypt (2018) على معيار الاشعاع الشمسي المباشر والاشعاع الشمسي الكلي خلال المدة من ١٩٩٩ الى ٢٠١٣م ، في تحديده للمناطق المناسبة لإقامة مشروعات انتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية .

- بينما اعتمدت بعض الدراسات على العديد من العناصر المناخية ، فدراسة Kaplani and Kaplanis (2014)عن النمذجة الحرارية والتقييم التجريبي لاعتماد درجة حرارة الوحدة الكهروضوئية على سرعة الرياح واتجاهها وتوجيه الوحدة وميلها ، استخدمت معيار درجة حرارة الهواء والاشعاع الشمسي الكلي لاستنتاج درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية وبالتالي معيار كفاءتها ، والتي تمكن من تحديد الاماكن الانسب لتوليد الكهرباء من الخلايا الكهروضوئية ، واعتمدت دراسة .Mokarram et al (2020) و التي قامت بتحديد الموقع الأمثل لبناء مزارع الطاقة الشمسية الكهروضوئية في منطقة نايرز (nayriz) بجنوبي ايران ، اعتمدت على عدة عناصر مناخية علاوة على الاشعاع الشمسي ، وهى الرطوبة النسبية ودرجة حرارة الهواء وعدد ايام العواصف الرملية وعدد الايام الملبدة بالسحب ، فدراسة .Goverde et al (2017) عن التحليل المكاني والزمني لتأثيرات الرياح على الوحدات الكهروضوئية ، و ضحت تأثير الرياح على درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية وبالتالي على كفاءتها ، ومن ثم اعتمدت الدراسة على سرعة الرياح الى جانب الاشعاع الشمسي الكلي ، ودراسة .Ketchanji et al (2020) و التي عملت على انشاء نموذج أداء تنبؤي بسيط للخلايا الشمسية في ظل مناخ شديد الحرارة ورطب ، تعرضت الى تأثير الاشعاع الشمسي و درجة حرارة الهواء على كفاءة الخلايا الكهروضوئية ، ومن خلال التجارب الميدانية تبين أن كفاءة الخلايا الكهروضوئية ترتبط بكمية الإشعاع الشمسي الذي تستقبله و بدرجة حرارة الهواء ، و دراسة .Sansom et al (2015) عن تأثر الرمال المثارة على أسطح المجمعات في أنظمة توليد الطاقة الشمسية ، وخلصت بعد الدراسات الميدانية في الصحراء الغربية المصرية والصحراء الليبية الى التأثير السلبي الكبير الذي تتعرض له الانظمة بفعل الرمال المثارة .

٣- مصدر بيانات الاشعاع الشمسي .

تتفاوت دول العالم في مدى توافر البيانات المناخية وبخاصة بيانات الاشعاع الشمسي ، ومن ثم فقد اعتمد الباحثون على مصادر وأساليب متنوعه في الحصول على بيانات الاشعاع الشمسي لإتمام دراساتهم وتتمثل تلك المصادر فيما يلي:

- استنتاج بيانات الاشعاع الشمسي من خلال بيانات مناخية اخرى عن طريق بناء نماذج احصائية ، فدراسة .Krishna et al (2013) ركزت على تقدير الإشعاع الشمسي الكلي لأربعة مواقع مختارة في دولة نيبال باستخدام عدد ساعات سطوع الشمس ودرجة الحرارة والرطوبة النسبية .
- استخدام نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) في استنباط بيانات الاشعاع الشمسي ، وقام .Merrouni et al (2014) في دراسته عن تحديد أنسب المناطق في شرق المغرب لتوليد الكهرباء من المركزات الشمسية ، بالاعتماد على نموذج الارتفاعات الرقمي من نوع (SRTM) في استنباط قيم الاشعاع الشمسي و عمل خريطة له من خلال أداة الاشعاع الشمسي الموجودة في صندوق أدوات التحليل المكاني ببرنامج ARC GIS ، كما قامت Effat (2013) في دراستها عن اختيار المواقع المثلى للطاقة الشمسية في محافظة الاسماعيلية بمصر ، باستخدام نموذج الارتفاعات الرقمي من نوع (SRTM) في استنباط قيم الاشعاع الشمسي الكلي والمباشر والمنتشر خلال أداة

الاشعاع الشمسي الموجودة في صندوق أدوات التحليل المكاني ببرنامج ARC GIS.

- استخدام بيانات المحطات الأرضية النقطية في رسم خرائط رقمية مساحية واستكمال البيانات عن طريق برامج نظم المعلومات الجغرافية ، فدراسة .Awan et al (2018) عن تحليل موارد الطاقة الشمسية وتقييم أداء نظام التوليد الكهروضوئي في مختلف مناطق المملكة العربية السعودية ، اعتمدت على البيانات الأرضية من ٤٦ محطة أرضية خلال عام ٢٠١٥-٢٠١٦ م ، والتي رصدت وأعدت من قبل مدينة الملك عبدالله للذرة والطاقة المتجددة ، ودراسة.Soulouknga et al (2017)و التي اعتمدت على بيانات الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة العظمى والصغرى و الرطوبة النسبية من المحطات الأرضية لمدة ٦٣ عام ، ومن خلالها تم بناء نماذج للإشعاع الشمسي الكلي لعدد ١٢ مدينة في دولة تشاد ، وتمت مطابقتها ببيانات الإدارة الامريكية الوطنية للملاحة الجوية والفضاء (NASA) وتم تحديد مدى التطابق معها .
- استخدام صور الأقمار الصناعية كمصدر للبيانات المناخية ، فدراسة .Carmona et al (2018) قامت بإنتاج أطلس يشمل خرائط لمعدلات الاشعاع الشمسي السنوية والشهرية للأرجنتين ، باستخدام صور الاقمار الصناعية (CERES_SYN1deg) ، بعد مقارنتها بأرقام بعض المحطات الأرضية بهدف استغلالها في اعمال توليد الطاقة الكهربائية من أشعة الشمس ، واعتمدت دراسة .Gathu et al (2017) والتي ركزت على تحديد المناطق المناسبة لتوليد الطاقة الشمسية في كينيا ، بيانات الاشعاع الشمسي ودرجة الحرارة من صور الاقمار الصناعية و المتاحة على موقع (SWERA) ، ودراسة .Labordenaa et al (2017) عن تأثير الحواجز السياسية والاقتصادية على تركز محطات توليد الطاقة الشمسية في جنوب الصحراء الافريقية ، اعتمدت الدراسة على الاشعاع الشمسي المباشر من خلال صور الاقمار الصناعية من موقع (cm saf) Satellite Application Facility on Climate Monitoring للمدة من ١٩٨٣ -٢٠١٣م.

٤- عدد ونوعية المتغيرات المستخدمة في تحديد المواقع الأنسب.

- اتجهت الدراسات الحديثة الى الاعتماد على متغيرات متعددة في تحديد النطاقات والمواقع المناسبة لتوليد الطاقة الشمسية ، فلم تقتصر على المتغيرات المناخية مثل الاشعاع الشمسي و باقي عناصر المناخ ، ولكن تعدى الامر الى متغيرات أخرى تبين أن لها تأثير على كفاءة اختيار مواقع التوليد والجدوى الاقتصادية منها ؛ فدراسة .Wendsongre et al (2013) عن تقييم وترتيب مواقع توليد الكهرباء من المركزات الشمسية في دول غرب إفريقيا مثل دول : تشاد و النيجر ومالي ، وتهدف الى تحديد المناطق الانسب لإنشاء محطات المركزات الشمسية ، اعتمدت على معيار كمية الاشعاع الشمسي المباشر علاوة على معيار انحدار سطح الأرض و معيار البعد عن خطوط نقل الكهرباء ، واعتمدت دراسة Charabi and Gastli (2010) على معايير: كمية الاشعاع الشمسي المباشر وانحدار سطح الأرض والقرب من مسطح البحر لتوفير احتياجات المحطة من المياه ، وتم تطبيق هذه المعايير في منطقة الدقم (Duqum) بسلطنة عمان بهدف تحديد مواقع مناسب لإنشاء محطات توليد كهرباء كبيرة من نوع المركزات الشمسية.

- صنفت بعض الدراسات المتغيرات التي تم استخدامها في تحديد المواقع الأنسب لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية الى متغيرات مانعة أو عوائق (Constraints) و متغيرات محفزة (Suitability) ، فدراسة.Castillo et al

(2016) عن تقييم امكانات توليد الطاقة الكهربائية في قارة أوروبا ، اعتبرت مناطق المحميات والمناطق السكنية و الاراضي الرطبة و المسطحات المائية والغابات عوائق لإنشاء محطات توليد الكهرباء ، بينما اعتبرت الدراسة الاشعاع الشمسي و المتغيرات الطبوغرافية (الانحدار و الارتفاع والتوجيه) والسكان المحتمل تأثرهم والبعد المناسب عن الطرق وشبكة الكهرباء معايير مناسبة ومحفزة .

- اعتمدت بعض الدراسات على متغيرات اجتماعية واقتصادية علاوة على المتغيرات المناخية والبيئية في تحديد المناطق المناسبة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية ، فدراسة Gašparovi (2019) عن تحديد مواقع محطات الطاقة الشمسية المثلى بناءً على طرق الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في دولة كرواتيا ، اعتمدت على المتغيرات المناخية وعلى متغيرات أخرى مثل المتغيرات المكانية كالبعد عن :المناطق السكنية و الطرق و السكك الحديدية و شبكة الكهرباء ، و المتغيرات الجيومورفولوجية مثل : انحدار سطح الأرض (Slope) و زاوية توجيه السطح(Orientation) والارتفاع عن سطح البحر (Elevation)، والمتغيرات الاقتصادية والاجتماعية مثل : عدد السكان (Population) و عدد الليالي السياحية (Number of tourist nights) واستهلاك الكهرباء (Electricity consumption) و حجم البطالة (Unemployment).

٥- الأساليب الاحصائية والتحليلية للتعامل مع المتغيرات المتعددة.

اتجهت الدراسات نحو استخدام معايير متعددة (Multi criteria) ومتنوعة في تحديد المواقع الانسب لإنشاء محطات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية ، و حيث أن المتغيرات تتباين من حيث النوع والاهمية بالنسبة لاختيار الموقع ، فان التعامل معها يحتاج الى نماذج احصائية واساليب تحليلية تراعي تلك الفروق و توظفها في صالح اتخاذ القرار المناسب والذي بني على أساس متغيرات متعددة Multicriteria Decision making (MCDM) .

ومن أهم اساليب التحليل التي تم استخدامها اسلوب التحليل الهرمي(AHP) AnalyticHierarchy process حيث تصاغ المشكلة في صورة هرم يوضع الهدف في المستوى الأول و المتغيرات الرئيسية في المستوى الثاني و المتغيرات الفرعية المنبثقة منها في المستوى الثالث و البدائل أو الحلول في المستوى الاخير، ويتم ترتيب المتغيرات من حيث أهميتها عن طريق اعطائها وزن نسبي ، ويستخدم برنامج Expert choice في عمل مصفوفات الوزن النسبي للمتغيرات الرئيسية والثانوية ، علاوة على ذلك توجد اساليب أخرى مثل : اسلوب التسلسل الهرمي الضبابي (Fuzzy AHP) ، واسلوب الشبكة التحليلية (ANP) ، واسلوب ترتيب الافضلية وفقاً للتشابه أو الاقتراب من الحل المثالي (TOPSIS).

استخدمت دراسة Tiba and Azevedo (2020) اسلوب التسلسل الهرمي التحليلي (AHP) ، حيث ركزت على عمل خريطة بالمواقع المناسبة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في شمال شرق البرازيل (ولاية باهيا) ، وتم تصنيف ولاية باهيا وفقا لملاءمتها لإنشاء محطات توليد الكهرباء من المركزات الشمسية ، من خلال عمل أوزان للمتغيرات الرئيسية لاختيار الموقع مثل: المناخ وسطح الأرض والبيئة وظروف الموقع ، والمتغيرات الثانوية مثل كمية الاشعاع الشمسي وانحدار سطح الارض واستخدامات الأرض و البعد عن :خطوط نقل الكهرباء و مصادر المياه و الطرق والعمران ، واستخدمت دراسة Georgiou Skarlatos and(2016) الاسلوب التحليلي نفسه (AHP) في تحديد المواقع المثلى لتولد الطاقة الشمسية في منطقة ليماسول جنوبي جزيرة قبرص ، واستخدمت معايير :

الاشعاع الشمسي وارتفاع السطح و انحداره والبعد عن الطرق وخطوط نقل الكهرباء ، واستخدمت Effat (2013) الاسلوب نفسة في تحليل ووزن متغيرات الاشعاع الشمسي الكلي و اتجاه انحدار سطح الارض والبعد عن: الطرق وخطوط نقل الكهرباء و المدن ، وتمكنت من تحديد ٨ مناطق مناسبة لتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية في محافظة الاسماعيلية .

استخدمت دراسة .Asakereh et al (2014) اسلوب اتخاذ القرار بالمواقع الأنسب لإنشاء محطات الطاقة الشمسية في منطقة شودروان (Shodirwan) بإيران بناء على عدة متغيرات : الاشعاع الشمسي واستخدامات سطح الأرض والطرق و خطوط نقل الكهرباء، و تم وزن المتغيرات بطريقة معدلة من تحليل التسلسل الهرمي Fuzzy (AHP) ، وباستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (ARC GIS) تم تصنيف المنطقة تبعا لدرجات الملاءمة لإنشاء محطات الطاقة الشمسية .

طبقت دراسة .Akkas et al (2017) العديد من أساليب اتخاذ القرار متعدد المعايير في صورة مقارنة (AHP-TOPSIS-VIKOR-ELECTRE) ، وتمكنت من اختيار الموقع الأمثل لمحطة الطاقة الشمسية في منطقة الأناضول الوسطى في تركيا ، حيث اجريت الدراسة على خمس مدن في انطاليا لتحديد أيهما أفضل في توليد الطاقة الكهروضوئية ، وخلصت الدراسة الى أن مدينة كرمان هي الموقع الأفضل من بين المدن الخمسة .

٦- المعادلات المستخدمة في الدراسات.

علاوة على المعادلات شائعة الاستخدام في معظم الاوراق البحثية مثل: الارتباط والانحدار الجزئي و المتعدد و نسبة ومعدل التغير، استخدمت العديد من المعادلات في الدراسات التي تهدف الى تحديد المناطق الانسب لتوليد الطاقة الشمسية ، ومن هذه المعادلات :

- معادلة تحديد زاوية ميل شعاع الشمس عن خط الاستواء(Declination angle) ، أو زاوية دائرة عرض التعامد (Soulouknga,et al.,2017; Krishna,et al.,2013):

$$\text{Solar declination} = 23.45 \times \sin[(360 \div 365) \times (284 + N)]$$

حيث : N هو ترتيب اليوم بالنسبة لباقي أيام السنة ، ويتراوح بين ١ و ٣٦٥ ، علماً بان الترتيب يبدأ من ١ يناير، ويتراوح ناتج للمعادلة بين ٢٣,٤٥ درجة عندما تتعامد الشمس على مدار السرطان في نصف الكرة الأرضية الشمالي ، و – ٢٣,٤٥ درجة عندما تتعامد الشمس على مدار الجدي في نصف الكرة الأرضية الجنوبي.

- معادلة تحديد درجة الحرارة التشغيلية للخلية الكهروضوئية ، بمعلومية درجة حرارة الهواء و قيمة الإشعاع الشمسي الكلي (Koehl,et al.,2011; Moharram,2013; Bayrakci,et al.,2014) :

$$T_{cell} = T_{amb} + ((Noct - 20) \div 0.8) \times S$$

حيث : Tcell درجة حرارة الخلية الكهروضوئية بالدرجة المئوية ، Tamb درجة حرارة الهواء بالدرجة المئوية ، S الإشعاع الشمسي الكلي بوحدة الكيلوات ساعة / متر مربع ،Noct درجة حرارة الخلية الكهروضوئية Nominal operating cell Temperature عندما تبلغ درجة حرارة هواء٢٠درجة مئوية والإشعاع الشمسي الكلي ٠,٨كيلوات ساعة /متر مربع ، وسرعة الرياح ١متر/ثانية ، وتبلغ نحو ٤٥ درجة مئوية في معظم أنواع الخلايا الكهروضوئية.

- معادلة تحديد درجة حرارة الخلايا الكهروضوئية من خلال الاشعاع الشمسي و درجة حرارة الهواء و سرعة الرياح(Thiam&Faye,2017) :

$$T_{PV} = T_a + I_T / (U_O + U_1 * V_W)$$

حيث :

T_{PV} درجة حرارة الخلايا بالدرجة المئوية ، T_a درجة حرارة الهواء بالدرجة المئوية ، I_T كمية الاشعاع الشمسي بالوات / متر مربع ، U_O ثابت ، U_1 ثابت ، V_W سرعة الرياح بالمتر/ ثانية .

- معادلة تحديد كثافة الشعاع الشمسي الساقط على دوائر العرض (مجد،٢٠١٨) :

$$Intensity = Sin\ (A) \times 100$$

حيث :

A زاوية سقوط شعاع الشمس أو ارتفاعه.

- معادلة تحديد زوايا سقوط الإشعاع الشمسي على سطح الأرض (زاوية الارتفاع) (مجد،٢٠١٨):

$$\sin A = \sin \varphi \times \sin \delta + \cos \varphi \times \cos \delta \times \cos \omega$$

حيث :

A زاوية السقوط (الارتفاع) ، و φ دائرة عرض المكان ، و δ زاوية ميل شعاع الشمس عن خط الاستواء ، و ω زاوية الساعة ، وتساوي صفر عند منتصف النهار ، وتزيد الزاوية بإشارة سالبة بمعدل – ١٥ درجة لكل ساعة من ساعات النهار باتجاه شروق الشمس ، وبالمعدل نفسه ولكن بإشارة موجبة في اتجاه غروب الشمس Robert,et al.,2010,p14).

- معادلة تحديد جهد الكهرباء الناتجة من الخلايا الكهروضوئية عند تعرضها لحرارة الهواء الواقعية (Thiam&Faye,2017) :

$$V = (V_{mp} \times \frac{v_{tc}}{100}) \times (T_{cell} - 25)$$

حيث : V جهد الخلية في حرارة الهواء العادية ، V_{mp} جهد الخلية عند الطاقة القصوى ، v_{tc} معامل الجهد الحراري ، T_{cell} درجة حرارة الخلية.

- معادلة تحديد إجمالي الكهرباء المنتجة من الخلايا الكهروضوئية عند تعرضها لحرارة الهواء الواقعية (Thiam&Faye,2017) :

$$P = (P_{max} \times \frac{P_{tc}}{100}) \times (T_{cell} - 25)$$

حيث : P الطاقة المنتجة من الخلية في حرارة الهواء العادية ، P_{max} أقصى طاقة منتجة من الخلية ، P_{tc} معامل الطاقة المنتجة الحراري ، T_{cell} درجة حرارة الخلية .

- معادلة تحديد قدرة المركزات الشمسية ذات المساحات الكبيرة (Gathu,et al.,2017) :

$$Power = DNI \times Efficiency \times Panel\ Area \times Concentration\ Factor$$

حيث : Power قدرة المركزات الشمسية ، DNI الاشعاع اشمسي المباشر ، Panel Area مساحة المركزات (١كم) ، Concentration Factor عامل التركيز (١١-١٦% في الشكل القطع المكافئ)

٧- استخدام برامج نظم المعلومات الجغرافية في الدراسات.

استعانت معظم الدراسات الحديثة بتقنية نظم المعلومات الجغرافية ، لما لها من دور فعال في تخزين و تصنيف البيانات الوصفية والمكانية وربطهما معاً في قواعد البيانات (Data base) ، علاوة على امكانية التعامل مع صور الاقمار الصناعية كمصدر من مصادر البيانات المناخية والطبوغرافية ، والعمل بتناغم مع المتغيرات التي تم تقدير أوزانها من قبل أساليب التحليل متعدد المعايير ، ومن أهم التحليلات التي تم استخدامها في تلك الابحاث:

- تقدير بيانات الاشعاع الشمسي سواء لمواقع محددة أو لمساحات كاملة من المناطق ، من خلال استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية ، حيث يستطيع نموذج التنبؤ بالإشعاع الشمسي area solar radiation module استخراج بيانات الاشعاع الشمسي في صورة أرقام أو على هيئة خرائط سطوح raster ، وقد انتشر هذا الاسلوب في كثير من الدراسات ، وبخاصة في المناطق التي تعاني من نقص البيانات المناخية ، ففي دراسة Effat (2016) عن تحديد امكانيات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية حول بحيرة ناصر في جنوبي مصر ، تم استخدام نظم المعلومات الجغرافية (Arc GIS) في تحدد قيم الاشعاع الشمسي الكلي من خلال نموذج الارتفاعات Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) ، وقد استخدم Al Garni and Awasthi (2017) الأداة نفسها في دراسته بالمملكة العربية السعودية وتمكن من تقدير الاشعاع الشمسي ، ومن خلال اسلوب اتخاذ القرار متعدد المعايير توصل الى أن ١٦% من منطقة الدراسة مناسبة لتوليد الكهرباء عبر الخلايا الكهروضوئية.
- استكمال البيانات المناخية المطلوبة لإتمام الدراسات في كافة جهات منطقة البحث بدلالة بعض البيانات المناخية المتوفرة ، ويتم ذلك في المناطق التي تعاني من انخفاض أعداد محطات الرصد الأرضية ، أو الابحاث التي يتم جمع بياناتها من الرصد الميداني ، فمن خلال تحليل (interpolation) ، ففي دراسة (مجد،٢٠١٨) عن تأثير الاخطار الحرارية على مستوى كفاءة الخلايا الكهروضوئية في مصر ، قام باستكمال البيانات المتمثلة في الاشعاع الشمسي و درجة حرارة الهواء عن طريق (interpolation) ، وقام بتوزيع درجات حرارة الخلايا الكهروضوئية ، ومستويات الانخفاض في كفاءتها في كافة جهات مصر.
- تصنيف البيانات الى فئات وفقاً لمستويات ملاءمتها مع متطلبات انشاء محطات الطاقة الشمسية ، و تغيير قيمة كل فئة واستبدلها بالأوزان بعد بناء مصفوفات التحليل الهرمي ، و يتم ذلك بواسطة تحليل (classification) و دمج طبقات المعلومات بعد وزنها، ففي دراسة Dawod and Mandoer (2016) عن حصاد الاشعاع الشمسي في

مصر باستخدام اسلوب القرار متعدد المعايير ، تم عمل تصنيف لمعايير الاشعاع الشمسي والانحدار و البعد عن : خطوط نقل الكهرباء و الطرق و ساحل البحر و المطارات والمدن مع اعتبار الاراضي الزراعية والبحيرات والاودية عوائق ، وتم اعادة تصنيف الفئات و اعطائها قيم يبلغ اقصاها رقم ١٠ ، وتم وزن كل متغير مقارنة بالآخر فحصل الاشعاع الشمسي على وزن ٠,٣ والانحدار على وزن ٠,١٥ و ٠,١ للبعد عن الطريق ، وانتهت الدراسة بخريطة للمواقع المناسبة لتوليد الطاقة الشمسية في مصر ، وقد استخدم Effat and El-Zeiny (2017) الاسلوب ذاته في محافظة الفيوم ، وتبين أن افضل المناطق لتوليد الطاقة الكهربائية عبر المركزات الشمسية في شمال المحافظة.

- استبعاد المناطق غير الملائمة من خرائط المتغيرات وفقا لطبيعة كل متغير ، مما يسهل عملية تحديد المواقع الانسب عن طريق تضييق الحيز المكاني للاختيار ، ويتم ذلك عبر تحليل الحرم Buffer أومن خلال أمر exclude أو عن طريق أمر select ومن خلاله يتم عمل خرائط جديدة للمناطق التي ستجرى عليها عملية الاختيار ، ففي دراسة .Mokarram et al (2020) تم استبعاد المناطق :التي تقل كثافة الاشعاع الشمسي بها عن ١٩٠٠كيلووات/متر مربع/ العام ، والتي تزيد المسافة التي تفصلها عن خطوط نقل الكهرباء والطرق عن ٥ كيلومتر ، والتي يقل ارتفاعها عن ١٢٠٠متر، والتي تزيد معدلات الرطوبة النسبية فيها عن ٢٦% ، ويزيد عدد ايام الرمال المثارة عن ٤٠ يوم ، وتقل درجة الحرارة عن ٢٤ درجة مئوية ، وفي دراسة .Nower et al (2020) تم تطبيق تلك التحليلات على كافة جهات مصر علاوة على الاستعانة بأسلوب التحليل التسلسلي الهرمي، و تمكن من تحديد ورسم خرائط لمواقع البركة الشمسية وبخاصة في مناطق : واحة الفرافرة و قرب واحة الداخلة و في محافظة مطروح والجيزة .
- تحديد المناطق التي تتوافر بها الظروف الملائمة من خلال المفاضلة بين أكثر من متغير، عن طريق تحليل التطابق أو التراكب Overlaying ، ففي دراسة .Wendsongre et al (2013) تم استخدام هذا التحليل في تحديد المناطق الانسب لتوليد الطاقة الشمسية من المركزات الشمسية في غرب أفريقيا ، وقد تم تطبيق التحليل على خرائط الاشعاع الشمسي المباشر و انحدار السطح و البعد عن خطوط نقل الكهرباء ، وتم الاستعانة بمعايير لكل خريطة ، حيث اعتبر الحد الادنى للإشعاع الشمسي المباشر ٤ كيلووات ساعة/متر مربع /اليوم ، و الحد الأقصى لنسبة الانحدار٥% و الحد الأقصى للمسافة الفاصلة عن خطوط نقل الكهرباء ١٠٠كيلومتر ، وتم تطبيق الاسلوب نفسة في دراسة .Juan et al (2013) في تقييم مواقع محطات الطاقة الشمسية في جنوب شرق اسبانيا ، وفي دراسة .Yousefi et al (2018) في تحديد المواقع الأنسب لتوليد الطاقة الشمسية في شمال غرب ايران .

الخاتمة:

بعد الدراسة التحليلية للبحوث العلمية التي تناولت دور المناخ في تحديد المناطق الانسب لتوليد الطاقة الشمسية يمكن استخلاص ما يلي :

١- النتائج :

- اتجهت الدراسات الى الاعتماد على اسلوب القرار متعدد المعايير (MCDM) في تحديد المواقع الانسب لتوليد الطاقة الشمسية ، فلم يعد الاشعاع الشمسي هو المعيار الوحيد في عملية التحديد ، ولم تعد عناصر المناخ بصفة عامة هي المعيار الاوحد في الاختيار ، وانما دخلت معايير أخرى تتعلق بجيومورفولوجية سطح الارض مثل : الانحدار و اتجاه و الارتفاع ومعايير تتعلق بالخدمات واستخدامات الارض مثل :البعد عن الطرق و خطوط نقل الكهرباء و العمران و المسطحات المائية والأراض الزراعية و المحميات الطبيعية و المناطق الأثرية ، ومعايير تتعلق بالسكان مثل عدد السكان و نسبة البطالة .
- توسعت الدراسات في استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وبخاصة برنامج (Arc GIS)، فلم يعد استخدمها قاصراً على الاستعلام عن البيانات المخزنة في قاعدة البيانات ، أو تمثيلها بطرق التمثيل الكارتوجرافي المتعددة ، وانما تركز استخدامها على استكمال البيانات المناخية مثل قيم الاشعاع الشمسي من نموذج التنبؤ بالإشعاع الشمسي، و تحويل البيانات من المحطات الأرضية الى خرائط شبكية ، ومن ثم استنباط القيم في كافة جهات المنطقة ، استخدام أساليب التحليل المتنوعة مثل تحليل حرم المسار و التطابق و التصنيف و الاستقطاع في تحديد المناطق الملائمة لإنشاء محطات توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية .
- تقلص الاعتماد على بيانات محطات الرصد الأرضية للإشعاع الشمسي والعديد من عناصر المناخ ، و التي غالباً ما تتسم بقلة عددها و عدم تغطيتها لكافة جهات مناطق الدراسة ، و عدم التوافر لفترات زمنية كبيرة أو ارتفاع اسعارها ، في مقابل التوسع في استخدام البيانات المتاحة على شبكة المعلومات ، وفي الغالب يكون مصدرها صور الاقمار الصناعية المتخصصة في مجال الرصد الجوي ، و التي تتاح في صورة جداول بيانات لمواقع محددة ،أو طبقات معلوماتية يمكن فتحها على برامج نظم المعلومات الجغرافية ، ومن أهم المواقع التي توفر تلك البيانات :

(https://openei.org و https://www.cmsaf.eu و https://globalsolaratlas.info)

- توسعت البحوث العلمية في استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية DEM، وتمثل استخدامها في استنباط بيانات الاشعاع الشمسي عن طريق برنامج نظم المعلومات الجغرافية Arc GIS ، وفي توفير المعايير المتعلقة بسطح الأرض مثل الارتفاع والانحدار وتوجيه السطح ، ومن أهم نماذج الارتفاعات التي تم استخدامها في الدراسات Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) .
- تنوع الباحثون في استخدام نماذج احصائية واساليب تحليلية تساعد في اتخاذ القرار المناسب والذي بني على أساس متغيرات متعددة (MCDM) ، ومن أهمها اسلوب التحليل الهرمي(AHP) حيث تصاغ المشكلة في صورة هرم يوضع الهدف في المستوى الأول و المتغيرات الرئيسية في المستوى الثاني و المتغيرات الفرعية المنبثقة منها في المستوى الثالث و البدائل أو الحلول في المستوى الاخير، ويتم ترتيب المتغيرات من حيث أهميتها عن طريق اعطائها وزن نسبي ، ويستخدم برنامج Expert choice في عمل مصفوفات الوزن النسبي للمتغيرات الرئيسية

والثانوية ، علاوة على ذلك توجد اساليب أخرى مثل : اسلوب التسلسل الهرمي الضبابي (Fuzzy AHP) ، واسلوب الشبكة التحليلية (ANP) ، واسلوب ترتيب الافضلية وفقاً للتشابه أو الاقتراب من الحل المثالي (TOPSIS).

- الانتشار الكبير للدراسات المتعلقة بتحديد المناطق الانسب لتوليد الطاقة الشمسية على قارات العالم ، حيث لم تقتصر على قارة من القارات ، فبعضها طبق في قارة أوروبا والأخر طبق في قارة أفريقيا ، وتم تطبيق بعض الدراسات في دول نامية و أخرى متقدمة ، مما يعكس التوجه العالمي العام نحو الاستفادة من الطاقة الشمسية في المستقبل .
- اتجهت الدراسات نحو التخصص في اختيار مواقع أنظمة توليد الكهرباء من اشعة الشمس ، فالغالبية العظمى من الدراسات اما تناولت تحديد المواقع الأنسب لأنظمة التوليد من الخلايا الكهروضوئية PV أو من أنظمة المركزات الشمسية CSP، اما الدراسات التي جمعت بين النمطين فعددها بسيط جداً .
- زاد الاهتمام عالمياً بمصادر الطاقة المتجددة ، وبخاصة الطاقة المستمدة من الإشعاع الشمسي والرياح كمصدر نظيف ومتجدد ليحل بديلا للفحم ومشتقات البترول، حيث بلغ زاد انتاج العالم من الكهرباء من خلال مصادر الطاقة المتجددة عام ٢٠١٨م نحو ٥٦,٧% عن الانتاج ذاته عام ٢٠١٠م ، وزادت كمية الطاقة الكهربائية المولدة من الرياح في عام ٢٠١٨م نحو ٢٦٨,٤% عن الانتاج ذاته عام ٢٠١٠م ، و كمية الطاقة الكهربائية المولدة من أشعة الشمس نحو ١٥٦٢,٢% عن الانتاج ذاته عام ٢٠١٠م ، و يتم توليد معظم الطاقة الكهربائية بواسط أشعة الشمس عن طريق الخلايا الكهروضوئية ، حيث تستحوذ على نحو ٥٤٩,٨ ألف جيجاوات ساعة بنسبة بلغت ٩٧,٨% ، في حين يتم توليد باقي الكمية (١٢,٢ألف جيجاوات ساعة) عن طريق المركزات الشمسية.
- يسهم قطاع توليد الكهرباء من مصادر الطاقة المتجددة بنسبة ضئيلة من اجمالي الطاقة المولدة في مصر ، فلم تتخطى نسبة الطاقة الكهربائية المولدة من أشعة الشمس أو الرياح أو حركة المياه ٠,٨%و ١,٥%و٧,٩% من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة خلال المدة من ٢٠١٤– ٢٠١٩م على الترتيب ، ولم تتجاوز كمية الطاقة الكهربائية المولدة من الاشعاع الشمسي نحو ٠,٨% من اجمالي الطاقة الكهربائية المولدة عام ٢٠١٨ –٢٠١٩م ، و من أشعة الشمس والرياح نحو ٢,٣% ، واذا تمت اضافة نسبة الكهرباء المائية يصبح الاجمالي ٨,٩% فقط من اجمالي الطاقة الكهربائية في العام ذاته ، ومن ثم تحتاج الدولة الى الاسراع في انشاء مشروعات جديدة لإنتاج الطاقة المتجددة ، لتصل الى تحقيق هدفها المعلن بحلول عام ٢٠٢٠م وهو ان تصل النسبة الى ٢٠%.
- شهدت البحوث العلمية المصرية في مجال الطاقة الشمسية تطوراً كبيراً ، وبخاصة الابحاث التي نشرت في مجلات دولية ، و تمثل التطور في استخدام أسلوب التحليل الهرمي المتسلسل كجزء من استراتيجية اتخاذ القرار متعدد المعايير ، و استخدام تقنية نظم المعلومات الجغرافية في عمليات التحليل واستكمال البيانات ، ولكن البحوث العلمية المصرية المحلية لم تصل الى المستوى المطلوب ، حيث تعتمد بدرجة كبيرة على المتغيرات المناخية و تغفل العديد من المتغيرات التي تدخل في اختيار المواقع الأنسب للتوليد ، و تعتمد على اسلوب استبعاد المناطق غير المناسبة ، وتغفل عن عمل مصفوفة وزن المتغيرات .

- من خلال التقييم المبدئي لمواقع مشروعات الطاقة الشمسية الكبرى في مصر ، والمتمثلة في موقع بنبان وكوم امبو و الكريمات ، يتضح أن تحديد تلك المواقع لم يعتمد على معيار توافر أكبر كمية للإشعاع الشمسي في مصر ، ولكن تم التنازل قليلاً عن هذا الشرط لصالح معايير اخرى مثل المسافة الفاصلة عن شبكة الكهرباء القومية و الطرق و مصادر المياه و طبيعة سطح الارض .

٢ – التوصيات:

- الابتعاد قدر الامكان عن العمل البحثي الفردي ، وضرورة العمل ضمن مجموعات بحثية وبخاصة في مجال التخطيط لإنشاء محطات توليد الطاقة المتجددة ، وان يتسم أفراد المجموعة بالتنوع في التخصصات و المهارات .
- تطوير منظومة الرصد الجوي الأرضي المصرية من خلال زيادة عدد المحطات واستخدام اجهزة حديثة ، علاوة على رفع كفاءة القائمين بالرصد والتحليل، والاسراع في اتاحة البيانات المناخية لمحطات الرصد المصرية مجاناً للباحثين و نشرها على موقع الهيئة العامة للأرصاد الجوية الالكتروني دون مقابل أو بمقابل رمزي .
- ضرورة التنوع في استخدام أساليب التحليل الاحصائي المتطورة وبخاصة اسلوب اتخاذ القرار متعدد المعايير ، و برمجيات نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار من بعد عند اختيار المناطق المناسبة لتوليد الطاقة الشمسية .
- التوسع في استخدام الصور الفضائية كمصدر للبيانات في الابحاث المتعلقة باختيار المواقع الانسب لتوليد الطاقة الشمسية .
- ضرورة التزام الحكومة أو الشركات بالتخطيط الجيد وعمل دراسات للجدوى الاقتصادية قبل انشاء محطات الطاقة الشمسية ، مع مراعاة كافة المعايير التي تؤثر في اختيار الموقع وبخاصة المعايير البيئية و الاجتماعية و الاقتصادية .
- تشجيع الاستثمار في مجال انتاج الطاقة الشمسية ، وعمل خريطة استثمارية دقيقة للمواقع المناسبة لإقامة تلك المشروعات في مصر ، و ان يكون تحديد تلك المواقع مبني على نتائج أبحاث علمية معتمدة.
- ضرورة توطين صناعة مستلزمات وأجزاء محطات الطاقة الشمسية في مصر ، والعمل على زيادة نسبة مساهمة المنتج المصري في تلك المحطات.
- التوسع في انشاء محطات طاقة شمسية في المناطق التي تعاني من عجز في الكهرباء ، وبخاصة في المناطق البعيدة عن شبكة الكهرباء القومية في الصحراء الغربية و ساحل البحر الأحمر .

قائمة بعينة الابحاث التي شملتها الدراسة التحليلية :

١- ابحاث باللغة العربية .

١- جاد الرب ، ياسمين(٢٠١٣) الطاقة المتجددة في مصر – دراسة في الجغرافيا الاقتصادية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية Gis ، دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا– كلية الآداب – جامعة الزقازيق

٢- حسانين ، رضا و الغماز ، محمد (٢٠١٥) محطة الكريمات الشمسية :منظور جغرافي، مجلة المجمع العلمي المصري ، المجلد ٩٠ ، ص ص ١٣٧– ١٧٨، DOI:10.21608/jfnile.2015.88842

٣- شهوان ، هبة (٢٠١٧) طاقة الشمس والرياح في شبه جزيرة سيناء – دراسة في المناخ التطبيقي باستخدام الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية ، ماجستير غير منشورة ، قسم الجغرافيا– كلية الآداب – جامعة القاهرة. .

٤- عبدالموجود ، ياسر(٢٠١٧) إمكانات الطاقة الشمسية في مصر مع التطبيق على محطة الكريمات – دراسة في جغرافية الطاقة باستخدام نظم المعلومات الجغرافية ، دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا– كلية الآداب – جامعة أسيوط .

٥- عبده ، سعيد (٢٠١٢) مستقبل الطاقة المتجددة في مصر ، مجلة المجمع العلمي المصري ، المجلد ٨٧،ص ص ١–٧٩، القاهرة ،DOI:10.21608/jfnile.2012.109161

٦- _____ (٢٠١٥) اتجاهات المدرسة المصرية في جغرافية الطاقة (١٩٥٠–٢٠١٥)، مجلة المجمع العلمي المصري ، المجلد ٨٩ ، ص ص ٢١–١٤٤، 109. DOI:10.21608/jfnile.2014 143

٧- عويضة ، محمد (٢٠١٧) التحليل المكاني للإشعاع الشمسي وامكانية توليد الطاقة في محافظة الوادي الجديد دراسة في المناخ التطبيقي، ماجستير غير منشورة ، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية ، كلية الآداب – جامعة حلوان.

٨- مجد ، زينهم (٢٠١٨) المعوقات الحرارية لأداء الخلايا الكهروضوئية في مصر دراسة في المناخ التطبيقي، ، المجلة الجغرافية العربية ،المجلد ٤٩ ، الجزء الثاني ، العدد الثاني والسبعون ، الجمعية الجغرافية المصرية ،ص ص ١–٥٧ . DOI: 10.21608/agj.2020.88312

٢- ابحاث باللغة الانجليزية .

1- Aboushal ,E.,(2018) Applying GIS Technology for optimum selection of Photovoltaic Panels "Spatially at Defined Urban Area in Alexandria, Egypt", *Alexandria Engineering Journal*, 57(N.4),4167-4176, https :// doi.org/10.1016/j.aej. 2018.11.005

2- Agroui,K.,(2012) indoor and outdoor characterization of photovoltaic module based on multi crystalline solar cells, *Energy procedia* , 18 , 857-866, https://doi.org/10.1016/ j.egypro .2012.05.100

3- Akkas, O., Erten, M., Cam, E.,and Inanc, N.,(2017) Optimal Site Selection for a Solar Power Plant in the Central Anatolian Region of Turkey, *International Journal of Photoenergy*, 2017, 1-13. https://doi.org/ 10.1155/2017/7452715

4- Al Garni, Z. and Awasthi, A., (2017) Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia. *Journal of applied energy*, 207:1225–1240 (2017). https:// doi.org/ 10.1016/j.apenergy.2017.10.024

5- Asakereh, A. , Omid, M. , Alimardani, R. ,and Sarmadian, F. (2014) Developing a GIS-based Fuzzy AHP Model for Selecting Solar Energy Sites in Shodirwan Region in Iran. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 68. 37-48. 10.14257/ijast.2014 .68.04. DOI: 10.14257/ijast.2014.68.04

6- Awan , A., Zubair, M., Praveen, R. and Abokhalil ,A.(2018) Solar Energy Resource Analysis and Evaluation of Photovoltaic System Performance in Various Regions of Saudi Arabia , *Sustainability*, 10(4), 1129; https://doi.org/10.3390/su10041129

7- Bayrakci,M., Choi, Y.,and Brownson,J., (2014)Temperature Dependent power modeling of photovoltaics , Energy procedia , 57, 745-754 , https://doi.org/10.1016/j .egypro. 2014.10.282

8- Calinoiu, D., Paulescu, M.,Ione, I. Pop, N., Boata , R.,Pacurar, A.,Gravila,, P.,Paulescu, E. , and Tordai, G. (2013). Influence of aerosols pollution on the amount of collectable solar energy, *Energy Conversion and Management*, 70, 76-8, https://doi.org/10.1016/j .enconman.2013.02.012

9- Carmona , F., Facundo, P.,Rivas , R.,Wolfram , E.,and Kruse, E.,(2018) Development and Analysis of a New Solar Radiation Atlas for Argentina from Ground-Based Measurements and CERES_SYN1deg data , The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science , 21(N.3), 211-217,https://doi.org/10.1016/j.ejrs .2017.11.003

10- Castillo, C., Silva, F., lavalle ,C., (2016) An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28, *Energy Policy*, 88,86–99 , http://dx.doi.org/ 10.1016/j.enpol .2015.10.004

11- Charabi ,Y.and Gastli, A.,(2010) GIS Assessment of Large CSP Plant in Duqum, Oman, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(N2),835-841. doi:10.1016/j.rser .2009.08.019

12- Clack, C. (2017) Modeling Solar Irradiance and Solar PV Power Output to Create a Resource Assessment Using Linear Multiple Multivariate Regression. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 56, 109–125, https://doi.org /10.1175/JAMC-D-16-0175.1

13- Clifton, J., and Boruff,J ., (2010) Assessing the potential for concentrated solar power development in rural Australia. *Energy Policy*, 38, 5272–5280, https://doi.org /10.1016/j.enpol.2010.05.036

14- Colak, H. , oglu , T., and Gercek, Y., (2020) Optimal site selection for solar photovoltaic (PV) power plants using GIS and AHP: A case study of Malatya Province, Turkey, *Renewable Energy*, 149, 565-576, https://doi. org/10.1016/ j.renene. 2019.12.078

15- Crook, A., Jones, A. , Forster, M. and Crook, R. ,(2011) Climate change impacts on future photovoltaic and concentrated solar power energy output . *Energy Environ.* Sci., 4, 3101-3109, https://doi.org/ 10.1039/C1EE01495A

16- Ding, G. , Fan, B., Long, T., Lan1, H., Liu, Y.,and Wang, J.,(2013) Analysis of Technical Properties of Wind and Solar Photovoltaic Power, *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 1, 39-44, http:// dx.doi .org/10.4236/jamp.2013.14008

17- Effat, H, (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* [IJSLUP] , 3(N. 1), 1-14

18- Effat, H. (2013) Selection of Potential Sites for Solar Energy Farms in Ismailia Governorate, Egypt using SRTM and Multicriteria Analysis. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2, 205-220.

19- Effat, H. , and El-Zeiny, A., (2017)Modeling potential zones for solar energy in Fayoum, Egypt, using satellite and spatial data. Model. *Earth Syst. Environ*. 3, 1529–1542. https://doi.org/10.1007/s40808-017-0372-2

20- Faye, M. and Thiam, A., (2017) Choice of Site for the Installation of Photovoltaic Solar Power Plants in Senegal: Consequences on Electricity Production. *Journal of Power and Energy Engineering*, 5, 109-118. https://doi.org/ 10.4236/jpee. 2017 .512013.

21- Gašparović, I.and Gašparović, M., (2018)Determining Optimal Solar Power Plant Locations Based on Remote Sensing and GIS Methods: A Case Study from Croatia. *Remote Sens, 11*, 1481. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2018.04.001

22- Gathu, J., Odera,P. and Waithaka, E., (2017) Determination of Suitable Sites for Establishment of Large-Scale Concentrated Solar Power Plants in Kenya. *Natural Resources* , 8, 1-23. http://dx.doi.org /10.4236 /nr.2017.81001

23- Georgiou A.,and Skarlatos , D.(2016) Optimal site selection for sitting a solar park using multi-criteria decision analysis and geographical information systems , *Geosci. Instrum. Method. Data Syst*., 5, 321–332, doi:10.5194/gi-5-321-2016

24- Goverde, H., Goossens, D., Govaerts, J, Catthoor, F., Baert, K., Poortmans, J. and Driesen, J., (2017) Spatial and Temporal Analysis of Wind Effects on PV Modules: Consequences for Electrical Power Evaluation. *Solar Energy*, 147, 292-299. https://doi.org/10.1016/ j.solener.2016.12.002.

25- Gregory, P., Rikus, L., and Kepert, J., (2012) Testing and Diagnosing the Ability of the Bureau of Meteorology's Numerical Weather Prediction Systems to Support Prediction of Solar Energy Production. *J. Appl. Meteor. Climatol*., 51, 1577–1601, https:// doi.org /10.1175/JAMC-D-10-05027.1.

26- Habib,S., Suliman A.,AL Nahry ,A., and Abd El Rahman, E. ,(2020) Spatial modeling for the optimum site selection of solar photovoltaics power plant in the northwest coast of Egypt , *Remote Sensing Applications: Society and Environment* , 18, April 2020, 100313 ,https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100313

27- Jenkins, P. and Ramamoorthy, G., (2020) Design Thermodynamic Performance Comparison and Cost Analysis of Photovoltaic (PV), Concentrated Solar Power (CSP), Wind Turbine, Natural Gas Combined Cycle (NGCC), and Integrated Solar Combined Cycle (ISCC) Power Plants. *Energy and Power Engineering*, 12,288-313.https://doi.org/10.4236/epe.2020.126018

28- Juan M. , Teruel-Solanob A. , Soto-Elvirab, L., Cascales, M. (2013) Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* , 24,544-556 , https:// doi.org/10.1016/ j.rser.2013.03.019

29- Kaplani, E. and Kaplanis, S., (2014) Thermal Modelling and Experimental Assessment of the Dependence of PV Module Temperature on Wind Velocity and Direction, Module Orientation and Inclination. *Solar Energy*, 107, 443-460.https://doi.org /10.1016/j.solener. 2014 .05.037

30- Ketchanji, M.,Ndjakomo, E., and Moukengue, I., (2019)A Simple Predictive Performance Model of Solar Cell under Very Hot and Humide Climate. *Journal of Power and Energy Engineering*,7, 26-47. https://doi.org/10.4236/jpee.2019.75004

31- Khemiri, W. Yaagoubi , R. and Miky, Y., (2018). Optimal placement of solar photovoltaic farms using analytical hierarchical process and geographic information system in Mekkah, Saudi Arabia , AIP *Conference Proceedings* 2056, 020025 , https://doi.org/ 10.1063/ 1.5084998

32- Koehl, M.,Heck, M.,Wiesmeier, S., and Wirth, J.,(2011)Modeling of the nominal operating cell temperature based on outdoor weathering , *Solar Energy Materials and Solar Cells* ,95 (N. 7), 1638-1646, https :// doi.org/10.1016/j.solmat.2011.01.020

33- Krishna R. , Binod, K., Shekhar, G., (2013) Estimation of Global Solar Radiation for Four Selected Sites in Nepal Using Sunshine Hours, Temperature and Relative Humidity, *Journal of Power and Energy Engineering*, 1, 1-9, http://dx.doi. org/ 10.4236 /jpee.2013.13003

34- Labordenaa, M. , Patta, A., Bazilianb, M., Howellsb, M.,and Lilliestam, J., (2017) Impact of political and economic barriers for concentrating solar power in Sub-Saharan Africa, *Energy Policy*, 102, 52–72, http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.008

35- Merrouni, A.,Mezrha ,A., and Mezrhab, A., (2014) CSP Sites Suitability Analysis in the Eastern Region of Morocco, *Energy Procedia* , 49, 2270-2279,https://doi.org/ 10.1016/j. egypro.2014.03.240

36- Miglietta, M., Huld T., and Monforti-Ferrario F., (2017) Local Complementarity of Wind and Solar Energy Resources over Europe: An Assessment Study from a Meteorological Perspective. *J. Appl. Meteor. Climatol*., 56, 217–234, https://doi.org/ 10.1175 /JAMC-D-16-0031.1.

37- Ministry of electricity and Renewable energy , new and Renewable energy Authority (2018) the solar atlas of Egypt, http://www.nrea.gov.eg /Content/ files/solaratlasreport.pdf

38- Moharram , K., Abd-Elhady , M., Kandil a, H.,and El-Sherif, H.,(2013)Enhancing the performance of photovoltaic panels bywater cooling, *Ain Shams Engineering Journal* , 4(N.4), 869-877 , https://doi.org/10.1016/j.asej.2013.03.005

39- Mokarram, M., Mokarram, M.j., Khosravi, M., Saber,A., Rahideh,A., (2020) Determination of the optimal location for constructing solar photovoltaic farms based on multi-criteria decision system and Dempster–Shafer theory. *Sci Rep* 10, 8200, https://doi.org/ 10.1038/ s41598-020-65165-z

40- Sansom, C., Comley, P., King, P., Almond, H., Atkinson, C.,and Endaya, E.,(2015) Predicting the Effects of Sand Erosion on Collector Surfaces in CSP Plants, *Energy Procedia*, 69, Pages 198-207, https://doi.org/10.1016/j.egypro. 2015.03. 023

41- Soulouknga, M., Ajayi, R., Doka, O., and Kofane, T., (2017) Determination of a Suitable Solar Radiation Model for the Sites of Chad. *Energy and Power Engineering* , 9,703-722.https://doi.org/10.4236/epe. 2017.912045

42- Tiba, C. and Azevedo, V., (2020) Potential Map for the Installation of Concentrated Solar Power in Northeast of Brazil Using Analytic Hierarchy Process (AHP). *Journal of Geographic Information System*, 12, 470-495. https://doi.org/10.4236 /jgis. 2020.125028

43- Uyan, M., (2017)Optimal site selection for solar power plants using multi-criteria evaluation: A case study from the Ayranci region in Karaman, Turkey. *Clean Techn Environ Policy* ,19, 2231–2244, https://doi.org/10.1007/s10098-017-1405-2

44- Wendsongre ,E., Azoumah, Y., Brew-Hammond ,A., Rungundu ,A.,and Tapsoba,G., (2013) Site Ranking and Potential Assessment for Concentrating Solar Power in West Africa . *Natural Resources*, 4, 146-153. http://dx.doi.org/10.4236/nr.2013 .41 A019

45- Yousefi, H., Hafeznia, H., Yousefi-Sahzabi, A.,(2018)Spatial Site Selection for Solar Power Plants Using a GIS-Based Boolean-Fuzzy Logic Model: A Case Study of Markazi Province, Iran. *Energies*, *11*, 1648. DOI: 10.3390/en11071648

46- Zell, E., Gasim,S., Wilcox,S., Katamoura,S., Stoffel,T., Shibli,H., Engel-Cox,J.,and Al Subie,M., (2015) Assessment of Solar Radiation Resources in Saudi Arabia. *Solar Energy*, 119, 422-438. https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.06.031

قائمة المراجع والمصادر العربية .

١- الجهاز المركزي للتعبئة العامة والإحصاء ، دراسة مستقبل الطاقة الشمسية في مصر ، ٢٠١٥م

٢- كراوتر، ستيفان (٢٠١١) توليد القدرة الكهربائية من الطاقة الشمسية أنظمة الطاقة الفولتضوئية، ترجمة عبدالباسط على كرمان و محمد عبد الستار الشيخلي ،المنظمة العربية للترجمة – مركز دراسات الوحدة العربية ، بيروت .

٣- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة – الشركة القابضة لكهرباء مصر ، التقرير السنوي ٢٠١٨-٢٠١٩م.

٤- وزارة الكهرباء والطاقة المتجددة ، هيئة تنمية واستخدام الطاقة الجديدة والمتجددة ، التقرير السنوي ، ٢٠١٥م

قائمة المراجع والمصادر الأجنبية .

1- Anasuya,G.,and Hippus,S.,(2017) institutional Roof to solar NIAS experience with A100kw solar system , national institute of Advanced studies , Indian institute of science campus, INDIA.

2- Chenming,H, and Richard,M.,(1983)Solar cells from Basics to Advanced systems ,Mc Graw-Hill Book Company, USA.

3- Jane,E., and Walter,V.,(2011) Climate impact on Energy systems-key issues for energy sector Adaptation , world bank ,Washington, USA.

4- Renewable capacity statistics ,international Renewable energy Agency (IRENA) ,2020, https://www.irena.o rg/publications /2020/Mar /Renewable-Capacity-Statistics-202

5- Renewable energy and energy efficiency in developing countries : contributions to reducing global emissions – third Report, united nations Environment programme ,2017, https://wedocs.unep. Org / bitstream/handle/20.500.11822/22149/1_Gigaton_Third%20Report_EN.pdf?sequence=1&isAllowed=y

6- Robert,F.,Chassemi M.,Cota,A.,(2010) solar Energy – Renewable energy and the Environment , Taylor & Francis Group ,USA

7- Tiwari,G., and Swapnil ,D.,(2010). Fundamentals of photovoltaic modules and their Applications , RSC publishing ,UK.

قائمة الملاحق : ملحق (١) اهم المجلات العلمية التي تم شملتها الدراسة المسحية .

N	Journal	SJR	Publisher
1–	Journal of Energy & Environmental Science	13.024	ROYAL SOC CHEMISTRY
2–	Renewable & Sustainable Energy Reviews	3.632	Elsevier Ltd.
3–	Applied Energy	3.607	Elsevier BV
4–	Journal of Economic Geography	2.192	Oxford University Press
5–	Energy Policy	2.17	Elsevier BV
6–	Renewable Energy	2.052	`Elsevier BV
7–	Solar Energy Materials & Solar Cells	1.83	Elsevier BV
8–	Solar Energy	1.537	Elsevier Ltd.
9–	Remote Sensing	1.422	MDPI Multidisciplinary Digital Publishing Institute
10–	Journal of Applied Meteorology and Climatology	1.367	the American Meteorological Society
11–	Scientific Reports	1.34	Nature Publishing Group
12–	Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science	0.93	National Authority for Remote Sensing and Space Sciences
13–	Remote Sensing Applications: Society and Environment	0.71	Elsevier BV
14–	Clean Technologies and Environmental Policy	0.65	Springer Verlag
15–	Energies	0.635	MDPI Publishing Institute
16–	Journal of Solar Energy Engineering	0.61	The American Society of Mechanical Engineers(ASME)
17–	Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics	0.57	Elsevier Ltd.
18–	Energy Procedia	0.55	Elsevier BV
19–	Sustainability	0.531	MDPI AG
20–	International Journal of Energy and Environmental Engineering	0.528	Springer Science + Business Media
21–	Ain Shams Engineering Journal	0.4	Ain Shams University
22–	International Journal of Photoenergy	0.38	Hindawi Publishing Corporation
23–	Journal of Software Engineering and Applications	0.14	Science and Engineering Research Support Society
24–	International Journal of Advanced Science and Technology	0.11	Science and Engineering Research Support Society

المصدر : الدراسة المسحية وموقع :https://www.scimagojr.com

Standards and techniques for determining optimal sites for solar energy generation in light of contemporary climate changes, a reference study

* Prof. zenhom magd

summary

Despite the great negative effects of climate change, which spread to all countries of the world, the sixth report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), and in the twenty-seventh edition of the Conference of the Parties (COP27) held in Egypt in 2022 AD, warned of the possibility of its increase, and the level of Energy demand and pressure on traditional energy sources, especially oil. However, the burning of fossil fuels such as oil and coal has led to high levels of greenhouse gases, which has bad effects on both the components of the ecosystem in general, and human health in particular.

Conference of the Parties (COP27) was concerned with localizing and investing in renewable energy sources, especially energy derived from climate elements represented in solar radiation and wind, as an economically and environmentally irreplaceable option, and a clean and renewable source that can gradually replace coal and petroleum derivatives. The high economic cost of establishing renewable energy projects made them subject to economic considerations (profit and loss), which necessitates good planning that takes into account the requirements of the project and the characteristics of the site, which ensures the continuity and growth of the project, and climate conditions are among the most important considerations that must be taken into account when choosing the appropriate site for power generation renewable.

The researcher sought to monitor and analyze the standards and techniques used in choosing the optimal sites for solar energy generation in a sample of global and local scientific research (54 research) during the period from 2000 to 2009 AD, and to stand on the most important developments and developments that it witnessed, and reached its dependence on the method of The multi-criteria decision (MCDM) in determining the most suitable sites for solar energy generation, climate elements in general are the only criterion for selection, but other criteria related to the geomorphology of the earth's surface such as: slope, direction, elevation, and criteria related to services and land uses such as: distance from roads and Electricity transmission lines, urbanization, water bodies, agricultural land, natural reserves, archaeological areas, and population-related criteria such as population and unemployment.

The methods were relied on to give a relative weight to the variables, the most important of which are: the analysis hierarchical method (AHP) and the fuzzy hierarchy method (Fuzzy AHP)) and the analytical network method (ANP) and the method of arranging preference according to similarity or closeness to the ideal solution (TOPSIS), and the use of the expert choice program In the work of the relative weight matrices of the main and secondary variables, and the use of geographic information systems programs and remote sensing in the processes of spatial analysis of the data.

Keywords: Climate change, renewable energy, solar energy

* Professor of Applied Climatology and Geographic Information Systems, Faculty of Arts, Kafrelsheikh University