

التباين المكاني لميزان الطاقة وأثره في تدهور الغطاء النباتي وتكرار العواصف  
الغبارية في محافظة الأنبار: رؤية نحو بيئة مستدامة

م. م. نقيب عباس حماد هديب

[naq23h5007@uoanbar.edu.iq](mailto:naq23h5007@uoanbar.edu.iq)

وزارة التربية مديرية تربية الانبار

ا. د. نظير صبار حمد المحمدي

[ed.natheer.sbar@uoanbar.edu.iq](mailto:ed.natheer.sbar@uoanbar.edu.iq)

قسم الجغرافيا، كلية التربية للعلوم الإنسانية، جامعة الأنبار



***Spatial Variation of the Energy Balance and its Impact on Vegetation  
Degradation and Dust Storm Frequency in Anbar Governorate: A Vision  
Toward a Sustainable Environment***

*Asst. Lect. Naqeeb Abbas Hammad Hudaib*

*Ministry of Education, Directorate of Anbar Education, Iraq.*

*Prof. Dr. Natheer Sabbar Hamad Al-Muhammedi*

*Department of Geography, College of Education for Human Sciences, University of Anbar.*



## المستخلص

ينطلق هذا البحث من مقارنة جغرافية-فيزيائية لتحليل التباين المكاني والزمني في المنظومة التيرموديناميكية لمناخ محافظة الأنبار للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٤). ويهدف إلى إيجاد العلاقة السببية بين اضطراب ميزان الطاقة الإشعاعي والتدهور البيئي للغطاء النباتي، وصولاً إلى تفسير التزايد الملحوظ في تكرار العواصف الغبارية. اعتمدت الدراسة منهجية تكاملية زاوجت بين التحليل المناخي لسلاسل زمنية لسبع محطات رصد، وبين خوارزميات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) لاستخلاص مؤشر الاختلاف الخضري المُطبع (NDVI). كشفت المعالجات التحليلية عن تغير جذري في الموازنة الإشعاعية؛ حيث أدى الارتفاع الشديد في قيم الإشعاع الشمسي، مقترناً بالعجز المطري المطلق صيفاً، إلى تباين شديد في (نسبة بوبن)، مما حول الطاقة الواردة إلى تدفق حراري محسوس أسهم في إضعاف التماسك الميكانيكي للتربة. وأثبت التحليل المكاني لمؤشرات (NDVI) تراجعاً مساحياً حاداً، حيث صُنفت (٩٨.٤٪) من مساحة المحافظة ضمن فئة الأراضي (قليلة النبات) جداً لعام ٢٠٢٤. كما أثبت التحليل الإحصائي وجود علاقة ارتباط طردية قوية (+٠.٩١) بين هذا التراجع الحيوي والتطرف المتصاعد في الأيام الغبارية التي بلغت ذروتها في محطتي الرطبة والنخيب. واختتمت البحث بجملة من التوصيات للتخفيف من حدة هذا التدهور البيئي.

الكلمات المفتاحية: ميزان الطاقة، مؤشر NDVI، نسبة بوبن، العواصف الغبارية، محافظة الأنبار، التحليل المكاني

## Abstract

This research employs a spatial-physical approach to analyze the disruption in the thermodynamic system of the climate in Al-Anbar Governorate for the period (1980-2024). It aims to decode the causal relationship between the radiation energy balance disturbance and the ecological degradation of vegetation cover, ultimately explaining the exacerbation in dust storm frequencies. The study adopted an integrative methodology, combining climatic analysis of time series from seven meteorological stations with Remote Sensing algorithms to extract the Vegetation Index (NDVI) for the years 1994 and 2024. Analytical treatments revealed a structural shift in the radiation balance; the extremely high levels of solar radiation, combined with an absolute summer rainfall deficit, led to a disruption in the (Bowen Ratio). This converted the incoming energy into sensible heat, causing severe mechanical desiccation of the soil. The spatial analysis of (NDVI) proved a massive environmental degradation, with 98.4% of the lands transforming into "very sparsely vegetated" areas by 2024. Statistical correlation analysis confirmed a strong direct relationship (+0.91) between this vegetative degradation and the severe spike in dust storm frequencies, peaking in Al-Rutba and Al-Nukhaib stations. The study concluded with several sustainable recommendations to mitigate this environmental depletion.

Keywords: Energy Balance, NDVI, Bowen Ratio, Dust Storms, Al-Anbar, Spatial Analysis.

## بسم الله الرحمن الرحيم

### أولاً: المقدمة.

تظهر دراسة ميزان الطاقة الإشعاعي والحراري من الركائز الأساسية في علم المناخ التطبيقي، لا سيما في البيئات الجافة وشبه الجافة التي تتسم بهشاشة أنظمتها البيئية. وتشهد محافظة الأنبار، التي تُشكل مساحة شاسعة من الهضبة الغربية العراقية، تغيرات واضحة في خصائصها المناخية نتيجة التطرف المتصاعد في درجات الحرارة وتذبذب التساقط المطري (Al-Ansari, 2021). إن هذا التباين الشديد في المنظومة الثيرموديناميكية لا يقتصر تأثيره على الغلاف الغازي فحسب، بل يمتد ليحدث تدهوراً بيئياً واسع النطاق في الغطاء النباتي الطبيعي. ومع التراجع المساحي الحاد للمساحات الخضراء التي تعمل كمثبت طبيعي للتربة، برزت تداعيات بيئية شديدة الأثر تمثلت في التزايد الملحوظ لتكرار العواصف الغبارية، مما يشكل تحدياً بيئياً واقتصادياً يهدد التنمية المستدامة (المنظمة العالمية للأرصاد الجوية، ٢٠١٧). من هنا، جاءت هذه الدراسة لتوظيف التقنيات المكانية الحديثة لفهم هذه الديناميكية الجغرافية والمناخية. شكل (١): مخطط مفاهيمي يوضح مسار التأثير المتبادل بين اختلال ميزان الطاقة وتدهور الغطاء النباتي وتكرار العواصف الغبارية.



## ثانياً: مشكلة البحث (Research Problem)

تتبلور مشكلة البحث الأساسية في رصد وتحليل التداعيات البيئية الناتجة عن التباين المكاني لعناصر ميزان الطاقة في منطقة الدراسة. وبناءً على ذلك، يمكن صياغة المشكلة من خلال التساؤل الرئيس الآتي: ما أثر التباين المكاني والزمني لعناصر ميزان الطاقة في التدهور المساحي للغطاء النباتي وزيادة تكرار العواصف الغبارية في محافظة الأنبار؟ ويتفرع من هذا التساؤل جملة من التساؤلات الفرعية:

١. كيف انعكس الفائض الإشعاعي والعجز المطري صيفاً على الخصائص الحرارية للسطح وتعديل (نسبة بوين)؟
  ٢. ما هو حجم التدهور الفعلي في مساحة الغطاء النباتي في المحافظة بين عامي (١٩٩٤ و ٢٠٢٤) استناداً إلى تقنيات الاستشعار عن بعد (NDVI) ؟
  ٣. هل توجد علاقة ارتباطية إحصائية ذات دلالة بين هذا التراجع الحيوي والتباين المكاني في التكرار السنوي والفصلي للعواصف الغبارية؟
٣. فرضية البحث:

يفترض البحث أن التطرف المتصاعد في قيم الإشعاع الشمسي مقترناً بشح الأمطار، قد أدى إلى اضطراب في (نسبة بوين)، مما تسبب في تدهور بيئي حاد للغطاء النباتي. هذا التراجع المساحي عمل ك (متغير وسيط) أضعف التماسك الميكانيكي للتربة، مما أدى بالضرورة إلى ارتفاع معدلات تكرار العواصف الغبارية مكانياً وزمانياً في محطات منطقة الدراسة.

## رابعاً: أهداف البحث (Research Objectives)

١. تحليل الاتجاه العام لعناصر المناخ وميزان الطاقة لمحطات رصد في الأنبار للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٤).

٢. كشف التغير المكاني في كثافة ومساحة الغطاء النباتي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (NDVI).

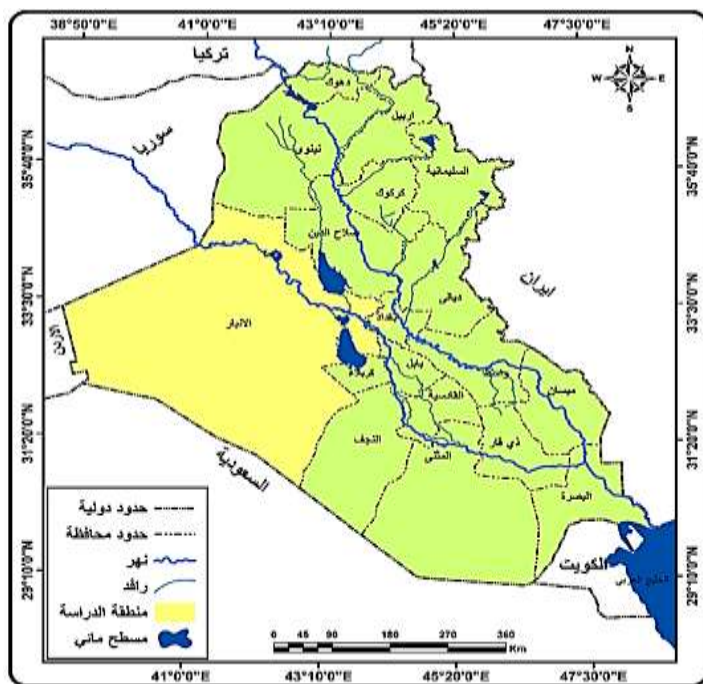
٣. تحديد التوزيع المكاني لتكرار الظواهر الغبارية وربطها بالبور المتصحرة وسرعة الرياح.

### خامساً: منهجية البحث ومصادر البيانات (Methodology & Data)

لتحقيق أهداف الدراسة، تم الاعتماد على منهجية فيزيائية-مكانية مدمجة:

١. **المنهج الكمي الفيزيائي**: عبر تطبيق معادلات الأنواء الزراعية (FAO-56) المعتمدة على قانون (ستيفان-بولتزمان) لاستخراج قيم الانبعاث الأرضي وميزان الطاقة (Allen et al., 1998)، وذلك لسبع محطات (الرمادي، حديثة، عنة، القائم، الرطبة، النخيب) لمدتين (١٩٨٠-١٩٩٤) و(٢٠١٠-٢٠٢٤)
٢. **المنهج المكاني التحليلي**: توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد لمعالجة مؤشر الاختلاف الخضري المُطبع (NDVI) كمعيار لتقييم الاستجابة الحيوية للسطح. ولضمان دقة المقارنة الزمانية والمكانية بين مرئيات القمرين (Landsat 5 TM) لعام ١٩٩٤ و (Landsat 8 OLI) لعام ٢٠٢٤، أُخضعت المرئيات لعمليات التصحيح الراديومتري والجوي (Radiometric and Atmospheric Correction). يهدف هذا الإجراء المنهجي إلى إزالة التشوهات الجوية وتوحيد قيم الانعكاسية السطحية، مما يضمن موثوقية عالية في استخراج قيم المؤشر.

## خريطة (١) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر: جمهورية العراق، وزارة المورد المائية، مديرية المساحة العامة، خريطة العراق والانباء ٢٠١٩، مقياس، ١:١٠٠٠.٠٠٠، مخرجات برنامج (Arc GIS.10.4) المبحث الأول: التباين المكاني لميزان الطاقة الإشعاعي والحراري.

ان ميزان الطاقة المحرك الأساسي للعمليات المناخية على سطح الأرض، حيث يحكم العلاقة بين الإشعاع الممتص والمنبعث (Ghanem, 2010)، وهو ما يؤثر مباشرة على استقرار الطبقة المتاخمة للغلاف الجوي (Hartmann, 2015). وفي هذا السياق، يتبين ان الإشعاع الشمسي المحرك الأساسي للمنظومة المناخية والمسؤول الأول عن تحديد الخصائص التيرموديناميكية لسطح الأرض. وفي بيئة محافظة الأنبار، التي تتسم بصفاء السماء لغالبية أيام السنة، تستقبل المحطات قيماً مرتفعة جداً ولأجل فهم مسببات التدهور البيئي في منطقة الدراسة، لابد من التدرج في تحليل

العناصر الفيزيائية والمناخية عبر المستويات الآتية لمقارنة التغير الحاصل بين الدورتين المناخيتين:

### ١. الاتجاه العام للتساقط المطري (العجز في الرطوبة):

تخضع منطقة الدراسة لسيطرة المنظومات الضغطية شبه المدارية التي تتسم بالاستقرار والجفاف. وقد أظهر تحليل السلاسل الزمنية للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٤) تراجعاً مستمراً في كميات الأمطار الساقطة عبر الدورات المناخية، وصولاً إلى تسجيل عجز مطري قاسٍ بلغ معدله السنوي (-٢٨.٤٪). رافق هذا العجز انزياح واضح في خطوط المطر الموثوقة (Al-Timimi & Baktash, 2024)، مما أدى إلى تعميق حالة "القحولة" وتجفيف التربة بشكل غير مسبوق، ليمهد الطريق لاختلال الموازنة الحرارية كما يتضح في الجدول (١).

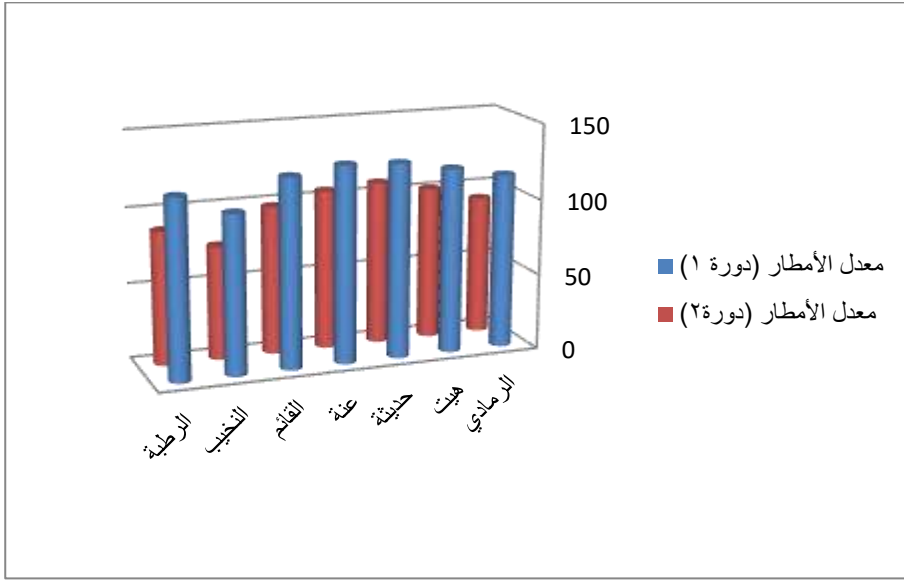
### جدول (١): المعدلات السنوية للأمطار ومقدار العجز المطري ملم لمحطات

#### محافظة الأنبار للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٤)

المحطة	معدل الأمطار (دورة ١)	معدل الأمطار (دورة ٢)	نسبة العجز المطري (%)
الرمادي	115.6	92.1	-20.30%
هيت	122.3	101.4	-17.10%
حديثة	128.5	108.2	-15.80%
عنة	130.1	105.5	-18.90%
القائم	125.4	98.2	-21.60%
النخيب	105.2	75.3	-28.40%
الرطوبة	118.5	88.4	-25.40%

المصدر: جمهورية العراق، الهيئة العامة للأمناء الجوية والرصد الزلزالي العراقي، قسم المناخ، بيانات غير منشورة.

## الشكل (٢) انخفاض كميات الأمطار ومقدار العجز المطري ملم.



المصدر بالاعتماد على جدول (١).

ولاجل استخراج نسبة (العجز المطري) وتحديد مقدار التغير الحاصل في كميات الهطول بين الدورة المناخية الأولى (دورة الأساس) والدورة المناخية الثالثة، تم الاعتماد على الأسلوب الإحصائي المتمثل بمعادلة (معدل التغير المئوي). وتقوم هذه المعادلة على استخراج الفارق الفعلي بين معدل أمطار الدورة الحديثة والقديمة، ثم قسمته على معدل أمطار الدورة القديمة وضرب الناتج في مائة (شحادة، ١٩٩٧، ص ٤٥). وتُعد هذه الطريقة المنهج القياسي المعتمد في الدراسات المناخية لتحديد الشذوذ المطري وبيان مدى قساوة الجفاف وتأثيره على تفاعم ظاهرة التصحر. (WMO, 2017)

## ٢. الإشعاع الشمسي الكلي: (Incoming Shortwave Radiation) المُحفز

الثاني.

يُمثل الإشعاع الشمسي كمية الطاقة التي تستقبلها الأرض. بمقارنة بيانات الدورتين، يُلاحظ وجود تزايد واضح في كميات الإشعاع الشمسي الواصل لمحطات محافظة الأنبار.

جدول (٢): مقارنة المعدلات السنوية للإشعاع الشمسي الكلي الفعلي (Rs) بوحدة (ملي واط / سم<sup>٢</sup> / الساعة)

المحطة	الدورة الأولى (١٩٩٤-١٩٨٠)	الدورة الثانية (٢٠٢٤-٢٠١٠)	مقدار التغير (الزيادة)
الرمادي	20.6	20.95	0.35
حديثة	20.72	21.18	0.46
عنه	20.6	20.95	0.35
القائم	20.49	20.83	0.34
الرطوبة	21.76	22.45	0.69
النخيب	21.53	22.45	0.92

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات مشروع وكالة الفضاء الأمريكية للموارد المتروولوجية NASA POWER Project، باستخدام إحداثيات محطات منطقة الدراسة، وتم تحويل وحدات القياس إلى ملي واط/سم<sup>٢</sup>/ساعة. يظهر الجدول (٢) إلى اتجاه تصاعدي حاد في استقبال الطاقة، لا سيما في النخيب والرطوبة. هذا التزايد يعود إلى قلة الغيوم وضاء الجو وطول ساعات السطوع، مما جعل السطح يتلقى كميات طاقة هائلة دون مشتتات.

### ٣. الإشعاع الأرضي طويل الموجة (الاستجابة الحرارية الكارثية

بما أن التربة تفتقر للرطوبة التي تستهلك هذه الطاقة في التبخر نتيجة انزياح خطوط المطر الموثوقة التي أثبتتها في الجدول الأول، فقد استجابت التربة برفع درجة حرارتها السطحية، لتبدأ ببث طاقة حرارية هائلة نحو الغلاف الجوي.

جدول (٣): مقارنة المعدلات السنوية لصافي الإشعاع الأرضي (Rnl) بوحدة (ملي

واط / سم<sup>٢</sup> / الساعة)

المحطة	الدورة الأولى (١٩٨٠-١٩٩٤)	الدورة الثانية (٢٠١٠-٢٠٢٤)	مقدار التغير (الزيادة)
الرمادي	6.37	07.06	0.69
حديثة	6.6	7.41	0.81
عنه	6.37	7.18	0.81
القائم	6.48	7.18	0.69
الرطوبة	6.94	7.87	0.93
النخب	7.52	8.56	01.04

المصدر: عمل الباحث استناداً إلى تطبيق معادلة FAO-56، انظر: Allen et al., 1998.

### ٤. المحصلة النهائية واختلال نسبة بوين (Bowen Ratio)

لغرض استخراج قيم ميزان الطاقة على سطح الأرض، تم الاعتماد على المعادلة المناخية والفيزيائية القياسية: (Allen et al., 1998, p. 42) صافي ميزان الطاقة.

$$R_n = (0.77 \times R_s) - R_{nl}$$

(حيث يمثل  $R_n$  صافي ميزان الطاقة، و  $R_s$  الإشعاع الشمسي، و  $R_{nl}$  الإشعاع الأرضي).

جدول (٤): مقارنة المعدلات السنوية لصافي ميزان الطاقة (Rn) بوحدة (ملي واط/سم<sup>٢</sup>/الساعة)

المحطة	الدورة الأولى (١٩٩٤-١٩٨٠)	الدورة الثانية (٢٠٢٤-٢٠١٠)	مقدار التغير (نقصان)
الرمادي	9.49	09.06	-0.43
حديثة	9.35	8.9	-0.45
عنه	9.49	8.95	-0.54
القائم	9.28	8.87	-0.42
الرطوبة	9.8	9.41	-0.39
النخيب	09.05	8.72	-0.34

المصدر: عمل الباحث بالاعتماد على الجدولين ٢ و ٣.

أما آلية الاحترار فتبرز هنا من خلال تناقض ظاهري؛ كيف يزداد الإشعاع الشمسي وينخفض ميزان الطاقة الصافي؟ الإجابة تكمن في آلية فيزيائية معقدة تُفسر التطرف المناخي في المحافظة، وتتمثل في: التباين المكاني لنسبة بوين (Bowen Ratio) وتأثيرها البيئي: لفهم التداعيات البيئية لهذا الفائض الإشعاعي، لا بد من تحليل كيفية تصريف هذه الطاقة عند وصولها إلى سطح الأرض. وهنا تُعد نسبة بوين (B) مؤشراً ثيرموديناميكياً حاسماً لفهم كيفية توزيع الطاقة المتاحة. وتُحسب هذه النسبة رياضياً من خلال إيجاد حاصل قسمة التدفق الحراري المحسوس ( $Q_H$ ) على التدفق الحراري الكامن ( $Q_E$ ) المرتبط بعمليات التبخر والنتح (Oke, 1987)، وذلك وفق الصيغة الآتية:

$$B=Q_H/Q_E$$

حيث تمثل ( $Q_H$ ) كمية الطاقة المستهلكة في تسخين الهواء وملامسة السطح، بينما تمثل ( $Q_E$ ) الطاقة المستهلكة في تبخير المياه من التربة والنبات. ونظراً للطبيعة المناخية لمنطقة الدراسة، حيث تنعدم المجاميع المطرية خلال فصل الصيف وتفتقر التربة للرطوبة الكافية، فإن قيمة المقام المتمثلة بالطاقة الكامنة ( $Q_E$ ) تقترب من الصفر. هذا التباين الشديد يؤدي إلى ارتفاع حاد في قيمة نسبة بوين (B) ،

مما يعني فيزيائياً ورياضياً أن الغالبية العظمى من الإشعاع الشمسي الصافي تتحول مباشرة إلى تدفق حراري محسوس ( $Q_H$ ) ترفع من درجة حرارة الهواء الملامس للسطح (Brutsaert, 2005; شريف، ٢٠٢١) وتعكس نسبة بوين (Bowen Ratio) التوازن بين الحرارة المحسوسة والكامنة؛ فكلما ارتفعت هذه النسبة دل ذلك على سيادة الجفاف الميكانيكي في التربة (Bowen, 1926)، وهو ما يفسر تحول الطاقة الإشعاعية إلى تسخين مباشر للهواء فوق المناطق الصحراوية (Stull, 1988).

إن هذا التدفق الحراري العالي يعمل على رفع درجة حرارة السطح بشكل متطرف، مما يؤدي إلى تجفيف الطبقة السطحية للتربة، وإضعاف التماسك الميكانيكي لذراتها، وتهيتها لعمليات التذرية الريحية (Aeolian processes)، وهو ما يُفسر البداية الفعلية لتدهور الغطاء النباتي وتنشيط العواصف الغبارية (Shao, 2008; Goudie & Middleton, 2006).

**تأثير المشتتات والغازات:** تشير الزيادة المستمرة في الانبعاث الأرضي إلى دور الغبار العالق في حبس "الإشعاع طويل الموجة" وإعادة إشعاعه نحو السطح، مما يعزز من ظاهرة الاحترار الموضعي للطبقة المتاخمة لسطح الأرض (Kok et al., 2012; Wallace & Hobbs, 2006)

## المبحث الثاني: الانهيار الإيكولوجي للغطاء النباتي (تحليل NDVI) وانعكاساته

### الجيومورفولوجية

يُعد الغطاء النباتي بمثابة "صمام الأمان" للثيرموديناميكي الذي يوازن التبادل للطاقة بين سطح الأرض والغلاف الجوي. فهو يعمل على تشتيت طاقة الرياح (زيادة خشونة الإيروديناميكية السطحية)، واستهلاك الإشعاع الشمسي في عملية البناء الضوئي والنتج. ولغرض الوقوف على حجم الاستجابة البيئية للتطرف الإشعاعي والمطري في محافظة الأنبار، تم توظيف تقنيات الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) عبر تحليل السلاسل الزمنية لمريثيات القمر الصناعي (Landsat 8) واستخلاص مؤشر الاختلاف الخضري الطبيعي (NDVI) لعامي (١٩٩٤ و ٢٠٢٤). حيث تم استخدام مؤشر (NDVI) لقدرته العالية على تمييز الكثافة النباتية من خلال المقارنة بين نطاقات الأشعة الحمراء وتحت الحمراء (Tucker, 1979). وتعد تقنيات الاستشعار عن بعد الوسيلة الأفضل لمراقبة التغيرات البيئية واسعة النطاق في المناطق الجافة (Lillesand et al., 2015)، وهو ما أتاح تتبع التدهور النباتي في محافظة الأنبار بدقة (الدليمي، ٢٠١٣).

### أولاً: الهشاشة الشتوية (مرحلة الإخفاق للرطوبة والتأسيس الحيوي)

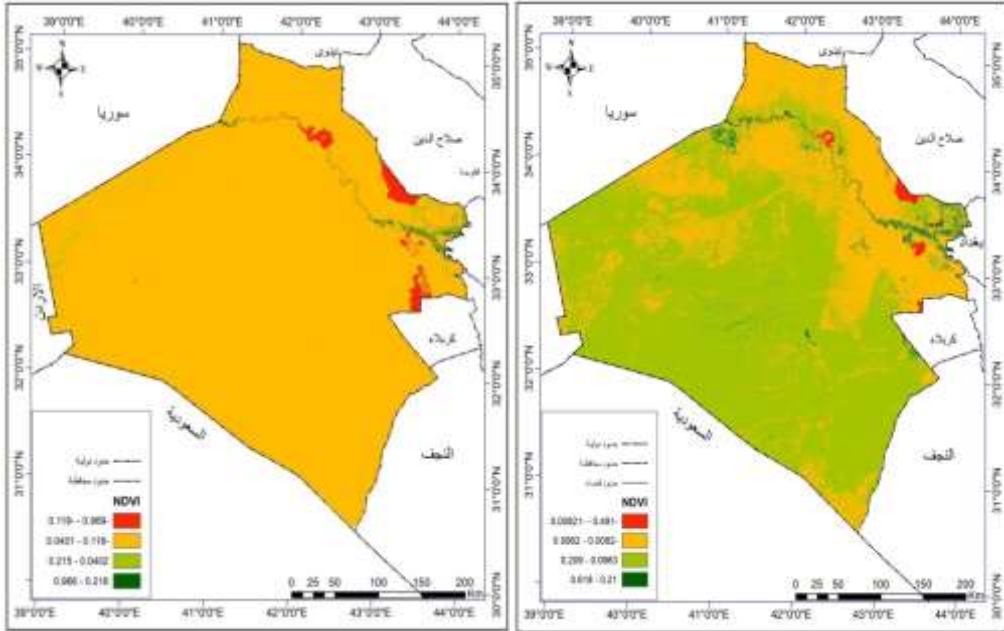
يُمثل فصل الشتاء في الأقاليم الجافة وشبه الجافة "موسم الشحن للرطوبة (Soil Moisture Recharge) الذي تعتمد عليه التربة لبناء مصداتها النباتية وتنشيط (بنك البذور) الكامن فيها. إلا أن القراءة التحليلية لمؤشرات الغطاء النباتي شتاءً، تكشف عن حالة من الصدمة البيئية العميقة والهشاشة المفرطة جدول (٥).

جدول (٥) تباين الزماني والمكاني لمؤشرات الغطاء النباتي (NDVI) لشتاء عامي (١٩٩٤ - ٢٠٢٤)

النسبة (%)	المساحة (كم <sup>2</sup> ) شتاء ٢٠٢٤	النسبة (%)	المساحة (كم <sup>2</sup> ) شتاء ١٩٩٤	الصف
٢٠.٢٤	٢٠٢٤	١٩٩٤	١٩٩٤	عديمة النبات
0.59	811	1.43	1.975	قليلة النبات جداً
31.81	43.838	47.65	65.671	قليلة النبات
66.28	91.339	50.2	69.182	متوسطة النبات
1.32	1.82	0.71	980	المجموع
100%	137.808	100%	137.808	

المصدر: مرئية فضائية (LandSat .8) بدقة ٣٠ متر مربع لسنة ٢٠٢٤ ومعالجتها باستخدام برنامج Arc Map 10.8(G.I.S).

خريطة (٢): دليل الفرق الطبيعي للغطاء النباتي(NDVI) لشتاء عام ١٩٩٤-٢٠٢٤



المصدر: مرئية فضائية (LandSat 8-5) بدقة ٣٠ متر مربع لسنة ٢٠٢٤-١٩٩٤ ومعالجتها باستخدام برنامج Arc Map 10.8(G.I.S).

التحليل الإيكولوجي: رغم التذبذب الطبيعي في مساحات الفئات النباتية بين عامي ١٩٩٤ و ٢٠٢٤، ظلت السيطرة المطلقة للفئات الهزيلة؛ إذ تركز الغطاء النباتي في شتاء عام ٢٠٢٤ ضمن فئتي (قليلة النبات) و(قليلة النبات جداً) بنسب بلغت (٦٦.٢٨٪) و(٣١.٨١٪) على التوالي.

تُشير هذه المؤشرات بوضوح إلى أن العجز المطري المتراكم، والمقترن بارتفاع الإشعاع الأرضي المفقود، قد سلب التربة قدرتها على الاحتفاظ بـ (الطاقة الكامنة). هذا الخلل منع وصول التربة إلى "السعة الحقلية" اللازمة لإنبات البذور، مما حال دون تشكيل غطاء نباتي جذري قادر على تثبيت المفترات السطحية، تعد الطريق لانهايار بيئي شامل مع دخول الموسم الجاف (شريف، ٢٠٢١).

### ثانياً: الانهيار الصيفي الشامل واختلال "نسبة بوين" (Bowen Ratio)

تتجلى الانعكاسات الكارثية للتغير المناخي بوضوح تام في فصل الصيف، حيث تتصافر قسوة الإشعاع الشمسي العمودي مع الانعدام التام للرطوبة جدول (٦).

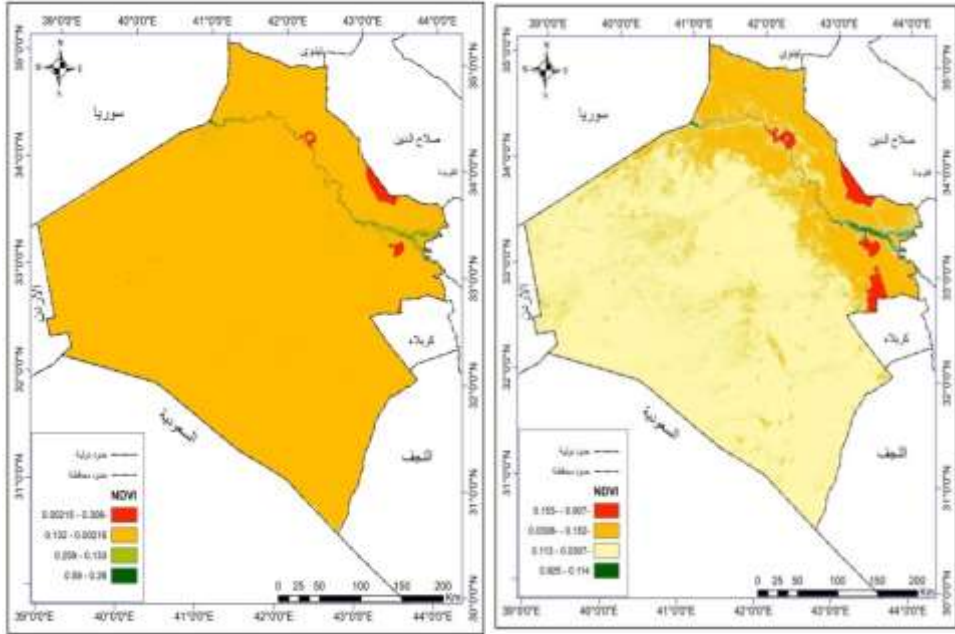
جدول (٦) تباين الزماني والمكاني لمؤشرات الغطاء النباتي (NDVI) لصيف عامي (١٩٩٤ - ٢٠٢٤)

النسبة (%) ٢٠٢٤	المساحة (كم <sup>2</sup> ) ٢٠٢٤	النسبة (%) ١٩٩٤	المساحة (كم <sup>2</sup> ) ١٩٩٤	الصف
0.7	964	1.64	2.262	عديمة النبات
98.4	135.598	97.64	134.558	قليلة النبات جداً
0.7	917	0.48	655	قليلة النبات
0.2	330	0.24	334	متوسطة النبات
100%	137.808	100%	137.808	المجموع

المصدر: مرئية فضائية (8. LandSat) بدقة ٣٠ متر مربع لسنة ١٩٩٤-

٢٠٢٤ ومعالجتها باستخدام برنامج Arc Map 10.8(G.I.S)

خريطة (٣): دليل الفرق الطبيعي للغطاء النباتي (NDVI) لصيف عام ١٩٩٤-



المصدر: مرئية فضائية (LandSat 8-5) بدقة ٣٠ متر مربع لسنة ٢٠٢٤-١٩٩٤ ومعالجتها باستخدام برنامج (Arc Map 10.8(G.I.S).

### التحليل الفيزيائي والجيومورفولوجي:

تشير مخرجات التحليل المكاني لصيف عام ٢٠٢٤ إلى سيطرة كاسحة لفئة الأراضي (قليلة النبات جداً والجرداء)، والتي ابتلعت مساحة هائلة بلغت (١٣٥,٥٩٨ كم<sup>2</sup>)، لتمثل ما نسبته (٩٨.٤%) من إجمالي مساحة منطقة الدراسة، مسجلة تراجعاً حيوياً غير مسبق.

تُفسر هذه الظاهرة الجيومكانية استناداً إلى آلية فيزيائية خطيرة تُعرف بـ (حلقة التغذية الاسترجاعية الموجبة - Positive Feedback Loop). ففي ظل غياب الرطوبة السطحية الشتوية، فإن الفائض الهائل في كميات الإشعاع الشمسي الواصل صيفاً لم

يجد وسيطاً مائياً ليُستنزف في عملية التبخر-نتح (Latent Heat). ونتيجة لذلك، تحولت هذه الطاقة بالكامل إلى "طاقة حرارية محسوسة" (Sensible Heat). هذا الاختلال الجذري في (نسبة بوين) لم يكتفِ باحتراق ما تبقى من شجيرات رعوية متناثرة، بل أحدث جفافاً ميكانيكياً (Mechanical Desiccation) حاداً في الطبقة السطحية للتربة، مما أدى إلى حرق المادة العضوية اللاحمة (Humus)، وتفكيك الروابط الحبيبية، وتدمير البنية النسيجية للتربة بالكامل، محولاً إياها إلى طبقة هشّة ومسحوقة جاهزة للتطاير.

**التحليل الإحصائي لاختبار فرضية البحث:** لغرض الانتقال بالبحث من التحليل الوصفي والمكاني إلى التحليل الكمي الدقيق، واختبار مدى قوة العلاقة وارتباطها بين (ميزان الطاقة، تدهور الغطاء النباتي، وتكرار الغبار)، تم الاعتماد على مقياس المعلمة الإحصائية (معامل ارتباط بيرسون Pearson Correlation Coefficient).

ويعتبر هذا الاختبار المعياري الأنسب لتحليل العلاقات المكانية في الدراسات الجغرافية الكمية (Rogerson, 2014)، لضمان الدقة في استخراج النتائج الإحصائية (أبو صالح و عوض، ٢٠١٥)

أولاً: **طريقة الحساب (Calculation Method)** تم حساب قيم الارتباط برمجياً بالاستناد إلى الصيغة الرياضية الآتية لمعامل بيرسون:

$$r = [\Sigma(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})] / [\sqrt{\Sigma(x_i - \bar{x})^2 \Sigma(y_i - \bar{y})^2}]$$

- $\Sigma$ : رمز "سيجما" ويشير إلى المجموع (Summation).
- $x_i$ : تمثل القيم الفردية للمتغير المستقل (أو الأول) في العينة.
- $y_i$ : تمثل القيم الفردية للمتغير التابع (أو الثاني) في العينة.

- $\bar{x}$ : (تُنطق X-bar) تمثل المتوسط الحسابي لقيم المتغير  $X$ .
- $\bar{y}$ : (تُنطق Y-bar) تمثل المتوسط الحسابي لقيم المتغير  $Y$ .
- $(x_i - \bar{x})$ : يمثل انحراف كل قيمة من قيم  $X$  عن متوسطها الحسابي.
- $(y_i - \bar{y})$ : يمثل انحراف كل قيمة من قيم  $Y$  عن متوسطها الحسابي.
- $\sum (x_i - \bar{x})^2$ : مجموع مربعات انحرافات قيم  $X$  عن متوسطها (مرتبط بالتباين).
- $\sum (y_i - \bar{y})^2$ : مجموع مربعات انحرافات قيم  $Y$  عن متوسطها.

ثانياً: نتائج التحليل الإحصائي .

بعد إخضاع السلاسل الزمنية والبيانات المكانية المستخرجة من الجداول السابقة للمعالجة الإحصائية عند مستوى دلالة  $(a \leq 0.05)$  جاءت النتائج لتؤكد الفرضية بشكل قاطع، وكما هو موضح في الجدول (٧) الآتي:

جدول (7) مصفوفة الارتباط الإحصائي (Pearson) بين متغيرات الدراسة.

المتغير المستقل (x)	المتغير التابع (y)	قيمة الارتباط (r) اط	اتجاه وقوة العلاقة	التفسير الجغرافي والبيئي
معدلات الإشعاع الشمسي (الفائض الطاقي)	مؤشر الغطاء النباتي (NDVI)	-0.87	عكسية قوية جداً	كلما ارتفع الإشعاع الشمسي وتحول إلى حرارة محسوسة، تراجعت مساحة الغطاء النباتي بشكل حاد نتيجة الجفاف.
مساحة الأراضي المتدهورة (NDVI)	التكرار السنوي للعواصف الغبارية	0.91	طردية قوية جداً	كلما اتسعت رقعة الأراضي الجرداء والمفككة، ارتفع عدد الأيام الغبارية بشكل مباشر (خاصة في النخيب والرطبة).

المصدر: من عمل الباحث بالاعتماد على مخرجات التحليل الإحصائي للبيانات المكانية والمناخية.

الاستنتاج الإحصائي: يُثبت الجدول أعلاه، رياضياً، أن التراجع المساحي للغطاء النباتي عمل كـ "متغير وسيط (Mediator Variable)"؛ حيث استقبل التأثير المتطرف لميزان الطاقة (علاقة عكسية)، وترجمه مكانياً إلى بيئة هشة سهلة التذرية، مما رفع من معدلات التكرار الغباري (علاقة طردية).

### المبحث الثالث: الاستجابة الجيومورفولوجية وتحفيز الغبار .

إن الطبيعة لا تقبل الفراغ في الطاقة؛ فالانكشاف السطحي وتحول (٩٨.٤%) من مساحة الهضبة الغربية إلى أراضٍ جرداء ومفككة حرارياً، يمثل التفسير العلمي والمكاني الأدق للارتفاع الشاذ في تكرار العواصف الغبارية الموثق في الجدول (٥) وشكل (٣). عندما يغيب الغطاء النباتي، تتعدم (الخشونة الديناميكية - Aerodynamic Roughness) لسطح الأرض، مما يسمح للرياح بالمرور بسرعات ملامسة لسطح دون أي احتكاك يعيقها.

### 1. التباين المكاني (بؤر التصدير الغبار)

اظهرت البيانات أن الأجزاء الغربية والجنوبية الغربية من المحافظة قد تحولت من مجرد أراضٍ صحراوية إلى "بؤر نشطة للتذرية الريحية (Deflation) والتصدير الغباري. وقد تصدرت محطات (الرطوبة) و(النخيب) المشهد البيئي المتدهور كأكثر بؤرتين لتصدير العواصف؛ إذ سجلتا أعلى معدلات سنوية للعواصف الغبارية بواقع (27.9) و(٢٣.٣) يوماً في السنة على التوالي، تلتهما محطة (القائم) بـ (21.0) يوماً. يعود هذا التركيز المكاني إلى كون هذه المحطات تمثل حافة الهضبة المفتوحة والأكثر تعرضاً للإشعاع الشمسي، والأسرع استجابة لفقدان الغطاء النباتي وتفكك التربة.

2. التباين الزمني (الديناميكية الفصلية). يشير التحليل الفصلي في الجدول (٨) ارتباطاً وثيقاً بين ذروة الاضطراب وتكرار الغبار. اذ احتل فصل الربيع المرتبة الأولى بمعدل عام بلغ (٨.٧) يوماً، يليه فصل الصيف بـ (٧.٩) يوماً، ويرجع هذا التركيز الربيعي والصيفي إلى "عدم الاستقرار الحراري" (Thermal Instability)؛ ففي فصل الربيع، يبدأ سطح الأرض باكتساب إشعاع شمسي مكثف مع استمرار مرور الكتل الهوائية الباردة في

التباين المكاني لميزان الطاقة وأثره في تدهور الغطاء النباتي وتكرار العواصف الغبارية في محافظة الأنبار: رؤية نحو بيئة مستدامة

جدول رقم (٨) التكرار الفصلي والسنوي لأيام الظواهر الغبارية (العالق، المتصاعد، والعواصف) في

محطات منطقة الدراسة للمدة (١٩٨٠-٢٠٢٤)

المحطة	أيلول	١	٢	معدل الخريف	١	٢	٣	معدل الشتاء	آذار	نيسان	مايو	معدل الربيع	أيار	حزيران	تموز	آب	معدل الصيف	المعدل السنوي
الرمادي	4.9	3.5	2.9	11.3	2.9	3.5	4.4	12.9	8.1	9.7	11.7	29.5	8.9	8.9	9.5	7.9	26.3	80
هيت	5.6	4	3.2	12.8	3.2	4	4.6	13.8	8.5	10.5	12.5	31.5	9.6	9.6	10.2	8.7	28.5	86.6
حديثة	5.6	4	3.2	12.8	3.2	4	4.8	14.2	8.8	10.8	12.5	32.1	9.8	9.8	10.5	8.7	29	88.1
علة	5.6	4	3.3	12.9	3.3	4	5	14.7	9.1	11	13.3	33.4	10	10	10.8	9	29.8	90.8
القائم	6.8	4.7	4	15.5	4	4.7	6	17.6	10.8	13.1	15.6	39.5	11.7	11.7	12.5	10.7	34.9	107.5
النخيب	7.3	5.1	4.2	16.6	4.2	5.1	6.2	18.4	11.2	13.8	16.5	41.5	12.3	12.3	13.1	11.1	36.5	113
الرطبة	7.2	5	4.3	16.5	4.3	5	6.4	18.8	11.5	13.9	16.7	42.1	12.5	12.5	13.3	11.3	37.1	114.5
المحل العام	6.1	4.3	3.6	14.1	3.6	4.3	5.3	15.8	9.7	11.8	14.1	35.7	10.7	10.7	11.4	9.6	31.7	97.2

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على بيانات الهيئة العامة للأنواء الجوية والرصد

الزلزالي، قسم المناخ.

## الخاتمة والاستنتاجات (Conclusions)

١. يمر مناخ الهضبة الغربية (محافظة الأنبار) بتحول ديناميكي خطير، يتمثل في تزايد الإشعاع الشمسي المكتسب يقابله ارتفاع حاد وملحوظ في الانبعاث الأرضي الحراري المفقود (بزيادة بلغت ١٣.٨٪ في محطة النخيب).
٢. أدى التزامن بين الفائض الحراري والعجز المطري المستمر (الذي بلغ - ٢٨.٤٪ في النخيب) إلى توجيه ميزان الطاقة نحو بناء "الحرارة المحسوسة" بدلاً من "الطاقة الكامنة"، مما أنتج جفافاً ميكانيكياً وفسولوجياً قاسياً للتربة.
٣. انعكس هذا الشذوذ المناخي في صدمة إيكولوجية، تجسدت في الانهيار الشامل للغطاء النباتي (وفقاً لمؤشر NDVI)، لتستحوذ الأراضي الجرداء وقليلة النباتات جداً على مساحة هائلة بلغت (٩٨.٤٪) من مساحة المحافظة في فصل الصيف.
٤. أثبت التحليل الجيومكاني أن الخلل الإشعاعي والتجريد النباتي هما المحركان الفعليان لانعدام الخشونة الإيروديناميكية للسطح، مما حول الأجزاء الغربية والجنوبية الغربية إلى بؤر إقليمية نشطة لتصدير العواصف الغبارية، بمعدلات سنوية مرتفعة سجلت أقصاها في محطتي الرطوبة (٢٤.٣ يوماً) والنخيب (٢٣.٣ يوماً) (يقصد به العواصف الغبارية الشديدة فقط وليس إجمالي الظواهر).

## التوصيات والرؤية المستقبلية (Recommendations)

١. دمج خرائط "ميزان الطاقة الإشعاعي" كمتغير أساس في نظم الإنذار المبكر الوطنية للتنبؤ بموجات الجفاف والتصحر قبل وقوعها.
٢. استثمار مخرجات هذا البحث لتغذية خوارزميات الذكاء الاصطناعي (AI) والنماذج التنبؤية (Machine Learning) لإنشاء محاكاة دقيقة لمسارات العواصف الغبارية وعلاقتها بالشذوذ الحراري للسطح.

٣. الانتقال من حلول "التشجير التقليدي" إلى مفاهيم "الهندسة البيئية"، وذلك عبر تخطيط أحزمة خضراء حول بؤر الانبعاث الإشعاعي المرتفع (كالنخيب والرطبة) باستخدام أنواع نباتية تتحمل الإجهاد الحراري العالي، بهدف زيادة خشونة السطحية وتعديل (نسبة بوبين) للسطح.

### قائمة مصادر الهوامش

1- Al-Ansari, N. (2021). Topography and climate of Iraq. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 11(2), 1-13.

٢ - المنظمة العالمية للأرصاد الجوية. (2017). (WMO). *المعلومات المناخية للحد من مخاطر الكوارث*. استراتيجية الأمم المتحدة الدولية للحد من الكوارث.

3- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and drainage paper 56). Rome: FAO.

٤ - غانم، علي أحمد. (٢٠١٠). *(المناخ التطبيقي*. عمان: دار المسيرة للنشر والتوزيع.

5- Hartmann, D. L. (2015). *Global Physical Climatology* (2nd ed.). Elsevier.

6- Al-Timimi, Y. K., & Baktash, F. Y. (2024). Monitoring the shift of rainfed line of 250 mm over Iraq. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 55(3), 931-940.

٧ - شحادة، نعمان. (١٩٩٧). *(علم المناخ التطبيقي*. عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع.

8- Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2nd ed.). Routledge.

9- Brutsaert, W. (2005). *Hydrology: An Introduction*. Cambridge University Press.

١٠ - شريف، حمد إبراهيم. (٢٠٢١). *(الجغرافيا الحيوية والتربة* (الطبعة الحديثة). الإسكندرية: دار المعرفة الجامعية.

11- Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, 27(6), 779-787.

12- Stull, R. B. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Springer Science & Business Media.

13- Shao, Y. (2008). *Physics and modelling of wind erosion* (2nd ed.). Springer.

14 Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.

15- Kok, J. F., Parteli, E. J., Michaels, T. I., & Karam, D. B. (2012). The physics of wind-blown sand and dust. *Reports on Progress in Physics*, 75(10), 106901.

16- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: An introductory survey* (2nd ed.). Academic Press.

17- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.

18-Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.

١٩ -الدليمي، خلف حسين علي. (٢٠١٣). (الاستشعار عن بعد وتطبيقاته في الجغرافيا . عمان: دار صفاء للنشر والتوزيع.

20- Rogerson, P. A. (2014). *Statistical Methods for Geography: A Student's Guide* (4th ed.). SAGE Publications.

٢١ -أبو صالح، محمد صبحي، وعوض، منصور. (٢٠١٥). (مقدمة في الإحصاء . عمان: دار المسيرة للنشر .

## References

1. Abu Saleh, M. S., & Awad, M. (2015). *Introduction to Statistics*. Amman: Dar Al-Masirah for Publishing and Distribution. In Ara[bic]
2. Al-Ansari, N. (2021). Topography and climate of Iraq. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 11(2), 1-13.
3. Al-Dulaimi, K. H. A. (2013). *Remote Sensing and its Applications in Geography*. Amman: Dar Safaa for Publishing and Distribution.
4. Al-Timimi, Y. K., & Baktash, F. Y. (2024). Monitoring the shift of rainfed line of 250 mm over Iraq. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 55(3), 931-940.
5. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements* (FAO Irrigation and drainage paper 56). Rome: FAO.
6. Bowen, I. S. (1926). The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, 27(6), 779-787.
7. Brutsaert, W. (2005). *Hydrology: An Introduction*. Cambridge University Press.
8. Ghanem, A. A. (2010). *Applied Climatology*. Amman: Dar Al-Masirah for Publishing and Distribution.
9. Goudie, A. S., & Middleton, N. J. (2006). *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media.
10. Hartmann, D. L. (2015). *Global Physical Climatology* (2nd ed.). Elsevier.
11. Kok, J. F., Parteli, E. J., Michaels, T. I., & Karam, D. B. (2012). The physics of wind-blown sand and dust. *Reports on Progress in Physics*, 75(10), 106901.
12. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation* (7th ed.). John Wiley & Sons.
13. Oke, T. R. (1987). *Boundary layer climates* (2nd ed.). Routledge.
14. Rogerson, P. A. (2014). *Statistical Methods for Geography: A Student's Guide* (4th ed.). SAGE Publications.
15. Shao, Y. (2008). *Physics and modelling of wind erosion* (2nd ed.). Springer.
16. Sharif, H. I. (2021). *Biogeography and Soil* (Modern ed.). Alexandria: Dar Al-Marefa Al-Jamehiya.

17. Shehadeh, N. (1997). *Applied Climatology*. Amman: Dar Safaa for Publishing and Distribution.
18. Stull, R. B. (1988). *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*. Springer Science & Business Media.
19. Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
20. Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). *Atmospheric science: An introductory survey* (2nd ed.). Academic Press.
21. World Meteorological Organization (WMO). (2017). *Climate Information for Disaster Risk Reduction*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction.