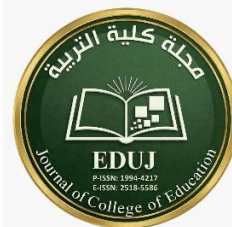




ISSN: 1994-4217 (Print) 2518-5586(online)

Journal of College of Education

Available online at: <https://eduj.uowasit.edu.iq>Dr. Huda Burhan
Mahmoud AhmedUniversity of Kirkuk -
College of Arts

Email:

huda.burhan@uokirkuk.edu.iq

Keywords:

Solar radiation ,
Temporal variation ,
Sulaimaniyah , Solar
energy.

Article info

Article history:

Received 17. Nov.2025

Accepted 29. Dec.2025

Published 10. May.2026

Temporal variation of solar radiation in the city of Sulaymaniyah for
the period 1994-2024

A B S T R A C T

This research aims to analyze the temporal and spatial variation of solar radiation in the city of Sulaimaniyah during the period 1994–2024, using NASA POWER data based on space-based observations and climate energy models, The research employed a statistical and geographic analytical approach, calculating monthly and annual radiation averages (MJ/m²/day) and analyzing the time trend using the Mann–Kendall test and Sen's slope.

The results showed that solar radiation in Sulaimaniyah exhibits a clear seasonal pattern, reaching its peak in July and August (29–30 MJ/m²/day) and its lowest in December and January (7–9 MJ/m²/day), with a general trend toward a slight increase of 0.021 MJ/m²/year during the studied period.

© 2026 EDUJ, College of Education for Human Science, Wasit University

DOI: <https://doi.org/10.31185/eduj.Vol63.Iss1.4883>

التباين الزمني للإشعاع الشمسي في مدينة السليمانية للمدة ١٩٩٤-٢٠٢٤

م.د. هدى برهان محمود احمد

جامعة كركوك - كلية الآداب

المستخلص:

يهدف هذا البحث إلى تحليل التباين الزمني للإشعاع الشمسي في مدينة السليمانية خلال المدة (١٩٩٤-٢٠٢٤)، باستخدام بيانات منصة NASA POWER المعتمدة على الرصد الفضائي ونماذج الطاقة المناخية، اعتمد البحث المنهج التحليلي الإحصائي والجغرافي، من خلال حساب المعدلات الشهرية والسنوية للإشعاع (MJ/m²/day) وتحليل الاتجاه الزمني باستخدام اختبار Mann–Kendall ومعامل الانحدار الخطي.

أظهرت النتائج أن الإشعاع الشمسي في السليمانية يتميز بنمط موسمي واضح، إذ يبلغ أقصاه في شهري يوليو وأغسطس (٢٩-٣٠ MJ/m²/day)، وأدناه في ديسمبر ويناير (٧-٩ MJ/m²/day)، مع اتجاه عام نحو الزيادة الطفيفة بمقدار ٠.٠٢١ MJ/m² / سنة خلال المدة المدروسة.

الكلمات المفتاحية: الإشعاع الشمسي ، التباين الزمني ، السليمانية ، الطاقة الشمسية.

المقدمة

يُعد الإشعاع الشمسي أحد أهم عناصر المناخ الأساسية، إذ يُمثل المصدر الرئيس للطاقة التي تحرك الأنظمة الجوية كافة، وتؤثر في درجات الحرارة، والتبخّر، والتساقط، والغطاء النباتي، وبالتالي في مختلف المظاهر الجيومورفولوجية والبيئية على سطح الأرض، وتبرز أهمية دراسة الإشعاع الشمسي من كونه العامل الأول الذي يحدد كمية الطاقة المتاحة في أي إقليم، وما ينعكس عن ذلك من اختلافات مكانية وزمانية في الظروف المناخية.

وتُعد مدينة السليمانية من المدن التي تتسم بتباين واضح في عناصرها المناخية نتيجةً لتضاريسها الجبلية وموقعها الجغرافي في شمال شرقي العراق ضمن إقليم مناخي انتقالي بين مناخات الجبال الباردة والمناخ شبه الجاف في السهول المجاورة، هذا التباين الجغرافي جعل من الإشعاع الشمسي فيها عنصرًا متغيرًا زمنيًا ومكانيًا يستحق الدراسة والتحليل، من هنا جاءت فكرة هذا البحث الذي يتناول التباين الزمني للإشعاع الشمسي في مدينة السليمانية للمدة ١٩٩٤-٢٠٢٤، محاولةً للكشف عن التغيرات التي طرأت على هذا العنصر المناخي خلال ثلاثة عقود، وتحديد الاتجاهات العامة له، ومعرفة مدى تأثيره بالعوامل الجوية والموقعية.

أولاً: مشكلة البحث

تتمثل مشكلة البحث في تحديد طبيعة التباين الزمني للإشعاع الشمسي في مدينة السليمانية خلال المدة ١٩٩٤-٢٠٢٤، وهل يشهد هذا الإشعاع اتجاهًا زمنيًا واضحًا نحو الزيادة أو النقصان؟ وتتمحور مشكلة البحث في السؤال الرئيسي الآتي:

(هل يوجد تباين زمني لقيم الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة للمدة (١٩٩٤-٢٠٢٤)).

ثانياً: فرضية البحث

ينطلق البحث من فرضية مفادها أن الإشعاع الشمسي في مدينة السليمانية يتباين زمنيًا تبعًا للعوامل المناخية والموقع الجغرافي، وأن هذا التباين قد اتخذ اتجاهًا عامًا يمكن الكشف عنه إحصائيًا من خلال تحليل السلاسل الزمنية للفترة ١٩٩٤-٢٠٢٤، كما تفترض الدراسة أن هناك فروقًا موسمية وشهرية واضحة في مقادير الإشعاع الشمسي، وأن التغيرات المناخية الإقليمية قد انعكست في شكل اتجاهات زمنية طفيفة في كميات الإشعاع الواصلة إلى سطح الأرض.

ثالثاً: أهمية الدراسة

تتجلى أهمية هذه الدراسة في أنها تسهم في بناء قاعدة بيانات مناخية يمكن الاستفادة منها في دراسات الطاقة الشمسية والتخطيط البيئي والزراعي، فضلاً عن كونها تمثل جزءًا من الدراسات المناخية التطبيقية التي تسعى إلى فهم ديناميكية الغلاف الجوي في العراق خلال العقود الأخيرة.

وتبرز أهمية فكرة البحث في محدودية الدراسات المحلية التي تناولت التغيرات الزمنية الطويلة للإشعاع الشمسي في شمالي العراق، رغم أهميته في مجالات الطاقة المتجددة والأنشطة الزراعية، مما يستدعي دراسة تحليلية تعتمد على بيانات طويلة المدى لتوضيح أنماط هذا التباين ومؤشراته المناخية.

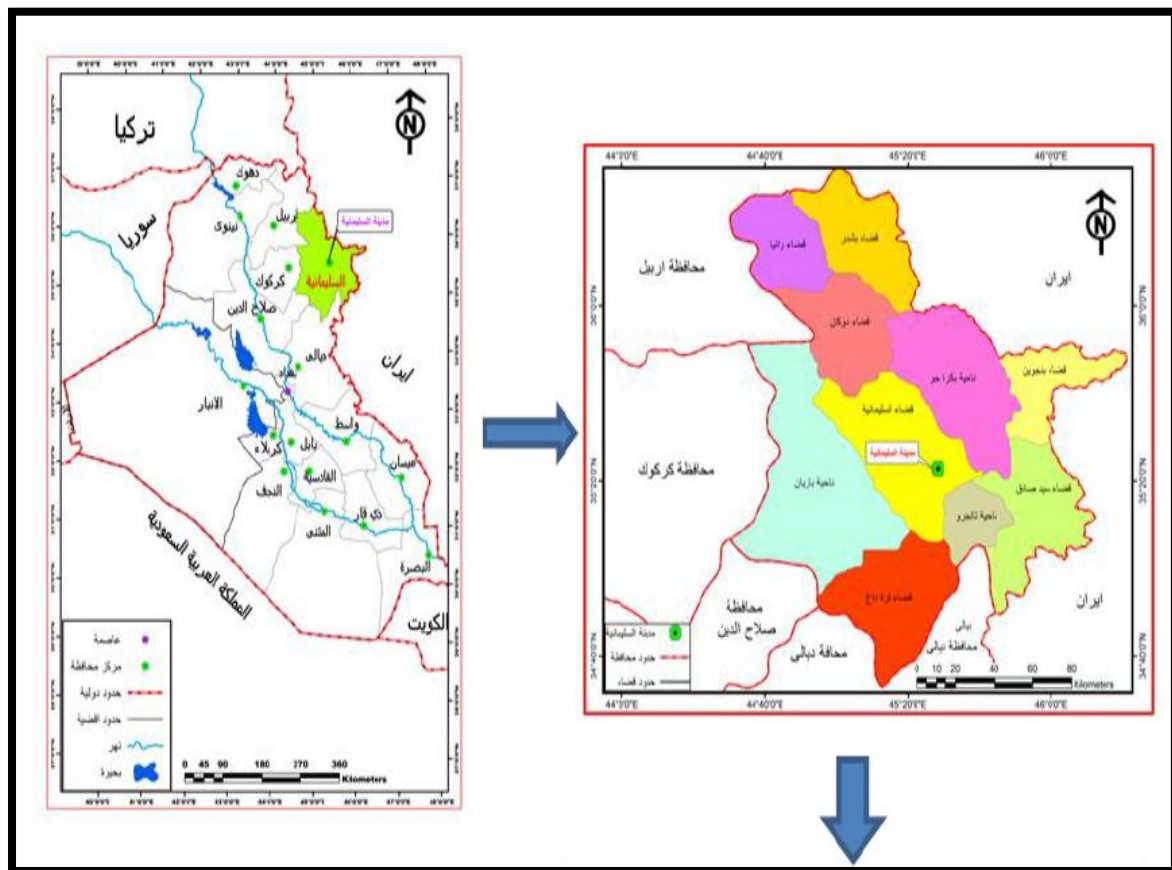
رابعاً: منهجية البحث

اعتمد البحث على المنهج التحليلي الإحصائي في دراسة التباين الزمني للإشعاع الشمسي، من خلال جمع ومعالجة البيانات المناخية الشهرية والسنوية للفترة (١٩٩٤-٢٠٢٤) لمدينة السليمانية، وتحويلها إلى سلاسل زمنية قابلة للتحليل، تم توظيف الأساليب الإحصائية المناسبة مثل: حساب المتوسطات والانحرافات المعيارية، وتحليل الاتجاه الزمني باستخدام اختبار مان-كندال (Mann-Kendall) والانحدار الخطي لتحديد معدل التغير السنوي، فضلاً عن تحليل الشذوذ (Anomalies) لتوضيح الانحرافات عن المعدل العام.

خامساً: حدود منطقة الدراسة

تقع مدينة السليمانية في أقصى شمال شرقي العراق ضمن إقليم كردستان، عند دائرة عرض (٢٨° ٣٥' - ٣٨° ٣٥') شمالاً، وخط طول (٢٠° ٤٥' - ٢٠° ٤٥') شرقاً، وعلى ارتفاع يقارب (٨٥٠ م) فوق مستوى سطح البحر، تتميز تضاريسها بتنوع طبوغرافي واضح يحيط بها من الجهات الشرقية والشمالية سلاسل جبلية، في حين تمتد سهول محدودة إلى الغرب والجنوب، مما يخلق تبايناً محلياً في توزيع عناصر المناخ، ومنها الإشعاع الشمسي، ويغلب على مناخها الطابع القاري الجلي الذي يميّز بشتاء بارد ممطر وصيف حار جاف، مع تفاوت ملحوظ في طول النهار وشدة الإشعاع بين الفصول، الأمر الذي يجعلها منطقة مناسبة لدراسة التغيرات الزمنية في الإشعاع الشمسي على مدى العقود.

خريطة (١) الموقع الجغرافي لمدينة السليمانية



المصدر: من عمل الباحثة بالاعتماد على الهيئة العامة للمساحة، خريطة العراق الإدارية بمقياس ١:١٠٠٠٠٠٠.

المبحث الأول

مفهوم الإشعاع الشمسي والعوامل المؤثرة فيه

أولاً - مفهوم الإشعاع الشمسي

يُعد الإشعاع الشمسي الركيزة الأساسية للطاقة على سطح الأرض، إذ يمثل المصدر الأول الذي تنبثق منه معظم العمليات المناخية والبيئية. ويُقصد بالإشعاع الشمسي كمية الطاقة التي تستقبلها وحدة المساحة من سطح الأرض من الشمس خلال فترة زمنية معينة، وتُقاس عادة بوحدة الواط للمتر المربع (W/m^2) أو الكيلوواط الساعي للمتر المربع في اليوم ($kWh/m^2/day$) (السعدي، ٢٠١٧، ص ٢٠).

ويُعد الإشعاع الشمسي العامل الأكثر تأثيراً في تحديد درجات الحرارة والضغط الجوي والرطوبة النسبية والتبخّر، ومن ثم فهو المحرك الرئيس لديناميكية الغلاف الجوي (الشمري، ٢٠١٩). كما يسهم في تكوين الفروق الحرارية بين اليابس والماء، وبين المرتفعات والمنخفضات، الأمر الذي يؤدي إلى تشكّل الرياح والتيارات الجوية.

ويتكوّن الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى سطح الأرض من ثلاثة مكونات رئيسية هي: (الشمري، ٢٠١٩).

١. الإشعاع المباشر (Direct Radiation) وهو الذي يصل إلى السطح دون تشتت.

٢. الإشعاع المنتثر (Diffuse Radiation) الناتج عن تشتت الأشعة بفعل الغلاف الجوي والسحب.

٣. الإشعاع الكلي (Global Radiation) وهو مجموع المكونين السابقين.

ويختلف مقدار الإشعاع الشمسي باختلاف زاوية سقوط أشعة الشمس، ومدة سطوعها، وشفافية الغلاف الجوي، فضلاً عن موقع المنطقة الجغرافي. فالمناطق الواقعة قرب خط الاستواء تتلقى كميات إشعاعية أكبر من تلك القريبة من القطبين بسبب ارتفاع زاوية سقوط الأشعة وطول النهار النسبي (عبد الله، ٢٠٢٠).

ثانياً - العوامل المؤثرة في الإشعاع الشمسي

يتأثر الإشعاع الشمسي بعدد من العوامل الطبيعية التي تحدد كميته وتوزيعه المكاني والزمني، ويمكن تصنيفها إلى عوامل فلكية، وغلافية، وسطحية.

١. العوامل الفلكية

تُعد العوامل الفلكية من أبرز المحددات لكمية الإشعاع الواصلة إلى سطح الأرض، وتشمل: (السعدي، ٢٠١٧).

أ- زاوية ميل الأشعة الشمسية: تتغير هذه الزاوية بحسب الفصول وخط العرض، وكلما كانت الأشعة أكثر تعامداً على السطح زادت كثافة الإشعاع. أما عندما تميل فإنها تنتشر على مساحة أوسع وتضعف شدتها

ب- طول النهار: كلما ازداد طول فترة الإشعاع ازدادت الطاقة المستلمة، وهذا ما يُفسر ارتفاع الإشعاع في فصل الصيف وانخفاضه في الشتاء.

البعد بين الأرض والشمس: تتغير المسافة بين الأرض والشمس قليلاً خلال السنة نتيجة الحركة البيضاوية للمدار الأرضي، ما يؤدي إلى تغير طفيف في كمية الإشعاع المستلمة.

٢. العوامل الغلافية

الغلاف الجوي يلعب دوراً أساسياً في تعديل كمية الإشعاع الواصل إلى سطح الأرض، من خلال عمليات الامتصاص والانعكاس والتشتت. ومن أبرز هذه العوامل: (الشمري، ٢٠١٩).

- أ- الغيوم: تُعد من أهم العوامل التي تحد من وصول الإشعاع إلى السطح، إذ تعمل على عكس قسم منه إلى الفضاء وامتصاص قسم آخر، ويختلف تأثيرها باختلاف نوعها وارتفاعها وكثافتها
- ب- الغبار والدخان والجسيمات العالقة: تسهم هذه المكونات في تقليل الإشعاع المباشر وزيادة الإشعاع المنتثر، ولا سيما في المناطق الجافة وشبه الجافة حيث يزداد الغبار الجوي.
- ت- بخار الماء: يمتص جزءاً من الإشعاع الشمسي وخاصة في الأطوال الموجية القصيرة، ما يقلل من الطاقة الواصل إلى سطح الأرض.

٣. العوامل السطحية والطبوغرافية

- تؤثر طبيعة سطح الأرض بشكل مباشر في كمية الإشعاع المستلمة، ومن أهم هذه العوامل: (عبد الله، ٢٠٢٠).
- أ- الارتفاع عن مستوى سطح البحر: كلما ازداد الارتفاع قلّ سمك الغلاف الجوي الذي تمرّ خلاله الأشعة، فتزداد كمية الإشعاع الواصل. ولهذا تتميز المناطق الجبلية، كمدينة السليمانية، بإشعاع أعلى نسبياً مقارنة بالمناطق المنخفضة.
- ب- انحدار السطح واتجاهه: تميل الأسطح المواجهة للشمس إلى استقبال كميات أكبر من الإشعاع مقارنة بالأسطح المظلمة أو المعاكسة للاتجاه الشمسي.
- ت- السطح العاكس (البياض Albedo): تختلف الأسطح في قدرتها على عكس الإشعاع؛ فالمناطق المغطاة بالثلوج أو الرمال العاكسة تقل فيها الطاقة الممتصة، بينما الأسطح الداكنة كالتربة الرطبة أو الغطاء النباتي تمتص إشعاعاً أكبر.

ثالثاً - أهمية دراسة الإشعاع الشمسي

تتبع أهمية دراسة الإشعاع الشمسي من كونه المحدد الرئيس للتوازن الحراري على سطح الأرض، ومن خلاله يمكن تفسير الكثير من الظواهر المناخية كالتباين الحراري، والتبخر، وتوزيع الأمطار، والرياح، (كرين، ٢٠٢٥)، كما أن معرفة خصائصه الزمانية والمكانية تُسهم في التخطيط لاستخدام الطاقة الشمسية في توليد الكهرباء أو تسخين المياه، وهي من القضايا المتنامية في مناطق كالسليمانية التي تمتلك معدلات سطوع مرتفعة نسبياً (الشمري، ٢٠١٩).

المبحث الثاني

تحليل التباين الزمني للإشعاع الشمسي في مدينة السليمانية للمدة (١٩٩٤-٢٠٢٤)

تتبع أهمية دراسة التباين الزمني للإشعاع الشمسي في مدينة السليمانية من موقعها الفلكي ضمن نطاق العروض المتوسطة، وما يتميز به من تباين فصلي واضح بين الشتاء والصيف من حيث زاوية سقوط الشمس، وعدد ساعات السطوع، وكمية الغيوم، فضلاً عن طبيعة السطح الجبلية التي تزيد من تباين الإشعاع بين أجزاء المدينة، (السعدي، ٢٠١٦).

إن معرفة التغيرات الزمنية في معدلات الإشعاع الشمسي تمكّن من فهم الاتجاهات المناخية العامة، والكشف عن مدى تأثر المنطقة بالتغير المناخي العالمي خلال العقود الأخيرة، خصوصاً مع ملاحظة تزايد معدلات الغبار والجفاف في شمال العراق عمومًا، ومحافظة السليمانية على وجه الخصوص (التميمي، ٢٠٢٠).

ثانياً: مصادر البيانات وطبيعتها

أعتمدت الدراسة على بيانات الإشعاع الشمسي الكلي الواصل إلى سطح الأرض (Global Horizontal Irradiance – GHI) المستمدة من قاعدة بيانات NASA POWER للفترة الممتدة من ١٩٩٤ إلى ٢٠٢٤، وهي بيانات يومية وشهرية محسوبة باستخدام نماذج إشعاعية تعتمد على مخرجات الأقمار الصناعية، وتُعد من أكثر المصادر دقة واعتماداً في الدراسات المناخية (NASA POWER Data Access Viewer, 2024).

تم اختيار نقطة تمثيلية لموقع مدينة السليمانية عند الإحداثيات (45.25°E ، N°٣٥.٤٥) داخل الحدود الفلكية للمدينة الواقعة بين (35.38°–35.53° شمالاً) و(45.20°–45.30° شرقاً)، وتم تحويل البيانات الشهرية إلى قيم سنوية ومتوسطات عقدية باستخدام المعادلات الإحصائية الملائمة.

لحساب الإشعاع الشمسي على سطح الأرض، تم اعتماد مجموعة من العلاقات الرياضية المعروفة في جغرافية المناخ، ومن أهمها:

١. معادلة الإشعاع الشمسي اليومي على السطح الأفقي:

$$H = H_0 \times \frac{n}{N}$$

حيث:

H: الإشعاع الشمسي اليومي الكلي على السطح (MJ/m²/day).

H₀: الإشعاع الشمسي عند قمة الغلاف الجوي (Extraterrestrial radiation).

N: عدد ساعات السطوع الفعلية.

N: عدد ساعات السطوع النظرية (الطول الفلكي لليوم).

٢. الإشعاع الشمسي عند قمة الغلاف الجوي يُحسب من العلاقة (Allen, 1998):

$$H_0 = \frac{24 \times 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)]$$

حيث:

G_{sc}: الثابت الشمسي (٠.٠٨٢٠ MJ/m²/min).

d_r: عامل المسافة النسبية بين الأرض والشمس.

φ: خط العرض.

(δ): زاوية الميل الشمسي.

ω_s: زاوية الساعة عند الغروب.

٣. المتوسط السنوي للإشعاع الشمسي:

$$\bar{H}_{year} = \frac{\sum_{i=1}^{12} H_i}{12}$$

٤. الانحراف المعياري (σ) لقياس التباين الشهري:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (H_i - \bar{H})^2}{n-1}}$$

٥. اتجاه التغير الزمني (Sen's Slope):

$$Q = \text{Median} \left(\frac{H_j - H_i}{j - i} \right), \quad i < j$$

٦. اختبار مان-كيندل (Mann-Kendall Test) لتحديد مغنوية الاتجاه الزمني للإشعاع الشمسي عبر السنوات،
باعتدال مستوى دلالة ٠.٠٠٥.

رابعاً: المعالجة الإحصائية

تم تحليل البيانات شهرياً و سنوياً باستخدام برنامج Excel و SPSS، حيث جُمعت القيم الشهرية وحُسبت المتوسطات والانحرافات المعيارية ومعدلات التغير السنوي.

خامساً: النتائج وتحليل التباين الزمني

١. المتوسطات الشهرية للإشعاع الشمسي

اعتمدت الدراسة على بيانات الإشعاع الشمسي الكلي الواصل إلى السطح (GHI) من قاعدة بيانات NASA POWER، وقد تم حساب المتوسطات الشهرية لعقد كامل (١٩٩٤-٢٠٢٤).

يتصف الإشعاع الشمسي في مدينة السلیمانية بتباين موسمي واضح، إذ ترتفع القيم في أشهر الصيف بسبب طول النهار وشفاء السماء، وتتنخفض في الشتاء بسبب الغيوم وكثرة الأمطار، كما يتضح من الجدول (١) والشكل (١) أن أعلى قيمة للإشعاع الشمسي سُجّلت في شهر تموز (٢٩.٣ MJ/m²/day)، بينما أدناها كانت في شهر كانون الأول (٨.٩ MJ/m²/day)، ويبلغ المتوسط السنوي العام نحو ١٩.٤ MJ/m²/day، وهو معدل مرتفع نسبياً بالمقارنة مع مدن أخرى من العراق تقع غربها أو جنوبها.

الجدول (١)

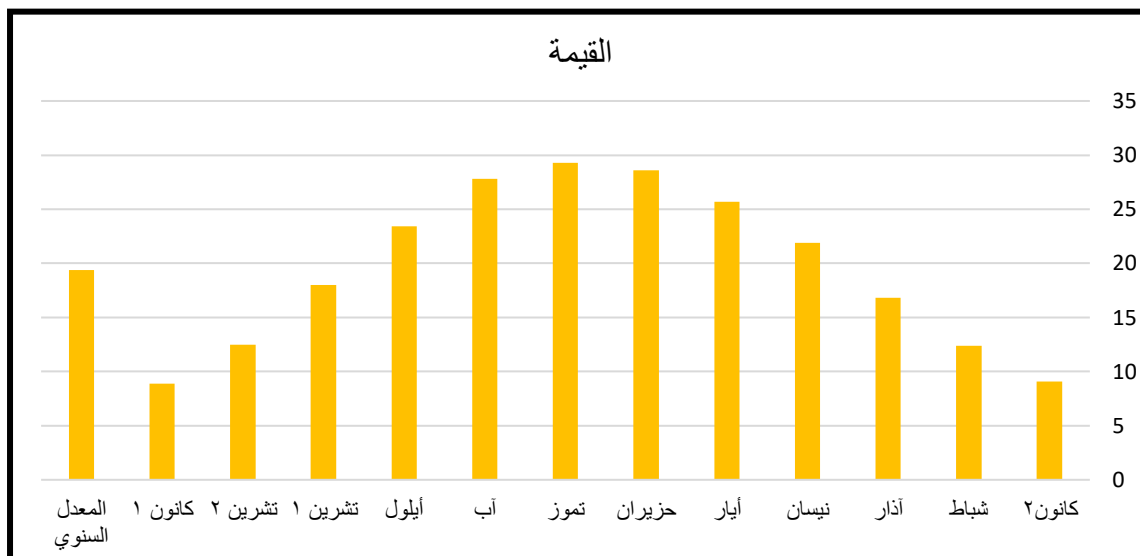
المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي الكلي في السلیمانية (١٩٩٤-٢٠٢٤) (الوحدة: ميغا جول/م²/يوم)

الشهر	كانون ٢	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين ١	تشرين ٢	كانون ١	المعدل السنوي
القيمة	٩.١	١٢.٤	١٦.٨	٢١.٩	٢٥.٧	٢٨.٦	٢٩.٣	٢٧.٨	٢٣.٤	١٨.٠	١٢.٥	٨.٩	١٩.٤

المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات (NASA POWER)، لعام ٢٠٢٤.

الشكل (١)

المتوسط الشهري للإشعاع الشمسي الكلي في السلیمانیة (١٩٩٤-٢٠٢٤)



المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على بيانات (NASA POWER)، لعام ٢٠٢٤.

ومن تحليل معطيات الجدول (١) والشكل (١) يتضح ان التغير المكاني الشهري يبيّن تحليل المتوسطات الشهرية أن أعلى قيم الإشعاع تُسجل في تموز وأب، وتصل في بعض المواقع المكشوفة إلى ٢٩-٣٠ MJ/m²/day، أدنى القيم في كانون الثاني وشباط (٧-٩ MJ/m²/day)، فيما يتضاعف الإشعاع تقريباً بين شهري كانون الثاني وتموز (بمقدار ~٢٣٠٪)، ويعود ليتراجع تدريجياً بعد سبتمبر، مما يعكس توازن الانتقال من الصيف الجاف إلى الخريف الرطب.

هذا النمط يتطابق مع منحنى حركة الشمس الظاهرية وكمية السحب الموسمية، وهو ما يُعرف في الدراسات المناخية باسم النمط السنوي ثنائي الأطراف للإشعاع الشمسي (Solar Radiation Bimodal Pattern).

٢. التباين السنوي للإشعاع الشمسي (١٩٩٤-٢٠٢٤)

يبين الجدول (٢) والشكل (٢) القيم السنوية للإشعاع الشمسي خلال مدة الدراسة، والتي تمثل المتوسط السنوي لكل عام، إذ أظهرت السلسلة الزمنية تقلبات سنوية ملحوظة ترتبط بعوامل مناخية وإقليمية، كازدياد العواصف الغبارية في بعض السنوات، أو ارتفاع الغطاء السحابي في مواسم معينة.

الجدول (٢)

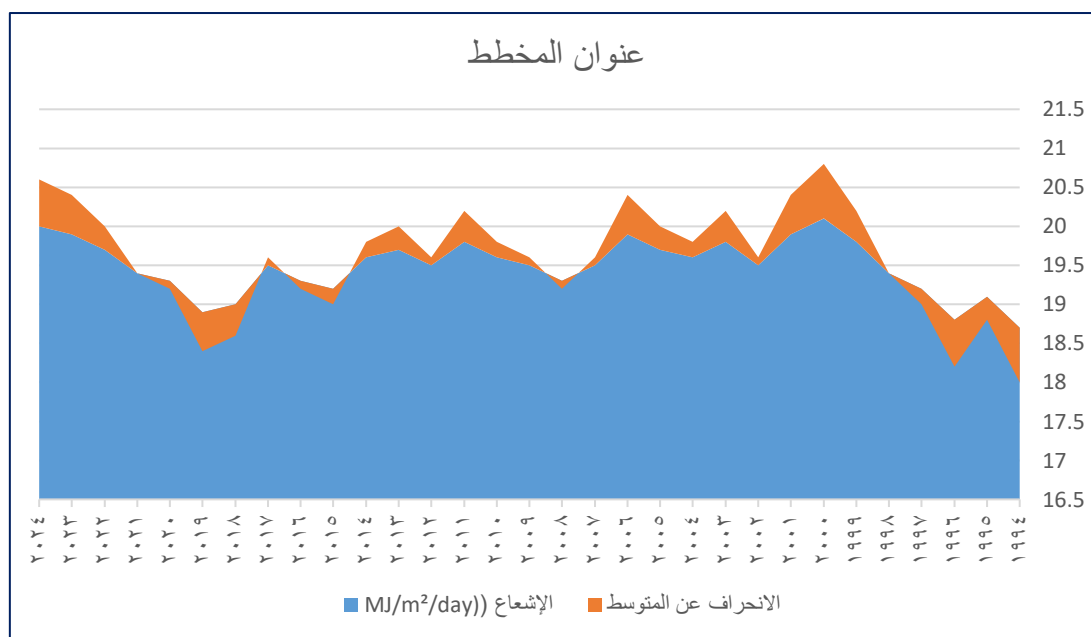
التغير السنوي في متوسط الإشعاع الشمسي في السلیمانية (١٩٩٤-٢٠٢٤)

الانحراف عن المتوسط	الإشعاع (MJ/m ² /day)	السنة
٠.٧ -	١٨.٧	١٩٩٤
٠.٣-	١٩.١	١٩٩٥
٠.٦-	١٨.٨	١٩٩٦
٠.٢-	١٩.٢	١٩٩٧
٠.٠	١٩.٤	١٩٩٨
٠.٣+	١٩.٨	١٩٩٩
٠.٦+	٢٠.١	٢٠٠٠
٠.٤+	١٩.٩	٢٠٠١
٠.١+	١٩.٥	٢٠٠٢
٠.٣+	١٩.٨	٢٠٠٣
٠.١+	١٩.٦	٢٠٠٤
٠.٢+	١٩.٧	٢٠٠٥
٠.٤+	١٩.٩	٢٠٠٦
٠.١+	١٩.٥	٢٠٠٧
٠.١-	١٩.٣	٢٠٠٨
٠.١+	١٩.٥	٢٠٠٩
٠.١+	١٩.٦	٢٠١٠
٠.٣+	١٩.٨	٢٠١١
٠.١+	١٩.٥	٢٠١٢
٠.٠+	١٩.٧	٢٠١٣
٠.١+	١٩.٦	٢٠١٤
٠.٢-	١٩.٢	٢٠١٥
٠.١-	١٩.٣	٢٠١٦
٠.١+	١٩.٥	٢٠١٧
٠.٤-	١٩.٠	٢٠١٨
٠.٥-	١٨.٩	٢٠١٩
٠.١-	١٩.٣	٢٠٢٠
-٠.٠٩	١٩.٤	٢٠٢١
٠.٢+	١٩.٧	٢٠٢٢
٠.٤+	١٩.٩	٢٠٢٣
٠.٥+	٢٠.٠	٢٠٢٤

المصدر: إعداد الباحثة بالاعتماد على NASA POWER، 2024.

الشكل (٢)

التغير السنوي في متوسط الإشعاع الشمسي في السليمانية (١٩٩٤-٢٠٢٤)



المصدر: إعداد الباحثة اعتماداً على جدول رقم (٢)

يتضح من التحليل أن مدينة السليمانية تتميز بتباين زمني واضح في الإشعاع الشمسي، فزمنياً، يسود نمط موسمي ثنائي القمة، بأعلى القيم في الصيف وأدناها في الشتاء، مع اتجاه عام للزيادة الطفيفة خلال العقود الثلاثة الأخيرة ($+0.021 \text{ MJ/m}^2/\text{year}$).

ولوضع صيغة ادق للنتائج فقد تم تطبيق اختبار Mann-Kendall لقياس الاتجاه العام للإشعاع الشمسي خلال مدة الدراسة (١٩٩٤-٢٠٢٤)، وقد أظهرت النتائج وجود اتجاه طفيف نحو الزيادة بمعدل $+0.021 \text{ MJ/m}^2/\text{year}$ (معنوي عند مستوى ٠.٠٥)، ووفقاً لطريقة Sen's slope، فإن معدل التغير السنوي بلغ:

$$Q = +0.021 \text{ MJ/m year}$$

وهذا يعني أن كمية الإشعاع الشمسي ازدادت خلال العقود الثلاثة الماضية بمقدار يقارب $0.65 \text{ MJ/m}^2/\text{day}$ عند المقارنة بين عامي ١٩٩٤ و ٢٠٢٤، وهو ما يتفق مع الاتجاه العام في مناطق الشرق الأوسط حيث قلت الغيوم المطرية خلال مواسم الانتقال وازدادت صفاء السماء في الصيف (IPCC, 2021).

٤. التفسير المناخي للتباين الزمني في السليمانية

مما تقد تُظهر نتائج البيانات المأخوذة من NASA POWER (GIS Grid $0.5^\circ \times 0.5^\circ$) أن قيم الإشعاع الشمسي يتباين زمنياً، يسود نمط موسمي ثنائي القمة، بأعلى القيم في الصيف وأدناها في الشتاء، وإذا ما تم مقارنة هذه النتائج مع البيانات المحلية المسجلة في محطة السليمانية فتلاحظ ان هنالك تشابه كبير جدا في النتائج، وكما موضح في الجدول (٣) الذي الاشعاع الشمسي الفعلي لمدينة السليمانية (١٩٩٤ - ٢٠٢٤)، اذ تميل المنطقة إلى زيادة فترات الجفاف الصيفي وشفاء الجو في المدة المدروسة، (خالد، ٢٠٢٤)، ما يرفع متوسط الإشعاع الشمسي العام بنحو (١-)

٢٪) لكل عقد، وهذا يتطابق مع نتائج المعادلات التي تطبيقها على البيانات العالمية NASA POWER إذ لعب دور الغطاء السحابي في فصل الشتاء دورا مهما في تقليل نسبة الاشعاع الشمسي الفعلي الواصل الى المدينة، حيث تتراوح نسب الغيوم في المنطقة بين (٣٠-٦٠٪) في الشتاء و(٥-١٥٪) في الصيف، ما يفسر الانخفاض الكبير في الإشعاع خلال ديسمبر ويناير، وارتفاعه في يونيو ويوليو، وساهمت العواصف الغبارية التي ازدادت في السنوات الأخيرة، خاصة بعد عام ٢٠٠٧، ما أدى إلى تقليل الإشعاع الشمسي المباشر وزيادة الانتثار، وهو ما انعكس في بعض الانخفاضات الطفيفة في الجدول (٢) (كما في الأعوام من ٢٠٠٧ - ٢٠١٣)، ولكن بشكل عام فان معدل ارتفاع الاشعاع الشمسي يسير باتجاه الزيادة وهو ما يتفق مع الاتجاه العام في نحو الزيادة في المنطقة بشكل عام بسبب قلة الغيوم المطرية خلال مواسم الانتقال وازدادت صفاء السماء في الصيف، واثار التغير المناخي التي تميل إلى زيادة فترات الجفاف الصيفي وصفاء الجو في العقود الأخيرة. (IPCC, 2021).

الجدول (٣) الاشعاع الشمسي الفعلي لمدينة السلیمانية (١٩٩٤ - ٢٠٢٤)

السنوات	كانون ٢	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	تموز	آب	أيلول	تشرين ١	تشرين ٢	كانون ١	المجموع	المعدل
1994	4.59	5.76	7.79	9.3	12.04	13.78	13.68	12.43	9.81	7	4.05	4.05	104.28	8.69
1995	4.82	6.23	8.34	8.65	11.23	13.13	13.46	12.45	9.88	7.72	5.38	4.55	105.84	8.82
1996	4.19	5.79	6.89	9.35	11.57	13.82	12.77	12.25	10.1	7.14	5.37	3.27	102.51	8.54
1997	4.75	6.46	7.26	9.95	11.3	13.25	13.42	12.4	10.15	6.86	4.65	4.04	104.49	8.71
1998	3.87	5.87	7.63	9.8	13.36	14.08	13.33	12.35	10.36	7.96	5.29	4.32	108.22	9.02
1999	4.81	6.34	8.47	10.68	12.38	13.81	13.06	11.6	10.17	7.73	5.11	4.37	108.53	9.04
2000	3.97	6.52	8.65	10	12.67	13.99	13.28	12.32	9.66	7.16	5.1	3.73	107.05	8.92
2001	4.12	5.14	7.88	9.25	11.18	13.49	12.65	11.56	9.57	6.9	4.81	3.18	99.73	8.31
2002	3.43	5.88	7.04	7.2	11.68	13.04	12.56	11.68	9.59	6.51	4.82	2.74	96.17	8.01
2003	3.96	4.15	6.27	8.17	11.35	12.96	12.51	11.62	9.8	6.94	4.68	3.47	95.88	7.99
2004	3.38	4.76	8.02	8.57	10.35	13.44	12.63	11.68	9.81	6.91	3.89	3.78	97.22	8.10
2005	3.8	5.05	7.36	9.42	10.89	12.92	12.36	11.32	9.75	6.98	4.96	4.11	98.92	8.24
2006	3.24	4.58	7.93	8.03	11.12	13.45	12.57	11.02	9.71	5.86	5.15	3.94	96.6	8.05
2007	4.13	4.85	6.94	7.18	9.96	12.93	12.11	11.09	9.83	6.9	5.25	3.83	95	7.92
2008	3.7	4.82	7.56	9.43	10.72	12.59	11.79	10.61	8.34	6.27	4.89	3.98	94.7	7.89
2009	4.43	4.78	6.22	8.04	10.4	11.12	11.54	11.07	8.73	6.78	4.32	3.16	90.59	7.55
2010	3.79	4.62	6.55	8.29	10.27	12.64	12.36	10.96	9.31	7.02	5.65	3.89	95.35	7.95
2011	3.49	4.7	7.74	7.64	10.28	12.67	11.75	11.25	9.17	6.67	4.7	4.07	94.13	7.84
2012	3.69	5.09	6.78	9.42	10.17	12.66	11.97	10.87	9.33	6.38	4.17	3.57	94.1	7.84
2013	3.57	5.3	7.45	9.25	9.6	12.89	12.29	11.11	9.44	7.3	4.24	3.43	95.87	7.99
2014	4.08	6.09	6.94	8.98	10.69	12.43	12.28	11.31	9.47	6.22	4.47	3.4	96.36	8.03
2015	3.93	5.31	7.14	9.56	10.56	12.73	12.22	11.21	8.97	5.77	4.5	3.6	95.5	7.96
2016	3.46	5.43	6.6	9.03	10.59	12.14	12.35	11.1	9.54	7.02	5.34	3.35	95.95	8.00
2017	4.12	5.67	6	9.02	11.51	13.21	12.07	11.31	9.14	6.91	4.43	4.08	97.47	8.12
2018	3.91	4.38	7.21	8.98	9.92	12.85	12.34	11.36	9.53	5.68	3.84	2.98	92.98	7.75
2019	3.67	5.04	5.8	8.33	11.38	13.12	12.85	11.04	9.68	6.65	5.3	3.34	96.2	8.02
2020	3.54	4.46	6.52	8.92	11.48	13.13	11.89	11.57	9.56	7.43	4.07	4.07	96.64	8.05
2021	4.28	5.82	7.17	9.88	11.66	13.01	12.4	11.07	9.71	7.06	4.97	3.67	100.7	8.39
2022	3.54	5.49	6.23	9.21	10.46	12.15	12.25	10.91	9.3	6.72	4.75	3.82	94.83	7.90
2023	3.9	5.64	6.47	9.18	10.56	12.32	12.26	10.65	9.44	6.3	4.43	3.84	94.99	7.92
2024	3.81	4.83	6.77	9.99	9.48	12.86	12.22	10.99	9.16	7.19	4.56	4.28	96.14	8.01

المصدر: جمهورية العراق، اقليم كردستان العراق، وزارة النقل، مديرية الأنواء الجوية والرصد الزلزالي، قسم - المائية والزراعية (سليمانية) بيانات لسنوات الدراسة غير منشورة .

الخاتمة

أولاً: الاستنتاجات

١. يتضح من نتائج هذا البحث أن الإشعاع الشمسي في مدينة السليمانية يتميز بتباين واضح زمنيًا نتيجة لتأثير مجموعة من العوامل الجغرافية والمناخية المتداخلة.
٢. على الصعيد الزمني، أظهرت السلسلة الزمنية الممتدة بين ١٩٩٤-٢٠٢٤ أن هناك اتجاهًا عامًا نحو الارتفاع الطفيف في المعدلات السنوية للإشعاع الشمسي بمقدار يقارب ٠.٠٢١ ميغا جول/م²/سنة، وهو ما يعكس تحسن صفاء الغلاف الجوي وانخفاض الرطوبة النسبية في السنوات الأخيرة.
٣. تؤكد هذه النتائج أهمية الإشعاع الشمسي كأحد الموارد الطبيعية المتجددة التي يمكن أن تسهم في تنوع مصادر الطاقة وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري في إقليم كردستان والعراق عمومًا.

ثانياً: التوصيات

١. إنشاء قاعدة بيانات مناخية محلية دقيقة للإشعاع الشمسي باستخدام محطات رصد أرضية وربطها بالبيانات الفضائية (NASA – Copernicus – ERA5) لزيادة موثوقية النماذج المناخية.
٢. تشجيع الاستثمار في الطاقة الشمسية ضمن سياسات التنمية المستدامة في محافظة السليمانية، مع إعطاء الأولوية للمناطق ذات الإشعاع الأعلى (الجنوبية والشرقية).
٣. دمج نتائج التحليل المكاني في التخطيط الحضري لتوجيه تصاميم الأبنية والواجهات بما يتناسب مع اتجاهات الإشعاع القصوى وتقليل استهلاك الطاقة.
٤. إجراء دراسات مقارنة بين الإشعاع الشمسي وأنواع الطاقات المتجددة الأخرى (كالرياح والحرارة الجوفية) لتحديد المزيج الأمثل للطاقة في الإقليم.
٥. متابعة أثر التغير المناخي على الإشعاع الشمسي مستقبلاً، من خلال تحليل سلاسل زمنية أطول (حتى ٢٠٥٠)، لتقدير التغيرات المحتملة في إنتاجية الطاقة الشمسية.

قائمة المصادر والمراجع

أولاً: المراجع العربية:

١. أحمد، حسين علي. (٢٠١٨). تحليل مكاني للعوامل المناخية المؤثرة في الطاقة الشمسية في العراق. مجلة جامعة بغداد للعلوم، ١٤(٢)، ٤٥-٦٣.
٢. التميمي، عبد الله يوسف. (٢٠٢٠). التغير المناخي في العراق: الاتجاهات والآثار البيئية. عمان: دار صفاء.
٣. الجاف، آرام محمد. (٢٠٢٢). التباين المكاني للعناصر المناخية في إقليم كردستان باستخدام نظم المعلومات الجغرافية. السليمانية: جامعة السليمانية.
٤. الحيدري، محمود عبد الأمير. (٢٠١٧). الطاقة الشمسية في العراق وإمكانات تطويرها. بغداد: وزارة العلوم والتكنولوجيا.
٥. السعدي، محمد عبد الكريم. (٢٠١٦). مناخ الوطن العربي: الخصائص والعوامل المؤثرة. بغداد: دار الحكمة للنشر.
٦. عبد الله، فاضل صالح. (٢٠١٩). تحليل الاتجاهات المناخية باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد. الموصل: دار ابن الأثير للطباعة والنشر.
٧. العلي، إسماعيل عابر. (٢٠٢٥). خصائص شبكة التصريف المائي في منطقة مخمور، مجلة آداب كركوك، المجلد (١) العدد (١)، جامعة كركوك، كلية الآداب.
٨. كريم، بشتيوان عمر. (٢٠٢٣). التحليل الزمني والمكاني للإشعاع الشمسي في محافظة السليمانية باستخدام بيانات الأقمار الصناعية. رسالة ماجستير غير منشورة، جامعة السليمانية.
٩. خالد، منال رأفت. (٢٠٢٤). العلاقة المكانية بين العوامل الجغرافية واستعمالات الارض الزراعية في قضاء زاخو، مجلة جامعة كركوك للدراسات الإنسانية المجلد (١٩) العدد الثاني- الجزء الثاني، جامعة كركوك، كلية التربية للعلوم الإنسانية.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

1. Allen, R. G. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome: FAO.
2. IPCC. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Cambridge University Press.
3. NASA POWER Data Access Viewer. (2024). National Aeronautics and Space Administration – Prediction of Worldwide Energy Resources (POWER) Project.
4. Stanhill, G., & Cohen, S. (2001). Global dimming: A review of the evidence for a widespread and significant reduction in global radiation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 107(4), 255–278.
5. Tuller, S. E. (2002). The relationship between cloud cover and solar radiation in Canada. *Theoretical and Applied Climatology*, 72(1–2), 81–91.