The Republic of Iraq
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University of Mosul / College of Environmental Sciences
Department of Environmental Sciences

Optimal Site Selection for Solar Energy Projects in Nineveh Governorate using Machine Learning and GIS

A Thesis Submitted by

Salah Jangeer Ibrahim Muhammad

Master Thesis in

Environmental Sciences

Supervised by

Prof. Dr. Qusay K. Al-Ahmady **Dr. Ali Z. A. Al-Ozeer**

2025 A.D. **1447 A.H.**

Abstract

This study presents an integrated Geographic Information System (GIS) and Machine Learning (ML)-based methodology for optimal solar projects site selection in Nineveh Governorate, Iraq as an area suffering a 36% electricity deficit, by analyzing key factors, identifying suitable locations, designing a large-scale project to replace diesel generators, supporting Sustainable Development Goals, and assessing economic viability.

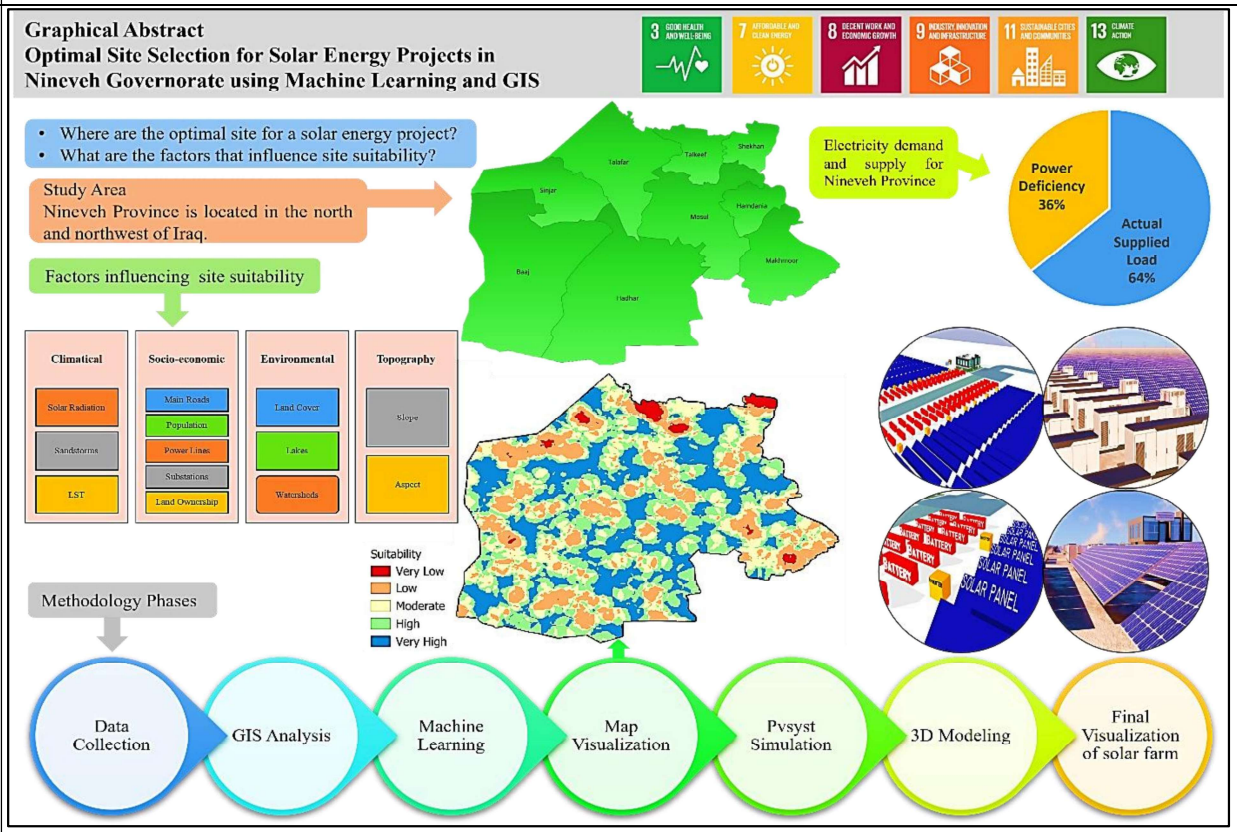
Thirteen critical factors were analyzed: Solar Radiation, Land Surface Temperature (LST), Slope, Aspect, Land Cover, Sandstorms, Population Density, Distance to Roads, Distance to Power Lines, Distance to Substations, Distance to Water Resources (lakes and watersheds), and Land Ownership, spanning environmental, climatic, topography, and socio-economic domains, using advanced spatial analysis and machine learning (ML) models in Microsoft Azure ML.

Unsupervised learning (K-Means) generated the target labels base on similarity within the data its self, while five supervised algorithms (Logistic Regression, Support Vector Machine, Random Forest, Averaged Perceptron, and Decision Tree) were evaluated.

Among them, the Decision Tree achieved the highest accuracy at 94.2%. The final suitability map revealed that 27.04% of the Governorate is classified as very highly suitable for solar energy development.

Based on this, a virtual solar farm Nineveh Green Revolution (NGR) was designed with a total capacity of 700 MW. Its energy output was simulated in PVsyst, while layout design and shading analysis were completed using SketchUp and 3D visualization in Blender. The estimated project cost was approximately 700 million USD, with a calculated payback period of 16.42 years.

In addition to financial viability, the project is expected to reduce approximately 51,197,085.5 tons of CO_2 emissions over its lifetime. This significant environmental benefit supports Iraq's transition to cleaner energy. Overall, the study offers a replicable, data driven framework for integrating ML and GIS in renewable energy planning, contributing to energy security, sustainability, and climate action.

HIGHLITS	GRAPHICAL ABSTRACT
The graphical abstract shows the methodology for selecting optimal solar farm sites in Nineveh Governorate using machine learning GIS and, highlighting key factors, electricity deficit, and final solar farm visualization.	

Keywords:

Solar Energy
GIS
Machin Learning
Simulation
Design

ABSTRACT

This study presents an integrated Geographic Information System (GIS) and Machine Learning (ML)-based methodology for optimal solar projects site selection in Nineveh Governorate, Iraq as an area suffering a 36% electricity deficit, by analyzing key factors, identifying suitable locations, designing a large-scale project to replace diesel generators, supporting Sustainable Development Goals, and assessing economic viability Thirteen critical factors were analyzed: Solar Radiation, Land Surface Temperature (LST), Slope, Aspect, Land Cover, Sandstorms, Population Density, Distance to Roads, Distance to Power Lines, Distance to Substations, Distance to Water Resources (lakes and watersheds), and Land Ownership, spanning environmental, climatic, topography, and socio-economic domains, using advanced spatial analysis and machine learning (ML) models in Microsoft Azure ML Unsupervised learning (K-Means) generated the target labels base on similarity within the data its self, while five supervised algorithms (Logistic Regression, Support Vector Machine, Random Forest, Averaged Perceptron, and Decision Tree) were evaluated. Among them, the Decision Tree achieved the highest accuracy at 94.2%. The final suitability map revealed that 27.04% of the Governorate is classified as very highly suitable for solar energy development. Based on this, a virtual solar farm Nineveh Green Revolution (NGR) was designed with a total capacity of 700 MW. Its energy output was simulated in PVsyst, while layout design and shading analysis were completed using SketchUp and 3D visualization in Blender. The estimated project cost was approximately 700 million USD, with a calculated payback period of 16.42 years in addition to financial viability, the project is expected to reduce approximately 51,197,085.5 tons of CO_2 emissions over its lifetime. This significant environmental benefit supports Iraq's transition to cleaner energy. Overall, the study offers a replicable, data driven framework for integrating ML and GIS in renewable energy planning, contributing to energy security, sustainability, and climate action.

2025 M.sc. Thesis @Univ. of Mosul, College of Fac. Env. Scie. Dept. Env. Scie. (https://www.uomosul.iq/).

جمهورية العراق
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة الموصل/كلية العلوم البيئية
قسم علوم البيئة

اختيار المواقع الامثل لمشاريع الطاقة الشمسية في محافظة نينوى باستخدام تعلم الالة و نظم المعلومات الجغرافية

رسالة ماجستير مقدمة من

صلاح جانكير إبراهيم محمد

رسالة ماجستير

في العلوم البيئية

باشراف

د.قصي كمال الدين الأحمدي

د.علي زين العابدين حيدر

١٤٤٧هـ

٢٠٢٥ م

الملخص

تقدم هذه الدراسة منهجية متكاملة تعتمد على نظم المعلومات الجغرافية (GIS) وتعلم الآلة (ML) لاختيار المواقع المثلى لمشاريع الطاقة الشمسية في محافظة نينوى، العراق، وهي منطقة تعاني من عجز في الكهرباء بنسبة ٣٦٪، من خلال تحليل العوامل الرئيسية، وتحديد المواقع المناسبة، وتصميم مشروع واسع النطاق ليحل محل مولدات الديزل، ودعم أهداف التنمية المستدامة، وتقييم الجدوى الاقتصادية.

تم تحليل ثلاثة عشر عاملًا حرجًا: الإشعاع الشمسي، ودرجة حرارة سطح الأرض(LST) ، والانحدار، والاتجاه(Aspect) ، وتغطية الأراضي، والعواصف الرملية، وكثافة السكان، والمسافة إلى الطرق، والمسافة إلى خطوط الكهرباء، والمسافة إلى المحطات الفرعية، والمسافة إلى مصادر المياه (الأنهار والبحيرات)، وملكية الأراضي، وذلك عبر المجالات البيئية والمناخية والطبيعية والاجتماعية والاقتصادية، باستخدام تحليل مكاني متقدم ونماذج تعلم آلي في Microsoft Azure ML.

تم استخدام التعلم غير المراقب (K–Means) لتوليد التسميات الهدفية بناءً على التشابه ضمن البيانات نفسها، بينما تم تقييم خمسة خوارزميات مراقبة Logistic Regression، Support Vector Machine، Random Forest، Averaged Perceptron، و Decision Tree.

من بينها، حققت خوارزمية Decision Tree أعلى دقة بنسبة ٩٤.٢٪. أظهر الخريطة النهائية للملاءمة أن ٢٧.٠٤٪ من المحافظة مصنفة على أنها مناسبة جدًا لتطوير الطاقة الشمسية.

استنادًا إلى ذلك، تم تصميم مزرعة شمسية افتراضية باسم "ثورة نينوى الخضراء" بقدرة إجمالية تبلغ ٧٠٠ ميغاواط. تم محاكاة إنتاج الطاقة باستخدامPVsyst ، بينما تم إتمام تصميم المخطط وتحليل الظلال باستخدام SketchUp والتصور ثلاثي الأبعاد في Blender وقدرت التكلفة الإجمالية للمشروع بحوالي ٧٠٠ مليون دولار أمريكي، مع فترة استرداد محسوبة تبلغ ١٦.٤٢ سنة.

بالإضافة إلى الجدوى المالية، من المتوقع أن يقلل المشروع من حوالي ٥١,١٩٧,٠٨٥.٥ طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على مدار عمره الافتراضي. هذه الفائدة البيئية الكبيرة تدعم انتقال العراق إلى الطاقة النظيفة. بشكل عام، تقدم الدراسة إطار عمل قابل للتكرار يعتمد على البيانات لدمج تعلم الآلة وGIS في تخطيط الطاقة المتجددة، مساهِمًا في أمن الطاقة، والاستدامة، والعمل المناخي