التحليل الجغرافي لإنشاء مشروع الطاقة الشمسية في مدينة بنغازي

د.هويدا مفتاح المغربي
محاضر- جغرافيا- كلية الآداب بجامعة اجدابيا
howidaalmogarby@gmail.c om

د. إلهام حسين الكوافي
محاضر- جغرافيا- كلية الآداب - بجامعة اجدابيا
elhamelkowafi@gmail.com

تاريخ الاستلام: 2025/06/29م
القبول: 2025/07/14م
تاريخ النشر: 2025/09/20م

ملخص البحث:

إن الاهتمام المتزايد بقضايا البيئة والتنمية المستدامة على الصعيد العالمي يضع الطاقة المتجددة في صميم الجهود الرامية إلى بناء مستقبل أكثر استدامة. حيث يشهد العالم تحولًا متسارعاً نحو تبني مصادر الطاقة المتجددة، للتخفيف من وطأة تغير المناخ واستنزاف الوقود الأحفوري. ومن هذا المنطلق تبرز أهمية الطاقة الشمسية كمصدر واعد ونظيف للطاقة، خاصة في المناطق التي تتمتع بمعدلات إشعاع شمسي مرتفعة. وتعد مدينة بنغازي التي تقع في منطقة ذات مناخ جاف وشبه جاف نموذجًا للمناطق التي حباها الله بوفرة في هذا المورد الطبيعي المتجدد.

يهدف هذا البحث إلى تقديم تحليل شامل ومقترح لتخطيط مشروع إنشاء شبكة طاقة شمسية مستدامة في جنوب مدينة بنغازي، في ظل التحديات التي تواجه قطاع الطاقة التقليدي والاحتياج المتزايد لمصادر طاقة نظيفة، من خلال دراسة متوسط الإشعاع الشمسي وعدد ساعات سطوع الشمس على مدار العام. ليقدم تحليلاً شاملاً للبنية التحتية الحالية لشبكة الكهرباء في المدينة وتحديد النقاط التي يمكن دمج شبكة الطاقة الشمسية المقترحة بها بكفاءة. كما يستعرض البحث الابعاد الاقتصادية والاجتماعية عن إقامة المشروع. من خلال تبني شبكة طاقة شمسية متكاملة يمثل فرصة استراتيجية لتحقيق أمن الطاقة، وتعزيز التنمية المستدامة، وتحسين نوعية حياة السكان في بنغازي.

الكلمات المفتاحية: التنمية المستدامة- الطاقة الشمسية- تخطيط المشروعات .

Geographical analysis of the establishment of a solar energy project in Benghazi

Dr. Howayda Miftah Al-Maghribi
Lecturer at the University of
howidaalmogarby@gmail.com

Dr. Elham Hussein Al-Kawafi
Lecturer at the University of
elhamelkowafi@gmail.com

Received (date): م2025/06/29
Accepted (date): م2025/07/14
Published (date): م2025/09/20

Abstract:

The growing interest in environmental and sustainable development issues globally places renewable energy at the heart of efforts to build a more sustainable future. The world is witnessing an accelerating shift towards adopting renewable energy sources, to mitigate the impact of climate change and fossil fuel depletion. From this standpoint, the importance of solar energy as a promising and clean source of energy emerges, especially in areas with high solar radiation rates. Benghazi, located in an area with an arid and semi-arid climate, is an example of the areas that God has blessed abundantly with this renewable natural resource.

This research aims to provide a comprehensive analysis and proposal for planning a project to establish a sustainable solar energy grid in the south of Benghazi, in light of the challenges facing the traditional energy sector and the growing need for clean energy sources, by

studying the average solar radiation and the number of hours of sunshine throughout the year. To provide a comprehensive analysis of the city's current electricity grid infrastructure and identify points where the proposed solar grid can be efficiently integrated. The research also reviews the economic and social dimensions of establishing the project. By adopting an integrated solar energy grid, it represents a strategic opportunity to achieve energy security, promote sustainable development, and improve the quality of life of the population in Benghazi.

Keywords: sustainable development - solar energy - project planning.

المقدمة:

شهد العالم في العقود الأخيرة تحولًا ملحوظًا نحو اعتماد مصادر الطاقة المتجددة، وفي مقدمتها الطاقة الشمسية، باعتبارها خيارًا استراتيجيًا لمواجهة التحديات البيئية والاقتصادية الناجمة عن الاعتماد المفرط على الوقود الأحفوري. فقد أصبحت الطاقة الشمسية ركيزة أساسية في خطط الدول لتحقيق التنمية المستدامة، نظرًا لدورها في خفض الانبعاثات الكربونية، وضمان أمن الإمداد بالطاقة، وتوفير حلول اقتصادية وبيئية فعّالة.

وتُعد ليبيا، بما تمتلكه من موقع جغرافي متميز في قلب "حزام الشمس"، من بين أغنى دول العالم من حيث معدلات السطوع الشمسي، إذ تتراوح ساعات الإشعاع الشمسي السنوي بين (3200) و(4000) ساعة. كما تُصنَّف ضمن الدول ذات أعلى معدلات الإشعاع الشمسي عالميًا، ما يمنحها إمكانات هائلة لتطوير مشاريع الطاقة الشمسية. ورغم هذه الميزة النسبية، فإن مستوى الاستفادة الفعلية من هذه الإمكانات لا يزال محدودًا، حيث يقتصر الاستثمار على مشاريع صغيرة النطاق، متفرقة جغرافيًا، ولم تُنفذ بعد مشاريع كبرى تلبي الطلب المتزايد على الكهرباء.

في ظل التحديات البيئية، وارتفاع استهلاك الطاقة الكهربائية في المدن الكبرى، تأتي مدينة بنغازي – ثاني أكبر مدن ليبيا – كموقع استراتيجي واعد يمكن أن يكون نموذجًا رائدًا لتطبيق مشاريع الطاقة الشمسية واسعة النطاق. ويكتسب هذا التوجه أهمية خاصة في منطقة جنوب بنغازي، لما تتمتع به من مساحات واسعة غير مستغلة، ومعدلات سطوع شمسي مرتفعة، إضافة إلى قربها من البنية التحتية لشبكة الكهرباء.

يركز هذا البحث على تحليل الإمكانات الجغرافية والفنية لإنشاء محطات طاقة شمسية في مدينة بنغازي، مع تحديد العوامل المؤثرة في اختيار المواقع المثلى، بما يضمن تحقيق أعلى كفاءة ممكنة واستدامة للمشاريع المستقبلية. ويهدف إلى تقديم رؤية عملية تدعم صانعي القرار في وضع خطط استراتيجية لتطوير قطاع الطاقة المتجددة في المدينة، بما يتماشى مع متطلبات التنمية المستدامة في ليبيا.

المبحث الأول

أهمية البحث وأسباب اختياره:

يساهم في إثراء الدراسات الجغرافية التطبيقية بمجال الطاقة المتجددة، من خلال تحليل الإمكانات الطبيعية والبشرية لمدينة بنغازي في إنتاج الطاقة الشمسية.

كما يوفر قاعدة بيانات ومؤشرات تساعد صانعي القرار والمستثمرين على تحديد المواقع المثلى لإقامة مشاريع الطاقة الشمسية، بما يرفع من كفاءة استغلال هذا المورد، و يطرح حلولًا تقلل من الانبعاثات الغازية الضارة الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري، مما ينعكس إيجابًا على البيئة وصحة السكان. و يفتح المجال أمام فرص استثمارية جديدة، ويقلل من فاتورة استيراد الوقود أو استهلاكه محليًا لتوليد الكهرباء.

مشكلة البحث:

تعتمد مدينة بنغازي بشكل شبه كامل على مصادر الطاقة التقليدية (الغاز والنفط) في توليد الكهرباء، مما يجعلها عرضة لمشكلات انقطاع التيار الكهربائي، خاصة في أوقات الذروة الصيفية، نتيجة لزيادة الطلب وضعف البنية التحتية. ورغم أن ليبيا تتمتع بمعدلات إشعاع شمسي تُعد من الأعلى عالميًا، إلا أن استغلال هذا المورد ما زال محدودًا للغاية، ويقتصر على مشاريع صغيرة النطاق وغير متكاملة. هذا الوضع يثير تساؤلًا حول مدى إمكانية الاعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر بديل وموثوق للمساهمة في حل أزمة الكهرباء في بنغازي.

الفرضية

يمكن لمشاريع الطاقة الشمسية، إذا ما تم اختيار مواقعها وتخطيطها وفق أسس علمية مدروسة، أن تسهم بفاعلية في تلبية جزء مهم من الطلب على الكهرباء في مدينة بنغازي، وتقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري، بما يحقق استدامة وأمنًا للطاقة على المدى الطويل.

أهداف البحث:

1. دراسة معدلات الإشعاع الشمسي في مدينة بنغازي وتحليل توزيعها الجغرافي.
2. تحديد المعايير الجغرافية والبيئية والفنية لاختيار المواقع المناسبة لإنشاء محطات طاقة شمسية.
3. إعداد خريطة توضح أفضل المواقع المقترحة لمشاريع الطاقة الشمسية في جنوب بنغازي.
4. تقييم الجدوى المبدئية لاعتماد الطاقة الشمسية كمصدر بديل لتغطية جزء من احتياجات المدينة من الكهرباء.
5. اقتراح توصيات عملية لتطوير قطاع الطاقة المتجددة بما يتماشى مع خطط التنمية المستدامة في ليبيا.

منهج البحث:

اعتمد هذا البحث على المنهج الوصفي التحليلي في دراسة خصائص الإشعاع الشمسي بمدينة بنغازي، من خلال تحليل العوامل الجغرافية المؤثرة في تحديد المواقع المثلى لإنشاء محطات

الطاقة الشمسية. ولتعزيز دقة النتائج، تم توظيف المنهج الكمي في معالجة وتحليل البيانات المناخية ، بهدف إنتاج خرائط ونتائج كمية تدعم الفرضيات المطروحة.

وقد شمل ذلك استخدام التحليل المكاني عبر نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، لدمج مختلف الطبقات المناخية والجغرافية وتحليلها مكانيًا لتحديد المواقع الأنسب لمشاريع الطاقة الشمسية. كما تم تطبيق التحليل الإحصائي لحساب المتوسطات ومؤشرات التوزيع الزمني والمكاني للإشعاع الشمسي، بما يسهم في تقديم تصور علمي دقيق للمجال المدروس.

حدود البحث

الحدود المكانية: تركز الدراسة على مدينة بنغازي، مع التركيز الخاص على المنطقة الجنوبية للمدينة.

الحدود الزمنية: تعتمد الدراسة على بيانات مناخية حديثة حتي عام 2024م

1. الموقع الجغرافي

تقع مدينة بنغازي ضمن الإحداثيات الفلكية بين خطي طول ′ 33″7 20° شرقًا ودائرتي عرض ″70 ′10 32 ° شمالًا، كما هو موضح في الشكل (1)،وتبلغ مساحتها الجغرافية حوالي 9437.19 هكتارا"(الهيئة العامة للمساحة،2015))، أما من حيث الموقع الجغرافي فتتمركز المدينة على الساحل الجنوبي للبحر الأبيض المتوسط.

الشكل (1) موقع مدينة بنغازي

المصدر : من اعداد الباحثات باستخدام برنامج ARC GIS PRO.3

الدراسات السابقة:

شهدت العقود الأخيرة تزايداً ملحوظاً في الاهتمام بالطاقة الشمسية كأحد أهم مصادر الطاقة المتجددة، وقد تناولت العديد من الأبحاث العلمية هذا المجال من جوانب تقنية واقتصادية وبيئية . وفيما يلي عرض موجز لأبرز الدراسات السابقة:

1. دراسة Tobechukwu Okamkpa وآخرين (2024) بعنوان "Performance Analysis of a Photovoltaic System with Thermoelectric Generator and Phase Change Material; An Experimental Approach"، تناولت إمكانية تحسين أداء الخلايا الشمسية من خلال دمجها مع مادة تغيير الطور (PCM) ومولد حراري كهربائي .(TEG) . وقد أظهرت النتائج أن استخدام الـ PCMأدى إلى رفع القدرة الكهربائية بنحو 68% مقارنة بالنظام التقليدي، وهو ما يبرز أهمية حلول التبريد في البيئات الحارة.

2.دراسة Jabir Bin Jahangir وآخرين (2024) بعنوان "Physics-guided machine learning predicts the planet-scale performance of solar farms"،

استخدمت تقنيات التعلم الآلي الموجه بالفيزياء للتنبؤ بأداء مزارع الطاقة الشمسية على نطاق عالمي بالاعتماد على بيانات متفرقة .وأثبتت أن النماذج القائمة على الذكاء الاصطناعي قادرة على تقديم تنبؤات دقيقة تسهم في تخطيط المشروعات المستقبلية.

3. دراسة Ali و Zakariaو El-Tawab (2025) بعنوان "A comprehensive study of recent maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems"،

قدمت مراجعة شاملة لأساليب تتبع نقطة القدرة القصوى(MPPT) ، وأظهرت أن الطرق الذكية المعتمدة على الخوارزميات المتقدمة تحقق كفاءة أعلى تحت الظروف الجوية المتغيرة، مما يجعلها أكثرملاءمة للاستخدام في المناطق ذات الإشعاع المتقلب.

4.دراسة منشورة في مجلة Energies (2025) بعنوان "A Comprehensive Review of Solar PV Integration with Smart-Grids: Challenges, Standards, and Grid Codes"،

ركزت على التحديات المرتبطة بدمج أنظمة الطاقة الشمسية مع الشبكات الذكية، وأشارت إلى ضرورة تطوير المعايير والقوانين الفنية لضمان استقرار الشبكة عند ارتفاع مساهمة الطاقة المتجددة.

5. دراسة Qiujie Sun وآخرين (2023) بعنوان "The Economic Influence of Energy Storage Construction in the Context of New Power Systems"،

حللت الأثر الاقتصادي لبناء أنظمة تخزين الطاقة في ظل التحول نحو مصادر الطاقة المتجددة . وخلصت إلى أن الاستثمار في التخزين، رغم تكلفته المرتفعة، يحقق فوائد استراتيجية على المدى الطويل من حيث الاستقرار وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري.

يتضح من هذه الدراسات أن استغلال الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء لا يقتصر على الجانب التقني المتعلق بالكفاءة فقط، بل يشمل أيضاً قضايا التخزين والتكامل مع الشبكات، إضافة إلى الجوانب الاقتصادية والتنظيمية .كما تبرز أهمية استخدام التكنولوجيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي والتبريد النشط لتعزيز كفاءة المنظومات الشمسية خاصة في البيئات ذات الظروف المناخيةالقاسية.

المبحث الثاني: الطبيعة الجغرافية في منطقة الدراسة

1.البُنيةُ الجيولوجيّةُ لمدينةِ بَنغازي

تعود الاصول الجيولوجية للأراضي الليبية الى العصور الجيولوجية القديمة، حيث تتكون القاعدة الصخرية في بعض المناطق من صخور نارية متحولة ترجع الى الزمن الاركي، وهي تعد من اقدم التكوينات الصخرية المعروفة على سطح الارض. وتعلو هذه القاعدة طبقات رسوبية ترجع الى العصور الجيولوجية المتأخرة، وتغطي مساحات واسعة من البلاد. وتعد الصخور الرسوبية العائدة الى العصر الكريتاسي، ولا سيما التكوينات الجيرية والرملية، من ابرز التكوينات السائدة، وهي تتأثر بشكل ملحوظ بالعوامل المناخية، كاختلاف درجات الحرارة ومستويات الرطوبة، مما يسهم في تغيير خصائصها الفيزيائية والميكانيكية عبر الزمن(المهدوى،1998م).

تقع مدينة بنغازي ضمن نطاق سهل بنغازي، والذي يتسم بسطح مستوي الى متموج، مع انحدارات طفيفة وارتفاعات محدودة، ويظهر في هذا السهل عدد من المراوح الفيضية المتصلة من جهة بالحواف الجبلية، ومن جهة اخرى بالتكوينات الصخرية الممتدة على طول الشريط الساحلي، مما يضفي على المنطقة طابعا جيومورفولوجيا مميزا(J. A., & Beckman, W. A. (2013).

2- الظروف المناخية

تلعب العوامل المناخية دوراً محورياً في تشكيل الانماط المعيشية والاقتصادية في أي منطقة، لا سيما تلك المرتبطة باستهلاك الطاقة. وتعد الظروف المناخية من أبرز المحددات التي تؤثر في حجم الطلب على الطاقة، ومن هذا المنطلق فان فهم الخصائص المناخية لمنطقة الدراسة يعد امراً بالغ الاهمية عند تحليل سلوكيات استهلاك الطاقة الشمسية، ووضع الخطط الاستراتيجية المستقبلية لإدارة الموارد.

تتأثر منطقة الدراسة بمجموعة من العناصر المناخية المتباينة، يحددها الموقع الجغرافي وظروف البيئة المحلية. ومن ابرز هذه العناصر: سطوع الشمس، ودرجات الحرارة، وسرعة الرياح واتجاهاتها، وتشكل هذه العوامل مجتمعة الاطار العام الذي يسهم في رسم ملامح الطلب على الطاقة، خاصة في فترات الذروة المناخية التي تتطلب استهلاكا عاليا للكهرباء لتلبية احتياجات التبريد صيفا، والتدفئة شتاء.

❖ سطوع الشمس:

سطوع الشمسي هو مقدار الطاقة الشمسية التي تصل إلى وحدة المساحة الأفقية على سطح الأرض خلال فترة زمنية معينة، ويُقاس غالبًا بوحدة واط/م² (W/m²) أو كيلوواط ساعي لكل متر مربع في اليوم (kWh/m²/day). ويعكس هذا المؤشر مدى قوة الإشعاع الشمسي في منطقة ما، ويُعد من العوامل الأساسية في تصميم أنظمة الطاقة الشمسية(J. A., & Beckman, W. A . (2013)) فمن تحليل لبيانات الجدول (1) للإشعاع الشمسي في مدينة بنغازي، ومع التركيز على التباين الفصلي والعوامل الجغرافية المؤثرة. تعتمد الدراسة على بيانات الإشعاع الشمسي (MJ/m²/يوم)*، والأشعة المنعكسة (الإلبيدو)، والأشعة الواصلة لسطح الأرض، لتقديم رؤية شاملة للطاقة الشمسية في المنطقة.

جدول (1) كمية الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة في الفترة من 1980-2024

فصول السنة	كمية الإشعاع بالميجا جول/م2/يوم	المعدل السنوي للأشعة المنعكسة (الإلبيدو)	المعدل السنوي للأشعة الواصلة لسطح الأرض
الشتاء	12	21.4	19.2
الصيف	27.2		
الخريف	21.9		
الربيع	17.4		

المصدر: من اعداد الطالبة اعتمادا" على الموقع:https://globalsolaratlas.info/map

تُظهِرُ البيانات تبايُناً واضِحاً في قيم الإشعاع الشمسي بين الفصول الأربعة، حيث سُجِّلَت أعلى قيمةٍ في فصلِ الصَّيفِ (27.2 MJ/m² /يوم)، تليها الخريفُ (21.9 MJ/m² /يوم)، ثمّ الربيعُ (17.4 MJ/m² /يوم)، وأخيرًا الشتاءُ (12 MJ/m² /يوم(الهيئة العامة للبيئة في ليبيا وبيانات المناخ العالمية) يُعزى هذا التبايُنُ إلى العوامل التالية:

أ. زاويةُ سُقوطِ الشمس: التي تَصِلُ إلى ذُروتِها خلالَ الصيفِ، ممّا يُزيدُ من كثافةِ الإشعاع.

ب. طولُ النهار: حيث يُساهِمُ طولُ النهارِ في الصيفِ في زيادةِ كميّةِ الإشعاعِ الإجماليّة.

ج. غطاءُ السَّحب: يُلاحَظُ انخفاضُ غطاءِ السّحب خلال الصيفِ مقارنةً بالشتاءِ، ممّا يُقلِّلُ من

تَشتُّتِ الإشعاع(الهيئة العامة للبيئة في ليبيا وبيانات المناخ العالمية،) ،ويكون في مدينةِ بَنغازي أقلَّ من (10–15%) في يوليو وأغسطس، أي أقلَّ من المتوسِّط، مقارنةً بـ(30–40%) في ديسمبر ويناير.

- الأشعةُ المُنعكسةُ (الإلبيدو):سجَّلت المنطقةُ معدَّل البيدو سنوياً بلغ (21.4%)، وهو معدَّل مرتفعٌ نسبيًّا مقارنةً بمناطقَ أُخرى، ويمكن تفسيرُ ذلك بالعواملِ منها طبيعةُ السَّطح التي تسود فيها التربات الرمليّة والصّخرية ذاتُ اللونِ الفاتحِ، ممّا يُزيدُ من نِسبةِ الانعكاس، والغطاءُ النباتي الذى يشهدُ محدوديّة في المنطقة، ممّا يُقلِّلُ من امتصاص الإشعاع ويزيدُ من الانعكاس. الأشعّةُ

الواصِلةُ إلى سطح الأرض على الرغمَ من ارتفاعِ معدّلِ الالبيدو(الكوافي،) ، فإنّ الأشعةَ الواصلةَ إلى سطحِ الأرض تظلُّ مرتفعةً (19.2 MJ/m² /يوم)، وذلك بسببِ صفاءِ الغلافِ الجويِّ، وندرةِ الهُطولِ التي تُساهِمُ في تقليلِ تشتُّتِ الإشعاعِ الشمسيِّ(المؤسسة العربية للعلوم ونشر الأبحاث' لذلك تُظهِرُ النتائجُ أنَّ منطقةَ بنغازي تتمتّعُ بإمكاناتٍ عاليةٍ في مجال الطاقة الشمسيّة، ممّا يجعلُها موقعًا مِثاليًّا لمشاريع الطاقة المتجدّدة.

❖ درجـــة الحـــــرارة

يسودُ منطقةَ الدِّراسةِ مناخُ البحر المتوسط في نطاقها الساحلي الشمالي، الذي يتميّز باعتدال درجات الحرارة وتذبذُب الهُطولات المطريةِ شتاءً، معَ ارتفاع نسب الرُّطوبة بسب القُرب مِن المسطّحات المائيّة، إلّا أنَّ هذا التَّأثير يتضاءلُ تدريجيًّا معَ الاتّجاه جنوباً، حيثُ يبدأُ التَّحول نحو المناخ شبه الجافّ، ثُمَّ الجافِّ على بُعد حوالي 40 كيلومترًا منَ السّاحل، نتيجةَ تزايُد التّأثيرِ القارِّيّ وانخفاض الرُّطوبة الّتي تُظهِرُ تبايُنًا واضحًا بين السّاحل والدّاخل، معَ ارتفاعِ المُعَدَّلات صيفًا في المناطقِ الدّاخليّةِ بسبب قلّة التَّلطيفِ البحري.واضحاً بين الساحل والداخل، مع ارتفاع المعدلات صيفاً في المناطق الداخلية بسبب قلة التلطيف البحري

تُمثّلُ البياناتُ المُقدَّمةُ منَ الجدولِ (2) والشَّكل(2) مُعَدَّلات درجات الحرارةِ(الصُّغرى، المُتوسِّطة، العُظمى) لفُصولِ السَّنةِ الأَربعةِ (الشّتاء، الرّبيع، الصّيف، الخريف) خلالَ الفَترة من (1980 إلى 2024)، ويهدِفُ هذا التّحليلُ إلى تفسير الأَنماط المناخيّةِ الموسميّة وتأثيرها على البيئة الجُغرافيّة والحياةِ البشريّةِ.

الجدول (2) المعدلات الفصلية والسنوية لدرجة الحرارة في مدينة بنغازي خلال المدة من 1980-2024

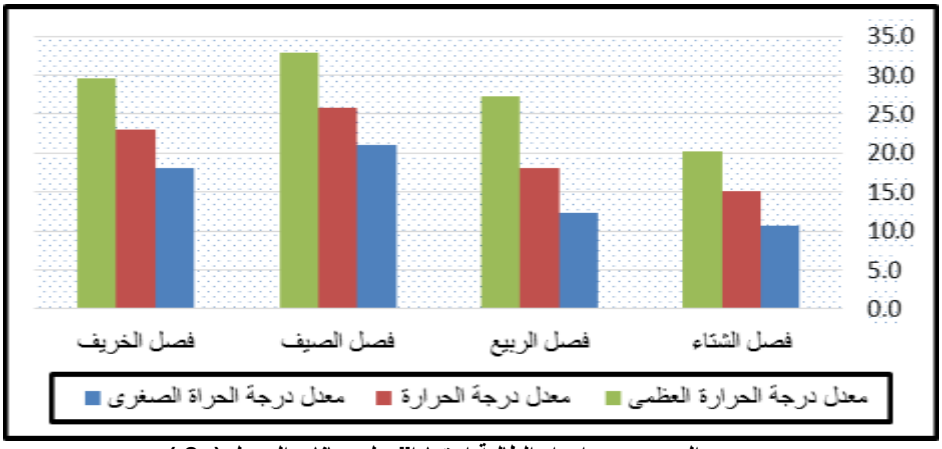
معدل درجة الحرارة	فصل الشتاء	فصل الربيع	فصل الصيف	فصل الخريف
معدل درجة الحرارة الصغرى	10.6	12.4	21.1	18.1
معدل درجة الحرارة	15.1	18.1	25.8	22.9
معدل درجة الحرارة العظمى	20.3	27.4	32	29.6
معدل السنوي لدرجات الحرارة	15.5 م			
معدل السنوي لدرجات الحرارة العظمى	27.5 م			

المصدر: من اعداد الطالبة اعتمادا" على الموقع:https://globalsolaratlas.info/map

يعُد فصل الشتاء أبرد فصول السنة، بمعدل الحرارة الصغرى (10.6°م)، ما يعكس برودة الليل بسبب طول ساعات الظلام وقلة الإشعاع الشمسي ، المتوسط (15.1°م) والعظمى (20.3°م)، ما يشير إلى اعتدال النهار نسبيا"، كما أن انخفاض معدل التبخر يقلل من هطول الأمطار إذا اقترن بجفاف الكتل الهوائية، وتؤثر التقلبات الحرارية الموسمية على ذروة الطلب على الطاقة، خاصةً في فترتي الذروة الحرارية (الصيف) والبرودة (الشتاء)، ويعتبر فصل الربيع أكثر الفصول اعتدالًا، حيث سجل معدل درجات الحرارة الصغرى

(12.4°م) وكانت معدلات درجات الحرارة العظمى (27.4°م) ، مما يشير إلى تقلبات حرارية يومية كبير، و يُعد فصل الربيع

الشكل (2) معدلات درجات الحرارة خلال الفترة من(1980-2024) في مدينة بنغازي



المصدر: من إعداد الطالبة اعتمادا" على بيانات الجدول (2)

كما أنَّ فصلَ الصَّيفِ يُعتبَرُ أحرَّ فصولِ السَّنةِ، فقد سُجِّلَ مُعدَّلُ درجاتِ الحرارةِ العُظمى(32.9°م)، بينما سجَّلَ مُعدَّلُ درجاتِ الحرارةِ الصُّغرى (21.1°م) ممّا يُظهِرُ ليالٍ دافئةً وأيامًا حارةً، تُصاحِبُها رياحٌ محمَّلةٌ بالغبارِ، مع احتمالِ حدوثِ تأثيراتِ الجفافِ.

يُعَدُّ فصلُ الخريفِ مرحلةً انتقاليّةً بين حرِّ الصيفِ وبرودةِ الشتاءِ، حيث سُجِّلَت خلاله درجاتُ حرارةٍ عُظمى بلغت نحو (29.6°م)، وهي أقلُّ من معدّلاتِ من فصلِ الصيفِ، وأعلى من معدّلاتِ من فصلِ الربيعِ، ما يُشيرُ إلى بطءِ وتيرةِ الانخفاضِ الحراريِّ خلالَ هذه الفترة.

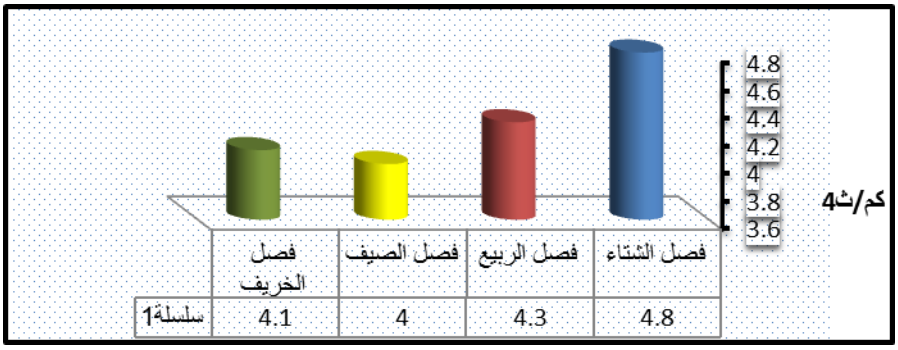
نستخلص مما سبق أن مدينة بنغازي تتميز بمناخ معتدل نسبياً مقارنة بباقي ليبيا، مع فروق فصلية واضحة تتحكم فيها العوامل البحرية والجغرافية، الذى تتميز بصيف حار وشتاء معتدل، كما يُظهر من بيانات الجدول السابق بأن الصيف هو الأدفأ (25.6°م) بينما الشتاء

الأبرد (15.0°م)، مع معدل سنوي يبلغ (20.4°م)، مما يجعلها منطقة ذات جاذبية سكانية بسبب ظروفها المناخية الملائمة.

❖ **سرعة الرياح**

يَتَضِحُ منَ الشَّكلِ (4) أنَّ فصلَ الشّتاءِ يَشهَدُ أعلى مُعدّلاتِ سُرعةِ الرِّياحِ، ويُعزَى ذلك إلى النَّشاطِ الجَبهيِّ المُتكرِّرِ والاضطراباتِ الجَوّيّةِ القادمةِ من حوضِ المتوسِّطِ، حيثُ تَعملُ التَّيّاراتُ الغربيّةُ الباردةُ على زيادةِ سُرعةِ الرِّياحِ.

الشكل (4) سرعة الرياح في مدينة بنغازي في الفترة من (1985-2024)



المصدر: من اعداد الطالبة اعتمادا" على الموقع:https://globalsolaratlas.info/map

تنخفض السرعة قليلا في فصل الربيع مع بقاء الاجواء ديناميكية نتيجة الانتقال من الكتل الباردة الى الحارة، مما يؤدي الى تذبذب في الضغوط الجوية وزيادة مؤقتة في نشاط الرياح، خصوصا عند مرور المنخفضات الخمسينية من الجنوب الغربي، وإن كانت هذه المنخفضات اقل تأثيرا في بنغازي مقارنة بالمناطق الداخلية .تسود في فصل الصيف انظمة ضغط مرتفع من ابرزها المرتفع الازوري، الذي يفرض حالة من الاستقرار الجوي على سواحل شمال ليبيا، ويضاف الى ذلك ضعف الفوارق الحرارية بين اليابس والبحر، مما يقلل من حركة الرياح، وخاصة في منطقة ظل الرياح التي تقع فيها بنغازي، بسبب موقعها المحاط بتضاريس تعيق حركة الرياح، مثل الجبل

الاخضر شرقا والكثبان جنوبا .تبدا الرياح بالازدياد مجددا في فصل الخريف نتيجة عودة النشاط الجوي الانتقالي، ولكن تبقى السرعات منخفضة نسبيا (4.1 م/ث) بسبب سيادة اجواء مستقرة اغلب ايام الشهر، مع احتمالية عواصف قصيرة المدى ناتجة عن تغير مفاجئ في الكتل الهوائية، خصوصا قرب نهاية الفصل، يعكس هذا التوزيع الموسمي للرياح تاثر مدينة بنغازي بعوامل جغرافية ومناخية مركبة، ابرزها موقعها في منطقة ظل ريحي محاطة بتضاريس طبيعية تعيق حركة الرياح، الى جانب تاثرها بانظمة الضغط الجوي العابرة من البحر المتوسط، ما يجعلها منطقة ذات رياح معتدلة الى ضعيفة في معظم شهور السنة.يتضح من الجدول (5) والشكل (5) أعلى سرعة رياح شهرية كانت في يناير، حيث بلغت 4.9 متر/ثانية، يليها ديسمبر و فبراير بنسبة (4.8 م/ث) لكل منهم، تتجلى ذروة الرياح الشتوية، حين تنشط المنخفضات الجوية العابرة للبحر المتوسط، فتجلب معها تيارات هوائية باردة من الشمال الغربي، الموقع الساحلي لبنغازي يجعلها عرضة مباشرة لهذه التيارات، خاصة في ظل انفتاحها البحري وضعف التضاريس الحامية من جهة الشمال.

الجدول(5) معدل سرعة الرياح الشهرية في مدينة ببنغازي (بالمتر/الثانية) في الفترة من 1985-2024

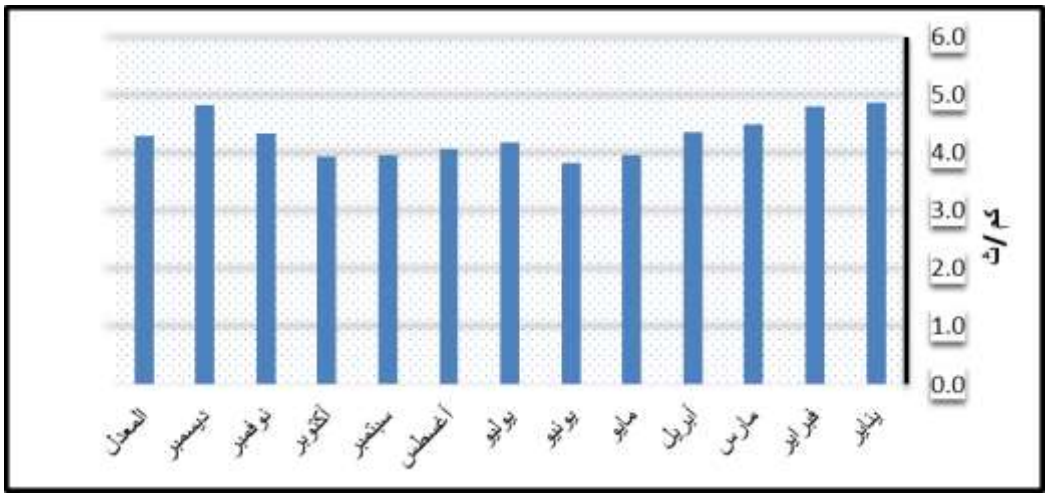
يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المعدل
4.9	4.8	4.5	4.4	4.0	3.8	4.2	4.1	4.0	3.9	4.3	4.8	4.3

المصدر: من اعداد الطالبة اعتمادا" على الموقع:https://globalsolaratlas.info/map

تبدأ شدة الرياح بالانخفاض تدريجيا" مع دخول مارس وأبريل (4.5 - 4.4 م/ث) في استجابة مناخية طبيعية لما يُعرف بـ"الفترة الانتقالية" بين الشتاء والربيع، حيث تبدأ أنظمة الضغط المرتفع بالتمدد تدريجيًا من الغرب، وتقل التقلبات الحادة.

وفي شهري مايو ويونيو تصل سرعة الرياح إلى (4.0 و3.8 م/ث)، وهي أدنى سرعة خلال السنة، يعود ذلك إلى تمركز المرتفع الآزوري فوق شمال إفريقيا ما يفرض استقرارا" جويا" عاما"، تُعززه الطبيعة الجغرافية لبنغازي الواقعة في "منطقة ظل ريحي" خلف الجبل الأخضر من الغرب، والكثبان الرملية من الجنوب، فتضعف حركة الهواء القادمة من الجنوب والغرب.

الشكل (5)سرعة الرياح الشهرية في مدينة بنغازي (بالمتر/الثانية) في الفترة من 1985-2024



المصدر: من اعداد الطالبة اعتمادا" على الموقع:https://globalsolaratlas.info/map

تُظهر في شهرى يوليو وأغسطس (4.2 و4.1 م/ث) بعض النشاط النسبي بسبب الفوارق الحرارية اليومية بين اليابسة والبحر، ما يُنشط نسيم البحر، خاصة بعد الظهيرة. لكن هذا النشاط يظل محليًا ومحدودًا ولا يُقارن بنشاط الشتاء، و يستمر الركود النسبي في شهري سبتمبر وأكتوبر (4.0 و3.9 م/ث) نتيجة استمرار سيطرة الأنظمة المرتفعة، حتى تبدأ الحركة بالتصاعد من جديد في نوفمبر وديسمبر (4.3 و4.8 م/ث)، إيذانًا بعودة النشاط الشتوي المعتاد.

المبحث الثالث: المحددات الجغرافية لاختيار المواقع

يتطلب تحديد المواقع المناسبة لمشروع الطاقة الشمسية في بنغازي مراعاة المحددات التالية:

- توفر الأراضي :الحاجة إلى مساحات كبيرة ومسطحة نسبيًا لتركيب الألواح الشمسية، مع الأخذ في الاعتبار ملكية الأراضي واستخداماتها الحالية (زراعية، سكنية، صناعية). يفضل الابتعاد عن المناطق الزراعية الخصبة والمناطق السكنية الكثيفة.
- القرب من شبكة الكهرباء :يقلل القرب من نقاط الربط بالشبكة الوطنية من تكاليف النقل وفقدان الطاقة.
- البنية التحتية للنقل :سهولة الوصول إلى الموقع من خلال الطرق المعبدة لتسهيل عمليات الإنشاء والصيانة.
- التضاريس :يفضل اختيار المواقع ذات التضاريس المسطحة أو المنحدرة قليلًا لتجنب أعمال التسوية المكلفة وضمان توجيه مثالي للألواح الشمسية.
- الموارد المائية :على الرغم من أن مشاريع الطاقة الشمسية الكهروضوئية لا تتطلب كميات كبيرة من المياه، إلا أن توفر المياه لأغراض التنظيف والصيانة قد يكون عاملًا مساعدًا.
- الظروف الجوية :يجب الأخذ في الاعتبار عوامل مثل الغبار والعواصف الرملية التي قد تؤثر على كفاءة الألواح الشمسية، وتطوير استراتيجيات لتنظيفها بانتظام.

أهمية إنشاء مشاريع الطاقة الشمسية في مدينة بنغازي

يكتسب إنشاء مشاريع الطاقة الشمسية في المدينة أهمية استراتيجية لعدة أسباب:

1. تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري: تعتمد بنغازي – مثل باقي المدن الليبية – على محطات توليد الكهرباء المعتمدة على الغاز والنفط، وهو ما يجعلها عرضة لتذبذب الإمدادات وتقلب أسعار الطاقة عالميًا. إدخال الطاقة الشمسية يساهم في تحقيق مزيج طاقي أكثر استقرارًا واستدامة.

2. خفض الضغط على الشبكة الكهربائية: تعاني المدينة من انقطاعات متكررة في التيار الكهربائي، خصوصًا في فترات الذروة الصيفية. يمكن للطاقة الشمسية، وخاصة عند دمجها مع أنظمة التخزين، أن تخفف من الضغط على الشبكة وتحسّن موثوقية الإمداد الكهربائي.

3. تحقيق الاستدامة البيئية: توليد الكهرباء من الطاقة الشمسية لا ينتج عنه انبعاثات غازية ضارة، مما يساهم في الحد من التلوث الهوائي وتقليل البصمة الكربونية للمدينة، بما يتماشى مع توجهات التنمية المستدامة عالميًا.

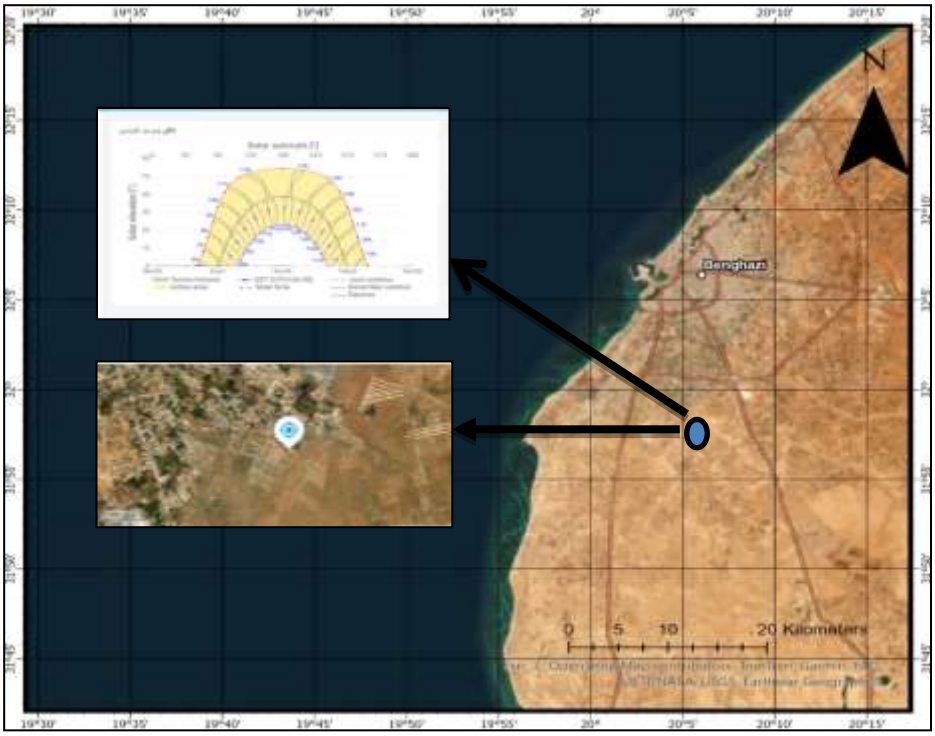
4. تحفيز النمو الاقتصادي المحلي: إنشاء وتشغيل وصيانة مشاريع الطاقة الشمسية يخلق فرص عمل جديدة، ويشجع على تطوير قطاع تقني جديد في المدينة، ما قد يفتح المجال للاستثمار في الصناعات المرتبطة بالطاقة المتجددة.

5. ضمان أمن الطاقة على المدى الطويل: في ظل التحديات الأمنية والاقتصادية التي قد تؤثر على إمدادات الطاقة التقليدية، تمثل الطاقة الشمسية خيارًا استراتيجيًا يضمن استمرارية الإمداد الكهربائي بأسعار مستقرة نسبيًا، وبموارد محلية متجددة، وبذلك، فإن الاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية في بنغازي ليس مجرد خيار بيئي، بل هو ضرورة اقتصادية واستراتيجية لتعزيز أمن الطاقة وتحقيق التنمية المستدامة في المدينة.

مقترح مشروع الطاقة الشمسية في جنوب مدينة بنغازي

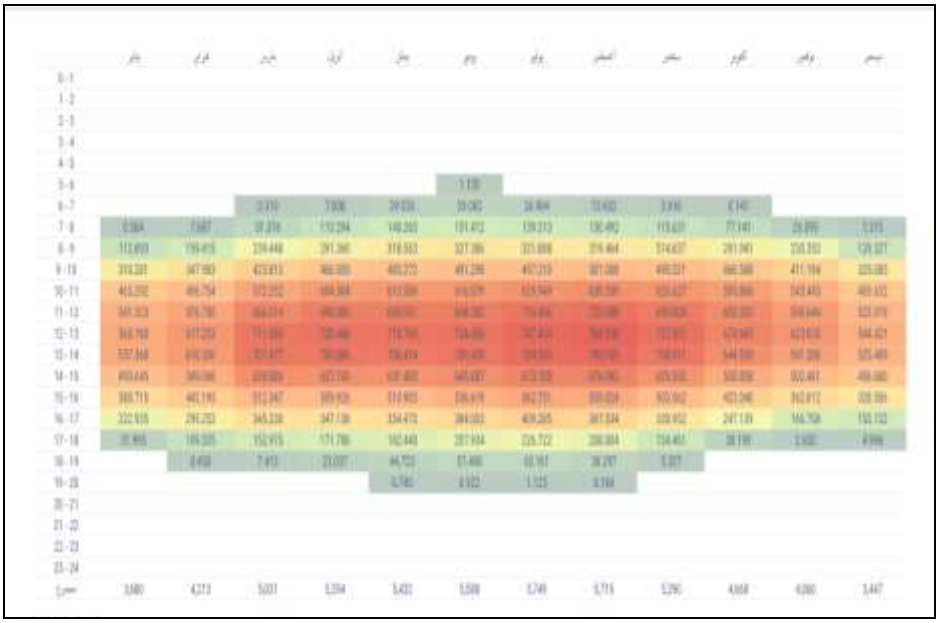
نستعرض الخطة منهجية مقترحة لتصميم وتنفيذ وتقييم مشروع انشاء محطة طاقة شمسية في جنوب بنغازي مع التركيز على تحليل الجدوى الفنية والاقتصادية. ستتضمن الخطة تقييماً دقيقاً للمتطلبات التقنية، ودراسة تفصيلية للأنواع الالواح المستخدمة. يهدف المشروع في نهاية المطاف إلى تقديم نموذج قابل للتكرار يساهم في دفع عجلة التحول نحو الطاقة المتجددة في القطاع الزراعي والتجاري وفي الخدمات والاستخدامات السكنية. يظهر الشكل (6) الموقع المختار لإنشاء المشروع بناءاً توفر الشروط المطلوبة ، كما يبين زاوية ميل السمت على ساعات اليوم المختلفة لتحديد اتجاه وضع الالواح الشمسية

شكل (6) اختيار موقع مولدات الطاقة الشمسية في جنوب بنغازي



المصدر : من اعداد الباحثات اعتمادا على قوقل ارث

شكل(7) يبين ساعات الذروة من الاشعاع الشمسي على المدار اليومي والشهري في الموقع المختار للإقامة مشروع الطاقة الشمسية في جنوب بنغازي



خطوات انشاء المشروع

1. تحديد الهدف من المشروع: هل هو لتغذية منزل؟ حي سكني؟ مؤسسة؟

2- تحديد عدد الأجهزة، الأحمال، وساعات التشغيل.

3- تحليل بيانات الإشعاع الشمسي للاستفادة من المناخ المشمس في بنغازي (أكثر من 300 يوم مشمس سنويًا) ويقدر معدل الإشعاع الشمسي اليومي بين 5.5–6.2 kWh/m²/day.

4- مسح الموقع جغرافيًا من خلال التأكد من توفر مساحة كافية وغير مظلّلة لتركيب الألواح. وتحديد اتجاه الجنوب بدقة (لضمان أفضل كفاءة).

5- التصميم الفني للمشروع :

أ- حساب الأحمال الكهربائية المطلوبة تقدير استهلاك الأجهزة اليومية بالكيلوواط/ساعة. (مثال: منزل يستهلك 10–15 kWh يوميًا يحتاج تقريبًا 3–4 كيلوواط من الألواح.) - ضمان تشغيل النظام خلال ساعات الذروة (10 صباحًا – 3 عصرًا).

ب- اختيار مكونات النظام كالألواح الشمسية (Solar Panels)- العاكس (Inverter) - منظم الشحن (Charge Controller)- البطاريات (اختياري)- هياكل التركيب (Mounting structures) - أسلاك وأنظمة حماية- اختيار نوع النظام كما هو في الاشكال (7، 8، 9، 10)

ج. اختبار اتجاه الميل والزاوية (زاوية الانحدار الأمثل في بنغازي = تقريبًا خط العرض 32°).

6- الحصول على التراخيص اللازمة (إن وجدت) من الشركة العامة للكهرباء أو الجهة المسؤولة

7- التشغيل والمتابعة ومراقبة الأداء اليومي والإنتاج وإجراء صيانة دورية

8- تركيب شاشة رقمية أو تطبيق هاتفي لمتابعة الإنتاج اليومي.

قد تصل أسعار المنظومات الشمسية في ليبيا (أغسطس 2025) تتراوح بين 8000 إلى 12,000 دينار ليبي للنظام المنزلي (2–3 kW). وهناك بعض الشركات الليبية محلية مثل شركة سولار ليبيا أو الريادة الخضراء تقدم خدمات التصميم والتركيب.

جدول (4) مساحة الأرض لمشروع محطة طاقة بقدرة 3 ميغاوات جنوب بنغازي*

العنصر	القيمة التقديرية
قيمة المشروع	3 ميغاوات=3000 كيلوات
نوع النظام	ثابت الاتجاه
نوع الالواح	الواح عالية الكثافة (400- 550) وات / لوح
كفاءة استخدام الأرض تقريباً 80 -100 وات /م^2	

*** لمساحة المطلوبة (م^2) = القدرة الإنتاجية بالواط ÷ كفاءة الأرض**

يظهر الشكل(7) استخدام الالواح الشمسية على اسطح المنازل في الموقع المحدد الذي تم اختياره مع اظهار كمية الاشعاع الشمسي الواصل للمنطقة سنوياً 1969.4 كيلو وات/ ساعة/م^2 والتي يمكن أن يستفاد منها في الطاقة الكهروضوئية بحوالي 1.770 ميغاوات كل سنة.

كذلك يبين الشكل (8) توزيع الاشعاع الشمسي على اشهر السنة ويلاحظ انه كلما زاد الاشعاع الشمسي زاد عرض وطول المنحني بسبب زيادة عدد ساعات النهار

شكل (7) كمية الاشعاع الشمسي والطاقة المستخرجة من الواح الطاقة الشمسية المستخدمة على اسطح المنـازل بقدرة إنتاجية 1 كيلو وات

اعداد: الباحثات استنادا على برنامج https://globalsolaratlas.info/

شكل (8) كمية الاشعاع الشمسي والطاقة المستخرجة من الواح الطاقة الشمسية المثبت على اسطح المواقع التجارية بقدرة 100 كيلو وات

المصدر: اعداد: الباحثات استنادا على برنامج https://globalsolaratlas.info/

شكل (9) كمية الاشعاع الشمسي والطاقة المستخرجة من الواح الطاقة الشمسية المثبت على الارض ولكن مرفع نسبياً بقدرة 1000 كيلو وات

المصدر: اعداد: الباحثات استنادا على برنامج https://globalsolaratlas.info/

شكل (10) كمية الاشعاع الشمسي والطاقة المستخرجة من الواح الطاقة الشمسية المثبت على الارض بقدرة 1000 كيلو وات

المصدر: اعداد: الباحثات استنادا على برنامج https://globalsolaratlas.info/

مميزات تنفيذ المشروع في بنغازي:

★ مميزات إقامة المشروع

الميزة	الموضوع
الإشعاع الشمسي العالي	يدعم توليد كهرباء جيدة طوال العام
ضعف الشبكة العامة	النظام الشمسي يُعوض الانقطاعات المتكررة
وفرة الأسطح	تسمح بتركيب الأنظمة بسهولة في البيوت
دعم بيئي واقتصادي	يقلل الانبعاثات ويوفر على المدى الطويل

★ الفرص والعائدات الناتجة عن انشاء هذا المشروع

لهذا المشروع مجموعه فرص وهي

1- تنويع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على النفط.
2- خلق فرص عمل وتنمية محلية.
3- جذب الاستثمارات الأجنبية.
4- التقنيات المتطورة للطاقة الشمسية
5- تحقيق ارادات عالية للدولة

★ التهديدات والسلبيات التي تواجه هذا المشروع

ولا يخلو أي مشروع من توقع لبعض التهديدات والتي تتمثل في

1- التغيرات في الأسعار العالمية للطاقة
2- المقاومة المجتمعية للتغيير
3- عدم استقرار السياسات الحكومية
4- تأثيرات بيئية سلبية محتملة (رغم أنها قليلة)
5- نقص الخبرات الفنية المتخصصة.

6- تحديات البنية التحتية.
7- تحديات أمنية وسياسية
8- الاعتماد على التمويل الخارجي.

التوصيات

بناءً على التحليل الجغرافي الشامل، نقدم التوصيات التالية لضمان نجاح مشروع الطاقة الشمسية في بنغازي واستدامته:

- تطوير البنية التحتية :من الضروري الاستثمار في تحسين شبكة الكهرباء والطرق المؤدية إلى المواقع المقترحة، لتسهيل عمليات الربط بالشبكة الوطنية وتيسير النقل.
- تطوير الإطار التشريعي :يجب وضع قوانين ولوائح داعمة لقطاع الطاقة المتجددة، وتوفير حوافز مالية للمستثمرين لتشجيعهم على دخول هذا المجال.
- بناء القدرات المحلية :من المهم تدريب وتأهيل الكوادر الفنية الليبية على تصميم وتركيب وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية، لضمان استمرارية المشروع والاعتماد على الخبرات المحلية.
- دراسات الجدوى :ينبغي إجراء دراسات جدوى اقتصادية وبيئية عميقة لتقييم العائد المتوقع من المشروع وأثره البيئي، والتأكد من أنه مستدام على المدى الطويل.
- تعزيز الوعي المجتمعي :يجب العمل على نشر الوعي بأهمية الطاقة الشمسية وفوائدها الاقتصادية والبيئية، لضمان حصول المشروع على الدعم الكامل من المجتمع.

المراجع :

1- المؤسسة العربية للعلوم ونشر الأبحاث، المدونة العربية للبحوث العلمية، ماهي ظاهرة الألبيدو، 9 مايو 2024م
2- الهيئة العامة للمساحة، "الخرائط التفصيلية لبلدية بنغازي"، طرابلس: الهيئة العامة، 2015
3- الهيئة العامة للبيئة في ليبيا وبيانات المناخ العالمية، https://environment.gov.ly

4- الهام حسين الكوافي ، التغير المناخي في ليبيا، رسالة دكتوراه غير منشور ، قسم الجغرافيا، كلية الآداب ، جامعة عين شمس، 2023
5- محمد المبروك المهدوي، جغرافية ليبيا البشرية، منشورات جامعة قاريونس، بنغازي، الطبعة الثالثة، 1998 ، ص15
6- هويدا مفتاح المغربي، النمو السكاني وتأثيره على استخدام الكهرباء في مدينة بنغازي، رسالة دكتوراه غير منشور ، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة بنغازي، 2025.

7- J. A., & Beckman, W. A.(2013) .Solar Engineering of Thermal Processes (4th ed.). Wiley
8- Barry, R. G., & Chorley, R. J. Atmosphere, Weather and Climate (9th ed.). Routledge. 2009.
9- **https://globalsolaratlas.info**
10-/https://globalsolaratlas.info/map