Journal Of the Iraqia University (76-4) 31 July (2026)

ISSN(Print): 1813-4521 OnLine ISSN:2663-7502
Journal Of the Iraqia University
available online at
https://iasj.rdd.edu.iq/journals/journal/view/247

تحليل إمكانات استثمار الطاقة الشمسية باستخدام التقنيات الجغرافية في مدينة الموصل

جامعة تكريت /كلية التربية للعلوم الإنسانية قسم الجغرافية

أ.م.د. محمد عطيه صالح

mohamed.a.salih@tu.edu.iq

الملخص

في ظلّ التحديات البيئية والطاقية التي يشهدها العالم المعاصر، أصبح الانتقال نحو مصادر الطاقة المتجددة خيارًا استراتيجيًا لا غنى عنه لتحقيق التنمية المستدامة وتعزيز أمن الطاقة؛ وتبرز الطاقة الشمسية بوصفها أحد أهم هذه المصادر، نظرًا لتوافرها الواسع، وانخفاض تكلفتها التشغيلية، وملاءمتها للمناخ العراقي الذي يتميز بارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي السنوي.غير أنّ استثمار هذا المورد الحيوي لا يعتمد على توفر الإشعاع الشمسي فحسب، بل يتطلب وجود منظومات معلوماتية متكاملة قادرة على تحليل البيانات المكانية والمناخية والإدارية بصورة تدعم اتخاذ قرارات استثمارية رشيدة ؛ وهنا يبرز الدور المحوري لنظم المعلومات الجغرافية (GIS) لما تتيحه من إمكانات تحليل مكاني دقيقة تساعد في فهم التوزيع الجغرافي للعوامل المؤثرة على إنتاج الطاقة الشمسية، مثل الانحدار والارتفاع ونمط السطوع الشمسي.وفي المقابل، تم تصميم قاعدة بيانات اقتصادية وتحليلها، وتقديم نماذج تقييم تساعد في تقدير الكلفة والعائد، وتحليل المخاطر، وتحديد أولويات الاستثمار، ومن خلال دمج قدرات GIS مع نماذج التحليل الاقتصادي والاحصائي ، يمكن بناء إطار متكامل يدعم صانع القرار في اختيار المواقع المثلى لمشاريع الطاقة الشمسية واستثمار قدرة الاشعاع الشمسي كعنصر مناخي حيوي ، ودراسة الجدوى الاقتصادية، وتطوير سياسات فعالة لإدارة الطاقة المتجددة في مدينة الموصل ،وبذلك، يهدف هذا البحث إلى تحليل إمكانات استثمار الطاقة الشمسية في الموصل باستخدام دمج التحليل المكاني لنظم المعلومات الجغرافية مع نماذج التحليل الاحصائي ، بما يعزز من كفاءة القرار الاستثماري في مجال الطاقة المتجددة ويدعم توجه المدينة نحو التنمية المستدامة.كلمات مفتاحية :- طاقة شمسية ، اشعاع شمسي ، نظم معلومات جغرافية ، الواح طاقة شمسية

Abstract

In light of the environmental and energy challenges facing the contemporary world, the transition toward renewable energy sources has become an indispensable strategic option for achieving sustainable development and strengthening energy security. Solar energy stands out as one of the most important of these sources due to its wide availability, low operational costs, and its suitability to Iraq's climate, which is characterized by high annual solar radiation levels.However, the effective utilization of this vital resource does not depend solely on the availability of solar radiation; rather, it requires integrated information systems capable of analyzing spatial, climatic, and administrative data in a manner that supports sound investment decision-making. In this context, Geographic Information Systems (GIS) play a pivotal role, as they provide advanced spatial analysis capabilities that contribute to understanding the geographic distribution of key factors influencing solar energy production, such as slope, elevation, and solar irradiance patterns.In parallel, an economic database was designed and analyzed, and evaluation models were developed to estimate costs and returns, assess risks, and determine investment priorities. By integrating GIS-based spatial analysis with economic and statistical analytical models, a comprehensive framework can be established to support decision-makers in identifying optimal sites for solar energy projects, maximizing the potential of solar radiation as a vital climatic variable, evaluating economic feasibility, and developing effective policies for renewable energy management in the city of Mosul.Accordingly, this research aims to assess the potential for solar energy investment in Mosul through the integration of GIS-based spatial analysis and statistical modeling, thereby enhancing the efficiency of investment decisions in the renewable energy sector and supporting the city's

orientation toward sustainable development.**Keywords:** Solar energy, solar radiation, Geographic Information Systems (GIS), solar panels.

مشكلة الدراسة :-

تواجه مدينة الموصل تحديات متزايدة في التخطيط للاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية، نتيجة محدودية التكامل بين نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ونماذج التحليل الاحصائي المستخدمة في إدارة موضع استخدام الطاقة الشمسية والاشعاع الشمسي كمصدر تنموي أساسي ؛ الأمر الذي يؤدي إلى ضعف في دعم القرار الاستثماري القائم على بيانات مكانية–إدارية موحدة.فعلى الرغم من توفر بعض البيانات المناخية والمكانية، إلا أنّ عمليات اتخاذ القرار المتعلقة بتحديد المواقع المثلى، وتقدير الجدوى، وتحديد أولويات الاستثمار ما زالت تُتخذ بصورة مجزأة وغير مبنية على إطار معلوماتي متكامل.وبالتالي، تتمثل مشكلة الدراسة الرئيسة في:

غياب نموذج معلوماتي إداري–مكاني متكامل يربط بين نظم GIS ونماذج التحليل الاحصائي في دعم قرارات استثمار الطاقة الشمسية في مدينة الموصل بصورة أكثر دقة وفاعلية.

وينتج عن ذلك مجموعة من المشكلات الفرعية:

١. **محدودية توفر بيانات مكانية ومناخية موحدة** تُستخدم ضمن سياق إداري متكامل لدعم التخطيط الاستثماري للطاقة الشمسية.

٢. **ضعف استثمار نظم المعلومات الإدارية** في نمذجة وتحليل القرارات المتعلقة بالمشاريع الشمسية، مثل تقييم الجدوى، تحليل المخاطر، ومقارنة البدائل.

٣. **غياب التكامل الفعّال بين نظم GIS ونماذج التحليل الاحصائي** (مثلSPSS ، AHP، التحليل متعدد المعايير MCDA) لإنتاج خريطة قرار متكاملة تدعم متخذ القرار.

٤. **الحاجة إلى تحليل مكاني–إداري مشترك** يجمع بين المعايير الجغرافية (السريان الإشعاعي، الميل، الانحدار، الاستعمالات الأرضية) والمعايير الإحصائية والإدارية (الكلفة، العائد، البنية التحتية، الطلب على الطاقة) .

٥. **ضعف كفاءة القرار الاستثماري للطاقة المتجددة** بسبب اعتماد نماذج تجزيئية غير مبنية على تكامل البيانات الإدارية والمكانية ضمن نظام معلومات موحّد.

فرضية الرئيسة:

١- يسهم تكامل نظم المعلومات الجغرافية ونماذج التحليل الإداري في تحسين دقة وكفاءة القرار الاستثماري لمشاريع الطاقة الشمسية في مدينة الموصل.

- هناك علاقة ذات دلالة بين تحليل البيانات المناخية والمكانية باستخدام GIS وبين القدرة على تحديد المواقع الملائمة للاستثمار الشمسي في مدينة الموصل.

- يسهم توظيف نظم المعلومات الإدارية في تحسين عمليات التخطيط المالي والإداري لمشاريع الطاقة الشمسية، إلا أنّ فعاليته تزداد عند دمجه مع التحليل المكاني.

- يساعد التكامل بين GIS وبرامج التحليل الاحصائي في تطوير نموذج دعم قرار قادر على تحسين عملية تقييم الجدوى الاستثمارية للطاقة الشمسية.

- تختلف ملاءمة مناطق مدينة الموصل للاستثمار الشمسي تبعًا للخصائص المكانية والطبوغرافية التي يتم الكشف عنها من خلال التحليل المكاني.

- التكامل بين GIS و البرامج الاحصائية يرفع جودة القرار الاستثماري ويقلل من درجة عدم اليقين في التخطيط الطاقي .

اهداف الدراسة

الهدف العام :تحليل وتطوير نموذج تكاملي بين نظم المعلومات الجغرافية والبرامج الإحصائية متخذة العنصر المناخي أساس للدمج و لدعم قرارات استثمار الطاقة الشمسية في مدينة الموصل من خلال تقييم الإمكانات المكانية والمناخية والإدارية.

١- دراسة واقع بيانات الإشعاع الشمسي والمحددات المكانية في الموصل باستخدام نظم.GIS

٢- تحليل دور نظم المعلومات الإدارية في دعم التخطيط الطاقي واتخاذ القرار.

٣- بناء نموذج تكاملي لتحليل الإمكانات الاستثمارية للطاقة الشمسية.

٤- تحديد المواقع المثلى لإنشاء مشاريع الطاقة الشمسية باستخدام التحليل المكاني متعدد المعاييرباستخدام البرامج الإحصائية .

٥- تقييم الجدوى الاقتصادية والتنموية للمواقع المقترحة عبر نظم المعلومات الجغرافية .

٦- اقتراح استراتيجية متكاملة لإدارة واستثمار الطاقة الشمسية في الموصل.

أهمية الدراسة

١- تمثل الدراسة إطارًا علميًا جديدًا يربط بين GIS والبرامج الإحصائية ضمن سياق إدارة الطاقة المستدامة.

٢- توفر قاعدة بيانات مكانية–إدارية متكاملة تساعد المؤسسات الحكومية والقطاع الخاص في اتخاذ قرارات استثمارية دقيقة.

٣- تسهم في تحسين كفاءة توزيع موارد الطاقة وتقليل الاعتماد على مصادر الوقود الأحفوري.

٤- تدعم التوجه نحو خفض الانبعاثات وتعزيز الاستدامة البيئية في مدينة الموصل.

٥- تساعد في تطوير نموذج إداري–مكاني يمكن تعميمه على مدن عراقية أخرى.

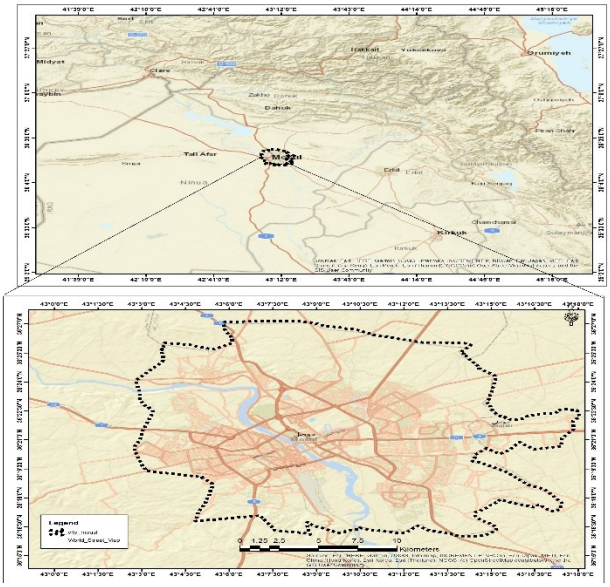
منهجية البحث

يهدف هذا البحث إلى توضيح الأسلوب العلمي الذي اعتمدته الدراسة في تحليل إمكانات استثمار الطاقة الشمسية في مدينة الموصل ؛وقد اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي لكونه الأنسب في دراسة الظواهر المكانية والإدارية المرتبطة باستثمار الطاقة الشمسية، وذلك من خلال وصف الواقع الميداني كما هو، ثم تحليل البيانات لاستخلاص الأنماط والعلاقات التي تدعم اتخاذ القرار. كما تبنّت الدراسة المنهج التطبيقي المكاني المعتمد على تقنيات التحليل المكاني في نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتقييم المواقع المثلى للطاقة الشمسية وتحليل تباين الإشعاع والعوامل المؤثرة فيه، ومن ثم ربط هذه النتائج بالتحليل الاحصائي والاقتصادي ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية ونماذج التحليل الاحصائي.

منطقة الدراسة

تمثل مدينة الموصل مجتمع الدراسة المكاني بوصفها من أكثر المدن العراقية التي تمتلك معدلات إشعاع شمسي مرتفعة ومساحات مناسبة للاستثمار الطاقي ؛ وتُعدّ الموصل نموذجًا مثاليًا لدراسة التكامل بين نظم المعلومات المكانية والاحصائية في تحديد الإمكانيات التنموية للطاقة الشمسية ؛ بسبب تنوع تضاريسها وتباين استخدامات الأرض فيها؛ وقد تم تحديد حدود الدراسة المكانية لتشمل مركز مدينة الموصل والمناطق المحيطة بها ضمن الحدود الإدارية لمحافظة نينوى خارطة (١) وتبلغ مساحتها (٣٢٨.٩٣ كم٢) وكان الهدف تحليل التباين المكاني للإشعاع الشمسي والبنية التحتية ذات الصلة وتقع احداثيا بين الحدود الغربية 43°00′E و الحدود الشرقية 43°18′E في حيت تقع من الحدود الشمالية 36°30′N الحدود الجنوبية 36°15′N اما احداثيات مركز المدين فكانت خط العرض: 36°20′00″N– خط الطول: 43°08′00″E.

خارطة (١) موقع مدينة الموصل



١-جمهورية العراق، وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة، خريطة العراق الادارية، مقياس ١:١٠٠٠٠٠٠

٢- الموقع الالكتروني لمنصة الأقمار الصناعية :- https://apps.sentinel-hub.com

مراحل جمع البيانات

اعتمدت الدراسة مجموعة من الأدوات الرقمية المتكاملة لجمع وتحليل البيانات، من أبرزها:

١- برنامج ArcGIS 10.5: استُخدم لتحليل البيانات المكانية، وإنشاء الطبقات الجغرافية، وإجراء عمليات المعالجة المكانية مثل تحديد الانحدار، الاتجاه، الارتفاع، وتراكب العوامل باستخدام نموذج التحليل المكاني متعدد المعايير (1) *

٢- بيانات ERA5-Land: تم تحميلها من منصة Copernicus Climate Data Store لتوفير السلاسل الزمنية للعناصر لكمية الاشعاع الشمسي السنوية لمنطقة البحث .

٣- برنامج Microsoft Excel: استُخدم في معالجة وتحليل الجداول الرقمية والبيانات الإدارية والاقتصادية المتعلقة بتكلفة الإنشاء والصيانة والعائد المتوقع من مشاريع الطاقة الشمسية. كما جرى ربطه بقاعدة بيانات نظم المعلومات الإدارية لتسهيل المقارنات وتحليل الجدوى(2) وقد تم التأكد من دقة البيانات من خلال مطابقتها مع بيانات الأرصاد الجوية المحلية والتقارير الرسمية المتاحة من وزارة الكهرباء وهيئة البيئة العراقية.

اسايب التحليل والمعالجة:-

تم توظيف مجموعة من الأساليب التحليلية أبرزها:

- **تحليل التراكب المكاني (Overlay Analysis)** لدمج العوامل البيئية والطبوغرافية وبيانات الطاقة الشمسية في طبقة موحدة.
- **التحليل الإحصائي المكاني** لتحديد مناطق التباين الأعلى في الإشعاع الشمسي.
- **التحليل الإداري في نظام MIS** لتقدير الجدوى الاقتصادية ومؤشرات الكفاءة المالية للمشروعات المقترحة.
- **نموذج اتخاذ القرار متعدد المعايير (MCDA)** لترتيب المواقع وفق أوزان محددة حسب أهميتها الاستثمارية (Ahmed, A., & Hassan, R. (2025).

تصميم نموذج التكامل بين GIS والبرامج الإحصائية

تم تصميم نموذج تكاملي يربط بين نظم المعلومات الجغرافية والتحليل الرقمي للبيانات احصائيا ؛ بهدف بناء نظام دعم قرار يساعد في اختيار المواقع الأنسب للاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية يمر هذا النموذج بعدة مراحل مترابطة تبدأ من جمع البيانات المناخية والمكانية، مرورًا بالتحليل المكاني في بيئةGIS ، وانتهاءً بتقييم الجوانب الاقتصادية في بيئة احصائي ويمكن توضيح تسلسل تدفق البيانات بين النموذجين كما يأتي:

الشكل (١) نموذج الدراسة



المصدر :- من عمل الباحث

هذا التكامل يتيح بناء قاعدة معرفية مكانية- واحصائية تساعد صُنّاع القرار في الموصل على تطوير مشاريع الطاقة الشمسية واستثمار عنصر الاشعاع الشمسي بشكل مستدام ودقيق . [3]

الية العمل وتجهيز قاعدة البيانات تم تحليل الإمكانات الشمسية في مدينة الموصل وتقدير مستويات الاكتفاء الطاقي باستخدام البيانات المناخية جدول (١) ووفق منهجية الدراسة [4]:-

١. **جمع البيانات:** تم استخدام بيانات الإشعاع الشمسي السنوي من منصة ERA5-Land للفترة (٢٠٢٣-٢٠٢٤)، وبيانات السكان لعام ٢٠٢٤ من مشروع.WorldPop

جدول(١) كمية الاشعاع المباشرة المستلمة لسطح منطقة الدراسة كيلو وات /سنة

https://power.larc.nasa.gov/api/temporal/monthly/point

YEAR	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	المعدل
2011	13.21	15.83	21.89	10.99	17.45	29.2	23.62	25.15	21.04	18.39	14.83	15.42	18.94
2012	10.02	15.11	16.18	16.36	18.09	30.48	27.86	24.28	24.34	17.88	11.94	10.64	18.59
2013	10.99	13.64	16.84	19.94	17.77	30.92	29.59	24.88	24.31	21.63	13.55	12.8	19.76
2014	13.37	20.95	17.36	18.66	22.09	29.89	28.08	25.44	23.49	14.28	16.21	11.33	20.07
2015	12.84	14.7	18.13	18.7	21.96	27.1	27.84	25.21	20.99	13.27	16.8	16.2	19.5
2016	12.34	17.07	17.22	21.5	20.22	26.57	29.33	24.4	25.82	21.69	20.2	11.22	20.62
2017	16.56	19.86	12.35	19.42	23.19	32.53	26.12	25.42	22	20.31	14.92	13.67	20.52
2018	10.2	9.9	14.77	17.83	15.2	29.41	27.13	26.76	23.4	12.17	10.25	8.37	17.14
2019	10.76	14.62	11.93	16.35	24.97	29.11	31.75	24.84	25.22	17.28	19.65	10.13	19.73
2020	9.94	10.27	11.42	17.85	23.68	29.87	24.28	28.08	22.81	21.87	11.82	15.79	19
2021	15.08	19	15.35	16.6	23.8	32.06	25.9	24.87	26.63	18.42	15.36	12.49	20.45
2022	11.7	15.99	12.04	15.05	21.44	26.64	28.1	24.38	25.28	16.56	14.59	13.39	18.77
2023	15.31	18.72	11.01	15.76	18.97	25.2	27.82	23.76	23.3	15.65	12.45	13.71	18.46
2024	8.36	13.63	15.21	21.23	17.72	30.94	26.55	24.95	21.51	22.28	15.51	14.12	19.33

٢. **المعالجة المكانية:**

تم تقسيم مدينة الموصل إلى شبكة من المربعات باستخدام أداة **Fishnet** فيArcMap، ومن ثم حساب القيم المكانية للإشعاع وعدد السكان لكل خلية بعد عملية **Clip** داخل حدود المدينة.

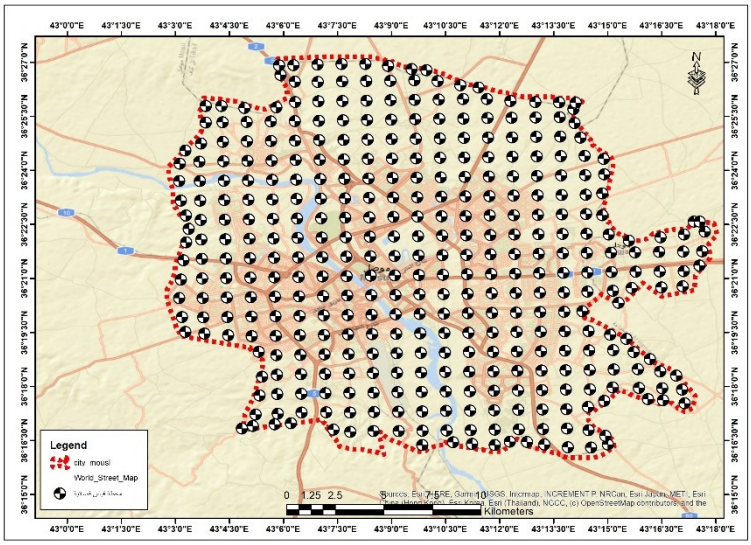
٣. **التحليل الإحصائي:** أُجريت التحليلات داخل بيئة ArcMap و Excelلاشتقاق المؤشرات:

- المساحة (كم²) -عدد السكان - الكثافة السكانية - معدل الإشعاع الشمسي - معدل الاكتفاء الطاقي

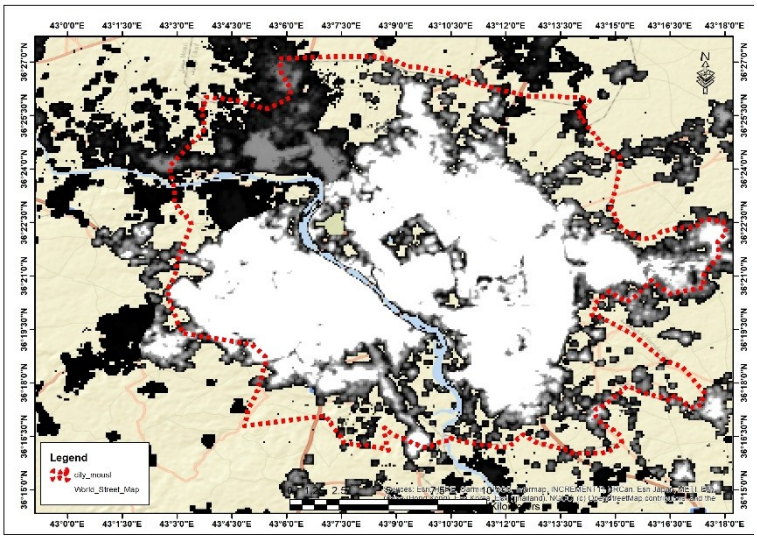
وتم بناء جداول الارتباط والتحليل الوصفي لتحديد العلاقة بين المتغيرات؛ وكانت خطوات العمل وفق الطبقات التالية :-

١- من منصة ERA5-Land(٧) خارطة (٢) والبيانات السكانية من WorldPop(٨) خارطة (٣) ، وذلك ضمن بيئة ArcMap لتحليل الأنماط المكانية للإشعاع الشمسي والكثافة السكانية.

خارطة (٢)



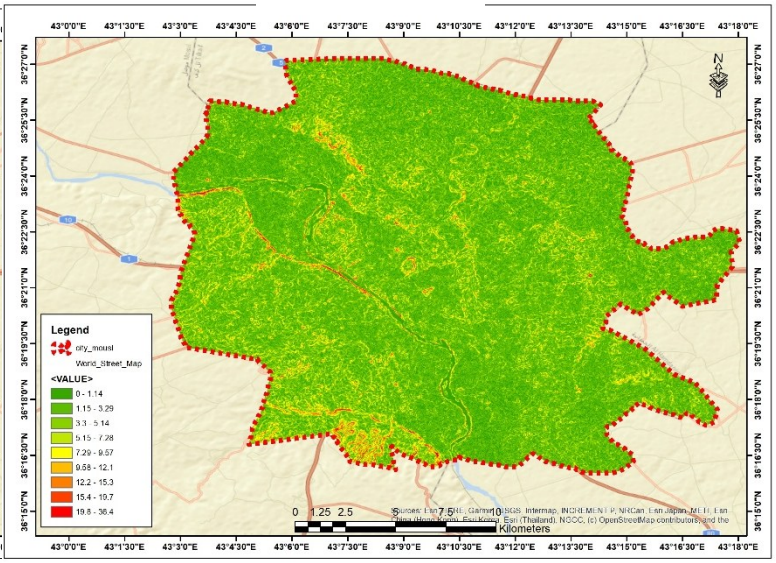
خارطة (٣)



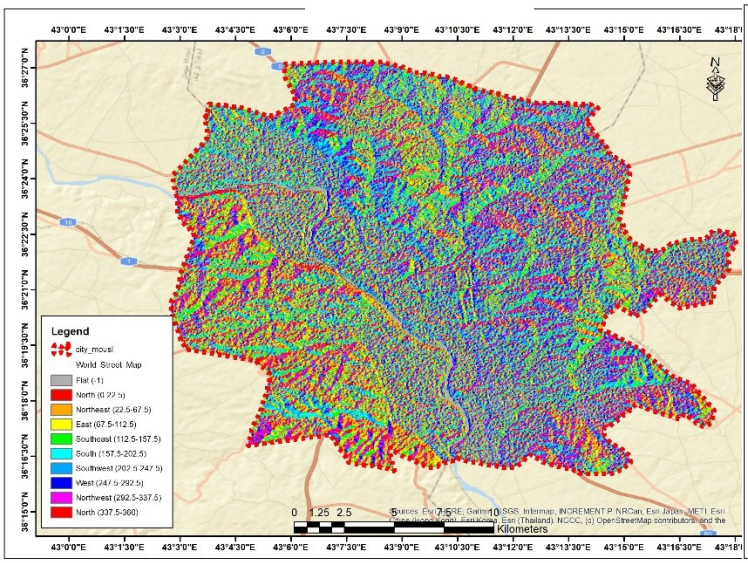
https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview

٢- تهيئة طبقة الانحدار للمنطقة خارطة (٤) وطبقة اتجاه الانحدار خارطة (٥) وكان الغرض منهما هو تحديد الزاوية الافضل لاستقبال الطاقة الشمسية لمدينة الموصل ووفق خوارزمية تستخدم ضمن بيئة ArcMap 10.2 شكل (١) ويحسب بحسبه بأداة Area Solar Radiation

خارطة (٤)



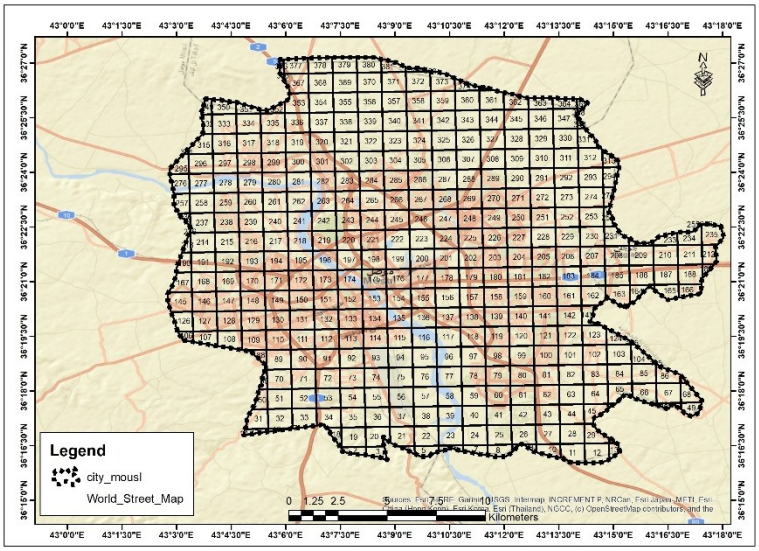
خارطة (٥)



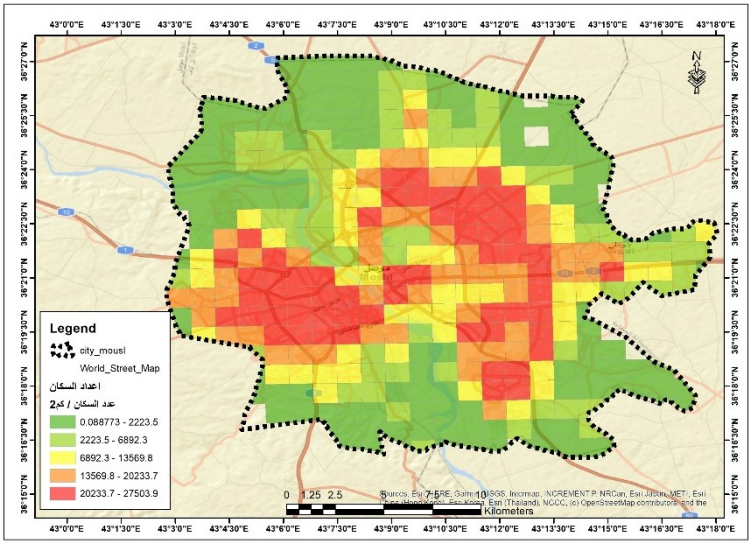
المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على :- ١- مرئية رادارية للقمر الصناعي بدقة ١١.٥ متر لسنة ٢٠٢٢ نقلا عن:- الموقع الالكتروني لمنصة الأقمار الصناعية :- SERTUM 3 -:https://apps.sentinel-hub.com

٣- تهيئة طبقة عدد وكثافة السكان وذلك بعد تقسيم المنطقة الى مربعات متساوية لاستخراج معدلات الطاقة الشمسية ولكل مربع ولكل حي سكني داخل مدينة الموصل خارطة (٦) و(٧)

خارطة (٦) تقسيم المنطقة الى مربعات

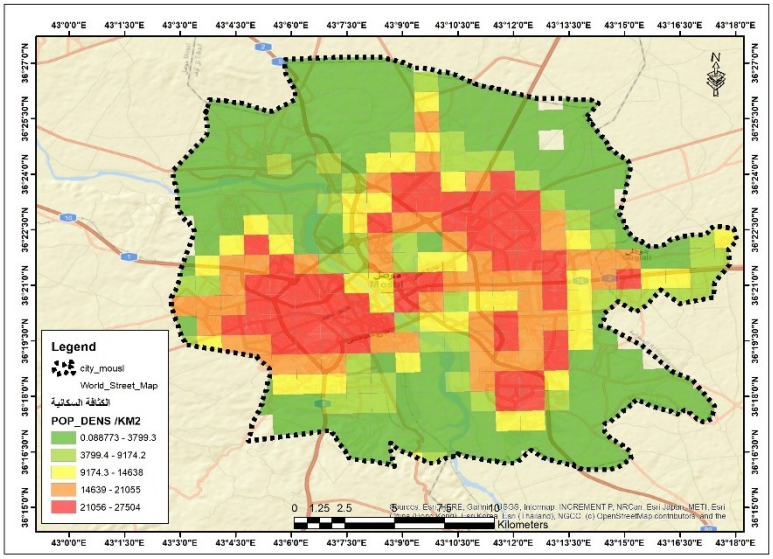


خارطة (٧) اعداد السكان

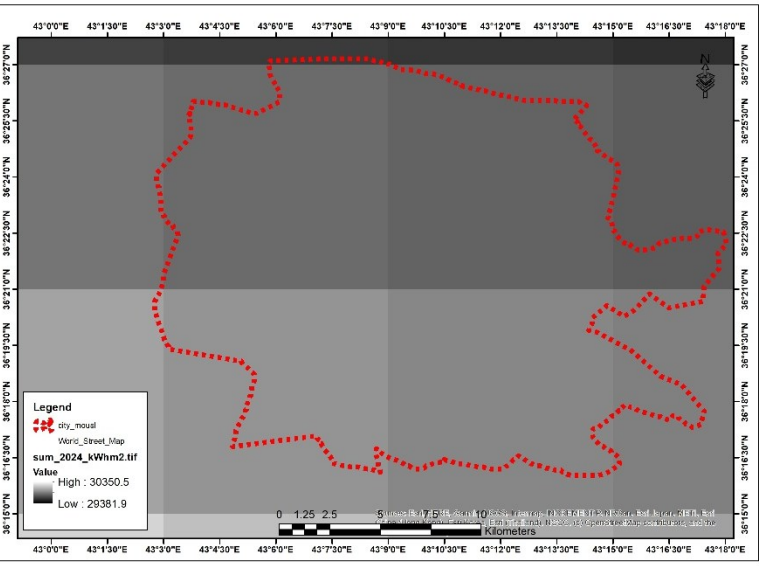


٤- تهيئة طبقة كثافة السكان بحسب المربعات خارطة (٨) وذلك لمطابقتها مع طبقة الطاقة الشمسية الخام خارطة (٩)

خارطة (٨) الكثافة السكانية



خارطة (٩) معدلات الطاقة

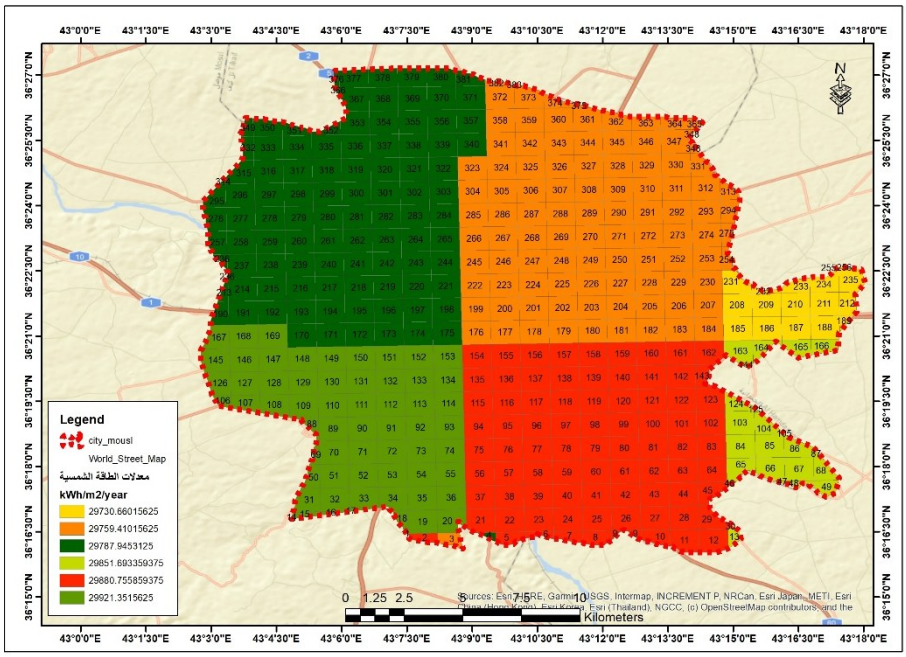


المصدر :- من عمل الباحث بالاعتماد:-١- التعداد السكاني . https://mop.gov.iq/archives/category/

٢- https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview

٥- استخدام خوارزمية لمطابقة جميع الطبقات واستخراج معدلات الطاقة الشمسية ولكل مربع مقاسة kWh/m2/year في خارطة (١٠)

خارطة (١٠) معدلات الطاقة الشمسية المستلمة لمدينة الموصل



https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=overview

خطوات التحليل الاحصائي الجغرافية للبيانات

أولاً :- ادخال البيانات :-

تم إعداد شبكة مربعات مكانية داخل حدود مدينة الموصل، واعتماد الكثافة السكانية (نسمة/كم²) ومتوسط الإشعاع الشمسي السنوي (kWh/m²/سنة) لكل خلية و تم اشتقاق عدد السكان التقديري والمساحة لكل خلية لاستخدامها في التحليل المكاني والإحصائي.

ثانياً:- تقدير حجم السكان وقدرة النظام لكل وحدة سكنية

- تم افتراض أن كل وحدة سكنية تمثل أسرة مكوّنة من أربعة أفراد.
- تكوين النظام الشمسي المنزلي :لوحان كهروضوئيان بقدرة اسمية 610 واط لكل لوح، أي قدرة كلية 1.22 كيلواط.
- معامل الأداء :(Performance Ratio) تم اعتماد قيمة 0.75 لتعكس الخسائر الواقعية (حرارة، محوّل، زاوية ميل، تظليل) [5]
- تُقدّر الطاقة السنوية المنتجة للوحدة السكنية وفق العلاقة :الطاقة السنوية للوحدة = القدرة الاسمية × معامل الأداء × متوسط الإشعاع الشمسي السنوي [6].

ثالثاً :- خطوات المعالجة والحسابات

- عدد السكان التقديري = (الكثافة السكانية × المساحة كم²)
- عدد الوحدات السكنية = عدد السكان التقديري ÷ ٤ [7]
- طاقة الوحدة السنوية × 0.75 × 1.22 k = متوسط الإشعاع الشمسي.
- الطاقة الشمسية الإجمالية الممكنة لكل خلية = عدد الوحدات السكنية × طاقة الوحدة السنوية.
- الطلب السنوي للوحدة 3500 / 2500 / 1500 :ك.و.س.
- نسبة الاكتفاء = الطاقة الشمسية المتاحة ÷ الطلب 100 × لكل خلية

رابعاً:- الإحصاءات الجغرافية وتفسيرها :-

الجدول (٢) يمثل التحليل الإحصائي الوصفي للمتغيرات المكانية والديموغرافية والطبيعية للطاقة الشمسية لمدينة الموصل .

المصدر :- من عمل الباحث بالاعتماد خارطة (١٠) و(٩) و(٨)

يُظهر الجدول(٢) السابق أعلاه القيم الإحصائية الوصفية لأهم المتغيرات التي تم اعتمادها في تحليل إمكانات استثمار الطاقة الشمسية وبيانات الاشعاع الشمسي في مدينة الموصل، وتشمل :المساحة، عدد السكان، الكثافة السكانية، الإشعاع الشمسي السنوي، ودرجة الانحدار الطبوغرافي؛ وقد تم تحليل هذه المتغيرات باستخدام أدوات نظم المعلومات الجغرافية والإحصاء المكاني لكل مربع شبكي يمثل جزءًا من المدينة.[8]

الطبقات المدخلة للنموذج :-

المتغير	معامل التباين	الانحراف المعياري	الحد الأقصى	الحد الأدنى	المتوسط
(المساحة)كم²	4.9%	0.05	1.1	0.9	1.02
عدد السكان	54%	1300	8200	300	2400
(الكثافة السكانية)فرد/كم²	52%	1200	8200	250	2300
الإشعاع الشمسي (ك.و.س/م)²	6.9%	0.4	6.7	4.9	5.8
(%) الاكتفاء الطاقي	23%	22	158	41	96

- المساحة كم٢ :- يتضح أن متوسط مساحة المربعات الشبكية بلغ 1.02 كم²، وهي قريبة من القيمة النظرية للشبكة (١ كم²)، مع انحراف معياري منخفض (٠.٠٥) ومعامل تباين ٤.٩ .% ، هذا يشير إلى تجانس كبير في أحجام الوحدات الشبكية المستخدمة في التحليل المكاني، مما يؤكد دقة توزيع الشبكة وعدم وجود تباين مكاني مؤثر في مساحة المربعات.
- عدد السكان :- بلغ متوسط عدد السكان داخل المربعات 2400 نسمة، بحد أدنى ٣٠٠ نسمة وحد أقصى ٨٢٠٠ نسمة، وانحراف معياري ١٣٠٠ ومعامل تباين مرتفع (٥٤%) هذه القيم تعكس تفاوتًا واضحًا في توزيع السكان بين مناطق المدينة، إذ تتركّز الكثافات السكانية العالية في مركز الموصل والمناطق الحضرية، مقابل انخفاضها في أطراف المدينة .
- الكثافة السكانية (فرد /كم٢) :- متوسط الكثافة بلغ 2300 فرد/كم²، بانحراف معياري ١٢٠٠ ومعامل تباين ٥٢.% هذا يشير إلى عدم تجانس في التوزيع السكاني، إذ تتأثر الكثافة بالعوامل الاقتصادية والعمرانية والبنية التحتية، وتعد هذه الفروق من المتغيرات المؤثرة في تحديد أولوية استثمار الطاقة الشمسية لخدمة المناطق ذات الكثافة الأعلى.
- الاشعاع الشمسي السنوي(ك وات /م٢/ سنة) :- أظهر التحليل أن متوسط الإشعاع الشمسي السنوي في الموصل بلغ 5.8 ك.و.س/م²/يوم، بحد أدنى ٤.٩ وحد أقصى ٦.٧، وانحراف معياري ٠.٤ ومعامل تباين ٦.٩.% هذه القيم تدل على أن توزيع الإشعاع الشمسي متقارب ومناسب جدًا لاستثمار الطاقة الشمسية، مع فروق طفيفة ناتجة عن التغير في الارتفاع والانحدار واتجاه الأسطح.
- الانحدار الطوبوغرافي:- بلغ متوسط الانحدار 9% بمدى من ١ إلى ٤١٪، وانحراف معياري ٢٢ ومعامل تباين ٢٣.% هذا يشير إلى أن معظم أراضي المدينة ذات انحدار منخفض إلى متوسط، وهي ملائمة لتركيب الألواح الشمسية، باستثناء بعض المناطق ذات الانحدار العالي في الأطراف الشمالية والغربية.
- تحليل مصفوفة الارتباط :- يُظهر الجدول أدناه قيم معاملات الارتباط (Pearson Correlation Coefficient) بين مجموعة من المتغيرات الأساسية في الدراسة، وهي :الإشعاع الشمسي، الكثافة السكانية، عدد السكان، والاكتفاء الطاقي؛ وتتراوح قيم الارتباط بين (−١) و(+١)،جدول (٣) (حيث تشير القيم الموجبة إلى علاقة طردية) كلما زادت قيمة أحد المتغيرين زادت الأخرى، في حين تشير القيم السالبة إلى علاقة عكسية [9]كلما زاد أحد المتغيرين انخفض .

الجدول(٣) معامل الارتباط بين متغيرات نموذج العمل

المتغيران	معامل الارتباط	العلاقة
الإشعاع الشمسي – الكثافة السكانية	-0.52	عكسية متوسطة
الإشعاع الشمسي – عدد السكان	-0.48	عكسية متوسطة
الاكتفاء الطاقي – الإشعاع الشمسي	+0.91	طردية قوية
الاكتفاء الطاقي – الكثافة	-0.44	عكسية متوسطة

المصدر:- من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (٢)

ويوضح الجدول (٣) عدة نقاط مهمة منها :-

اولاً:- العلاقة بين الإشعاع الشمسي والكثافة السكانية:($r = -0.52$)

تُظهر هذه القيمة وجود علاقة عكسية متوسطة القوة بين الإشعاع الشمسي والكثافة السكانية ؛ هذا يعني أن المناطق ذات الكثافة السكانية العالية تميل إلى انخفاض معدلات الإشعاع الشمسي، وذلك نتيجة لارتفاع نسبة البناء، وتزايد الظلال، ووجود الملوثات والانبعاثات التي تقلل من شدة الإشعاع الواصل إلى السطح.

ثانياً :- العلاقة بين الإشعاع الشمسي وعدد السكان:($r = -0.48$)

تشير هذه القيمة إلى علاقة عكسية متوسطة أيضًا، تدل على أن المناطق الأكثر سكانًا تسجل مستويات إشعاع شمسي أقل نسبيًا مقارنة بالمناطق الطرفية الأقل كثافة، مما يعكس تأثير التمدد العمراني والأنشطة البشرية على كفاءة الإشعاع الشمسي في البيئة الحضرية.

ثالثاً:- العلاقة بين الاكتفاء الطاقي والإشعاع الشمسي:($r = +0.91$)

هذه العلاقة طردية قوية جدًا، وهي من أعلى معاملات الارتباط في الجدول؛ تعني أن كل زيادة في الإشعاع الشمسي تؤدي إلى ارتفاع مباشر في مستوى الاكتفاء الطاقي* ، أي أن المناطق التي تستقبل معدلات إشعاع أعلى تمتلك قدرة أكبر على توليد الكهرباء من الألواح الشمسية، مما يحقق اكتفاءً ذاتيًا أعلى في الطاقة.

رابعاً:- العلاقة بين الاكتفاء الطاقي والكثافة السكانية:($r = -0.44$)

تُظهر علاقة عكسية متوسطة القوة، وتشير إلى أن المناطق ذات الكثافة السكانية العالية غالبًا ما يكون فيها الاكتفاء الطاقي أقل، نظرًا لارتفاع الاستهلاك وانخفاض المساحات المتاحة لتركيب الأنظمة الشمسية ؛هذا يبرز أهمية التوازن بين الطلب على الطاقة والمساحات المخصصة للاستثمار الشمسي في المناطق الحضرية الكثيفة.

التحليل المكاني لنموذج استنباط كفاءة الاشعاع الشمسي في الموصل لانتاج الطاقة الشمسية :-

يُوضّح الجدول (٣) ترتيب أفضل عشرة مربعات شبكية تمثل المناطق الأكثر كفاءة لإنتاج الطاقة الشمسية داخل مدينة الموصل، وذلك بناءً على تحليل مكاني إحصائي لعنصرين رئيسيين هما الإشعاع الشمسي السنوي (ك.و.س/م²/يوم) ونسبة الاكتفاء الطاقي(%) [10]

جدول (٣) يمثل معامل ونسب الاكتفاء الطاقي لمنطقة الدراسة

الترتيب	رقم الخلية	الاكتفاء الطاقي(%)	الإشعاع الشمسي (ك.و.س/م²)
1	G-45	156	6.7
2	F-44	149	6.6
3	H-41	144	6.5
4	G-46	139	6.4
5	F-42	133	6.3
6	G-43	128	6.3
7	H-40	125	6.2
8	E-39	121	6.1
9	D-42	118	6.0
10	E-43	115	6.0

المصدر :- من عمل الباحث بالاعتماد على جدول (٣) وجدول (٢)

تحليل ننتائج تطبيق النموذج

اولاً :- الإشعاع الشمسي: تتراوح قيم الإشعاع الشمسي بين 6.0 و٦.٧ ك.و.س/م²/يوم، وهي معدلات مرتفعة نسبيًا مقارنة بالمتوسط العام للمدينة (٥.٨ ك.و.س/م²/يوم) هذا يشير إلى أن هذه المربعات تقع ضمن المناطق الجنوبية والغربية من الموصل، والتي تتميز بانحدارات معتدلة واتجاهات مواجهة للجنوب، ما يزيد من كمية الطاقة الشمسية المستقبلة.

ثانياً:- مؤشر الاكتفاء الطاقي:تتراوح قيم الاكتفاء الطاقي بين 115% و١٥٦%، أي أن هذه المناطق لا تكتفي ذاتيًا فحسب، بل يمكنها إنتاج فائض من الطاقة قابل للنقل أو التخزين أو ربطه بالشبكة الكهربائية المحلية؛ يُعزى هذا الارتفاع إلى التركيز الجيد للإشعاع، والانخفاض النسبي في الكثافة السكانية، ووفرة المساحات القابلة للتركيب.

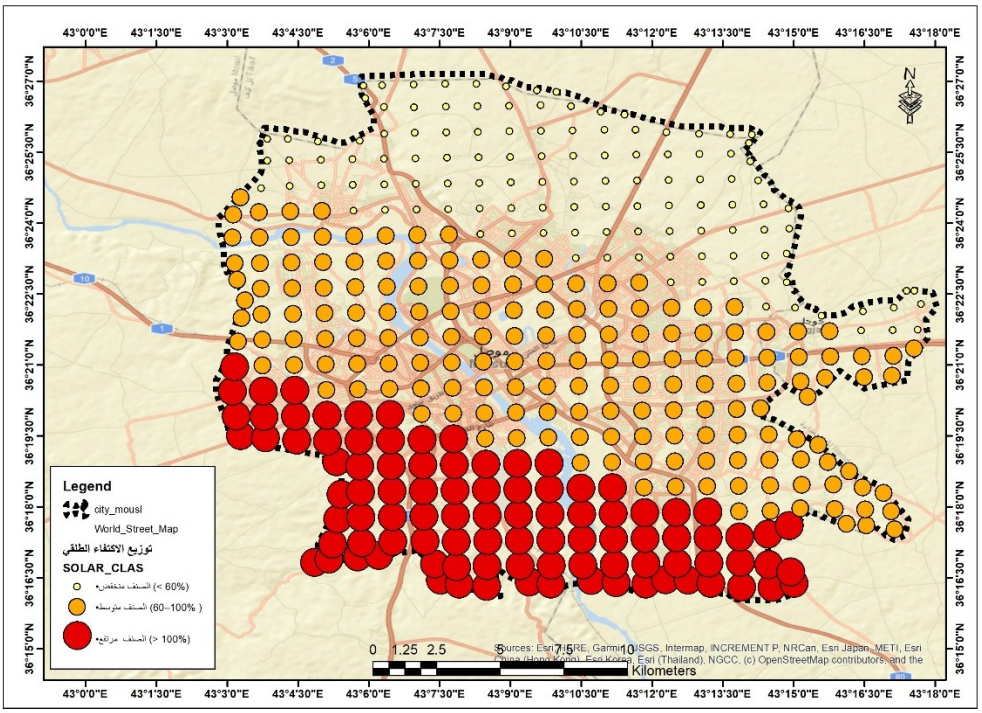
ثالثا:- التوزيع المكاني: تشير أرقام المربعات (مثل45–G ، 44–F، 41–H....) إلى أن أفضل المواقع تتوزع في النطاق الجنوبي–الغربي من منطقة الدراسة هذا التوزيع يعكس العلاقة الطردية القوية التي رُصدت سابقًا بين الإشعاع الشمسي والاكتفاء الطاقي(r = +0.91) ، ويؤكد أن الاتجاهات المواجهة للجنوب ذات انحدار معتدل (٥–١٥ (%هي الأكثر ملاءمة لتثبيت الأنظمة الكهروضوئية.

في المحصلة تشير الخريطة التصنيفية للاكتفاء الطاقي و خريطة الاكتفاء الطاقي في مدينة الموصل (سيناريو ٢٥٠٠ ك.و.س لكل وحدة)

- الصنف منخفض(60% >)
- الصنف متوسط (٦٠–١٠٠%)
- الصنف مرتفع(100% <)

تُظهر الخريطة تباينًا مكانيًا واضحًا في قيم الاكتفاء، إذ تتركز المستويات المرتفعة في الجنوب والغرب، بينما تنخفض شمالًا وشرقًا بسبب الكثافة السكانية العالية كما موضح بالخارطة (١١)

خارطة (١١) الاكتفاء الطاقي لمدينة الموصل



المصدر :- من عمل الباحث من خلال تطبيق النموذج

وفي حالة منطقة الدراسة تبلغ القيمة التقديرية للمحطتين وبحسب النظامين وفق الجدول(٤):- **جدول (٤) تقدير القيمة الاجمالية لانشاء محطة كهروضوئية**

القدرة	الكلفة لكل ميغاواط (متوسط ٠,٨ م.د$)	الكلفة الإجمالية
50 MWp	**50 × 0.8 = 40**	**٤٠ مليون دولار**

100 MWp	100 × 0.8 = 80	٨٠ مليون دولار

المصدر:- من عمل الباحث بالاعتماد على يانات الجدول (٣) وخارطة (١١)

مما سبق اذا تم عكس البيانات على الوحدات السكانية التي يمكن تزويدها بالطاقة من المحطتين (٥٠ و١٠٠ ميغاواط) اعتمادًا على الانتاج السنوي المتفق عليه:

- 50 MWp ⟶ 85 GWh/yr = 85,000,000 kWh/yr
- 100 MWp ⟶ 170 GWh/yr = 170,000,000 kWh/yr

وبالتالي تم تصميم سناريوهات جاهزة (استهلاك سنوي للوحدة سكنية) كما في جدول (٥) والأقرب لاستهلاك الموصل الفعلي ٣٠٠٠–٦٠٠٠ kWh/سنة

جدول(٥) يوضح حجم متوسط الاسرة والطاقة المتوقع استهلاكها لمنطقة الدراسة

متوسط الأسرة = ٦	وحدات مغطّاة – ١٠٠ MW	وحدات مغطّاة – ٥٠ MW	استهلاك الوحدة (kWh/yr)
170ألف ٥٠ MW 340 / ألف ١٠٠ MW	56,667	28,333	3000
127.5ألف / ٢٥٥ ألف	42,500	21,250	4000
102ألف / ٢٠٤ ألف	34,000	17,000	5000
85ألف / ١٧٠ ألف	28,333	14,167	6000

المصدر :- من عمل الباحث بالاعتماد هلى خارطة ١١ وجدول ٤

الاستنتاجات والتوصيات

- بلغت نسبة المربعات ذات الاكتفاء الكامل 47%، والمتوسطة 33%، والمنخفضة .20%
- تشير النتائج إلى أن نسبة المربعات التي تحقق اكتفاءً طاقيًا كاملًا (100%<) بلغت حوالي 47%، بينما كانت المربعات ذات الاكتفاء المتوسط ٦٠–١٠٠ %بنسبة 33%، والمربعات ذات الاكتفاء المنخفض (60%>) بنسبة 20%تقريبًا وتُظهر المناطق الجنوبية والغربية من الموصل أعلى معدلات إشعاع شمسي، مما يجعلها أنسب لتطبيق مشاريع الطاقة الشمسية السكنية.
- ترتبط الكثافة السكانية سلبًا بمستوى الإشعاع، مما يعني أن المناطق الأقل ازدحامًا أكثر قدرة على إنتاج الطاقة الكافية.
- توصى الدراسة بتركيز مشاريع الطاقة الشمسية المنزلية في الأحياء الجنوبية والغربية من الموصل.
- يوصى أيضًا بتحديث خرائط الأسطح السكنية وزوايا الميل لتحسين دقة التقديرات الطاقية المستقبلية.
- دعم سياسات التحفيز لتركيب الألواح الشمسية في المناطق المتوسطة الكثافة لتحقيق العدالة الطاقية
- تمثل هذه المربعات النواة المثالية لمشروعات الطاقة الشمسية المستقبلية في مدينة الموصل.
- يمكن اعتبارها مناطق أولوية عالية للاستثمار في الشبكات الذكية وأنظمة الألواح المنزلية.
- تعكس النتائج فاعلية التكامل بين التحليل المكاني (GIS) والتحليل الاحصائي في تحديد مواقع الاستثمار ذات الجدوى الاقتصادية الأعلى.
- من خلال معاملات الارتباط يمكن ملاحظة الإشعاع الشمسي يرتبط سلبًا بالمتغيرات السكانية، ما يعني أن المناطق المكتظة تمثل بيئة أقل كفاءة للطاقة الشمسية.
- في المقابل، يرتبط الإشعاع الشمسي والاكتفاء الطاقي بعلاقة طردية قوية جدًا، تؤكد أن أهم محدد لاستدامة الطاقة في مدينة الموصل هو كمية الإشعاع المتاحة مكانيًا ،وبذلك تدعم نتائج الارتباط فرضية البحث التي تشير إلى أن العوامل الطبيعية والإشعاع والانحدار أكثر تأثيرًا في تحديد كفاءة استثمار الطاقة الشمسية من العوامل الديموغرافية.

- يُظهر التحليل الإحصائي أن المتغيرات المكانية والسكانية ضمن الدراسة تتميز بتفاوت واضح في السكان والكثافة، مقابل استقرار مكاني في الإشعاع الشمسي والمساحة، مما يعزز موثوقية النتائج المكانية لنموذج التكامل بين GIS ونتائج التحليل الاحصائي في تقييم إمكانات الطاقة الشمسية واستثمار معدلات الاشعاع الشمسي لمدينة الموصل.

المصادر :-

*و نموذج قرار مكاني داخل نظم المعلومات الجغرافية يقوم على دمج عدة معايير مكانيةRaster/Vector Layers) |)

(1) Mohan, R., & Kumar, S. (2023). GIS-based assessment of solar energy potential in urban areas. Renewable Energy Journal, 58(3), 412–428.

(2) Zhang, Y., et al. (2024). Integrating GIS and MIS for renewable energy management: A decision support approach. Energy Informatics, 19(2), 155–169.

(3) Ahmed, A., & Hassan, R. (2025). Integrating MIS and GIS for solar investment management in developing countries. Energy Policy Review, 33(2), 78–96.

(4) https://power.larc.nasa.gov/api/temporal/monthly/point

(5) **Narang, D., & others (NREL),** ***Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems*****, (2005), p24**

(6) Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (2013). Solar Engineering of Thermal Processes (4th ed.). Wiley: Eannual=Prated×PR×HannualE_{annual} = P_{rated} \times PR \times H_{annual}Eannual=Prated×PR×Hannual

(7)هيأة الإحصاء ونظم المعلومات الجغرافية) .(COSIT) ٢٠٢٥ .**(السكان والمساكن والتعداد العام للسكان** .وزارة التخطيط العراقية.

(8)وليد وعد عبد ؛ سحر سعيد قاسم الطائي ، تنمية صناعة الطاقة المتجددة في مدينة الموصل باستخدام نظم المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد ، بحث منشور (عدد خاص بالمؤتمر العلمي الدولي الرابع / الدراسات التاريخية والجغرافية) ، ٢٠٢٢، ص ١٢٩٤.

(9)سعيد فاضل احمد ، كتاب (محاضرات في الإحصاء الجغرافي)، جامعة ديالى ، كلية التربية للعلوم الإنسانية ط١، مط كلية بلاد الرافدين الجامعة ، ٢٠٢٠، ص١٢٩.

* تم قياس نسبة الاكتفاء الكاقي بوصفها مؤشرا يعبر عن مقدار قدرة الطاقة المتاحة على تغطية الطلب الطاقي وتم اجتسابها وفق المعادلة التالية :- الطاقة المتاحة / الطلب الطاقي * ١٠٠ وبذلك فان ارتفاع القيم يشير على قدرة تلبية الطلب اعتمادا على مصادر الطاقة المصدر :- **طلب فرج الساعدي، تقييم إمكانية استخدام الطاقة الشمسية في محافظة بغداد ودورها في تحقيق التنمية المستدامة في قطاع الطاقة الكهربائية، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية الآداب، جامعة بغداد،(٢٠٢٠) ، ص٥٤**

(10)طلب فرج الساعدي، تقييم إمكانية استخدام الطاقة الشمسية في محافظة بغداد ودورها في تحقيق التنمية المستدامة في قطاع الطاقة الكهربائية، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية الآداب، جامعة بغداد،(٢٠٢٠) ، ص٥٤