Abhat Journal, Volume. 17, Issue. 2, September 2025

Abhat Journal, Faculty of Arts, Sirte University مجلة أبحاث بكلية الآداب جامعة سرت
Source Homepage: http://journal.su.edu.ly/index.php/ABHAT/index

Doi : http://doi.org/10.37375/aj.v17i2.3513

تحليل تدهور الغطاء النباتي كأحد مظاهر التصحّر وفقًا لبعض التصنيفات المناخية في إقليم الجبل الأخضر

صفاء عوض محمد تربح
محاضر بكلية الآداب/ جامعة عمر المختار– ليبيا
Safa.tarbah@omu.edu.ly

مختار عشري عبد السلام محمد
أستاذ مشارك بكلية التربية/ جامعة عمر المختار– ليبيا
Mactar.mohamed@omu.edu.ly

مفتاح موسى سعد عبد الصادق
أستاذ مساعد بكلية الآداب/ جامعة عمر المختار– ليبيا
Moftah.abdelsadak@omu.edu.ly

عازة عبد الله سعد عياد
دراسات عليا/ الأكاديمية الليبية للدراسات العليا
Azzaabdalla2025n@gmail.com

الملخص:

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل تصنيف مناخ إقليم الجبل الأخضر في ليبيا وتتبع تدهور كثافة غطائه النباتي كأحد مظاهر التصحّر باستخدام نماذج تصنيف كوبن، وإمبرجيه، وثورنثويت. وتمّ توظيف بيانات القمر **Landsat 5**، و**SENTINEL–2B** وتقنيات الاستشعار عن بعد ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية لرصد التغيرات في الغطاء النباتي بين عامي 2000 و2024. وأظهرت النتائج أنّ تصنيف إمبرجيه كان الأنسب لظروف الإقليم، إذ قسمه إلى أربعة أنطقة مناخية تعكس التباينات المناخية بدقة أكبر. وبيّنت الدراسة تقلّص مساحة الغطاء الكثيف بنسبة 78.58%، وتمدد مساحة الغطاء الضعيف جدًا بنسبة 46.56%. كما تدهور الغطاء الكثيف داخل النطاق الرطب حسب كوبن بشكل حاد بلغ 79.59%، بينما زاد الغطاء الضعيف جدًا بنسبة 803.7%. في النطاق شبه الرطب لتصنيفي إمبرجيه وثورنثويت انكمش الغطاء الكثيف إلى 81% تقريبًا، وتحوّل غطاء النطاقات الصحراوية والجافة جدًا إلى فئة الضعيف جدًا حسب التصنيفات المناخية الثلاثة. وتوصي الدراسة بتعزيز تقنيات المراقبة البيئية والممارسات الزراعية المستدامة، وإعادة التشجير وحماية الموارد الطبيعية.

الكلمات المفتاحية:

إقليم الجبل الأخضر، التصنيف المناخي، نظم المعلومات الجغرافية، مظاهر التصحّر، تدهور الغطاء النباتي.

معلومات النشر:
تاريخ الاستلام: 2025/07/17
تاريخ القبـــول: 2025/08/07
تاريخ النشـــر: 2025/09/01

An Analysis of Vegetation Cover Degradation as an Indicator of Desertification in Al-Jabal Al-Akhdar Region

Safa Awad Tarbah
Lecturer/Faculty of Arts
Omar Al-Mukhtar University
Safa.tarbah@omu.edu.ly

MacTar Mohamed
Associate Professor /Faculty of Education
Omar Al-Mukhtar University
Mactar.mohamed@omu.edu.ly

Muftah Musa Saad
Assistant Professor /Faculty of Arts
Omar Al-Mukhtar University
moftah.abdelsadak@omu.edu.lv

Azza Abdullah Saad
Postgraduate Studies Libyan Academy for Postgraduate Studies
Azzaabdalla2025n@gmail.com

Abstract:

This study aimed to analyze the climate classification of the Jabal Akhdar region in Libya and monitor vegetation density deterioration as a desertification indicator across three models: Köppen, Emberger, and Thornthwaite. Remote sensing data from Landsat 5 and Sentinel-2B (2000-2024) were processed using GIS tools. The findings indicated that Emberger's classification best represented the region, dividing it into four climatic zones. Dense vegetation declined by 78.58%, while very sparse vegetation expanded by 46.56%. In the humid zone (Köppen), dense vegetation decreased by 79.59%, whereas the very sparse vegetation surged by 803.7%. In the semi-humid zone, dense vegetation diminished by approximately 81% (Emberger and Thornthwaite). Desert and arid zones showed the most significant shift toward very sparse vegetation in all three models. The study recommended enhancing environmental monitoring via remote sensing, promoting sustainable agriculture, implementing reforestation programs, and enforcing policies for the conservation of natural resources.

Keywords:

Jabal Akhdar Region, Climate Classification, Geographic Information Systems (GIS), Desertifi-cation Indicators, Vegetation Cover Degradation

Information:
Received: 17/07/2025
Accepted: 07/08/2025
Published: 01/09/2025

مقدمة:

يشير مصطلح التصحّر إلى التدهور الذي يصيب الأراضي في بيئات مختلفة (الجافة وشبه الجافة وشبه الرطبة)، مما يؤدي إلى تدني الإنتاجية البيولوجية للنظم البيئية (Pinto-Ramos, et al, 2024; Al-Kulabi, 2022)، وينتج هذه الظاهرة تداخل عوامل طبيعية وبشرية تأثر على النظم البيئية وبالتالي تؤدي إلى تفاقم قضايا بيئية رئيسة مثل تدهور الغطاء النباتي والجفاف وتغير خصائص المناخ (Ali, 2024).

ويُعدّ تدهور الغطاء النباتي من أهم مظاهر التصحّر، حيث ينتج عن تدهوره فقدان التنوع البيولوجي وتدني خصائص التربة ومن ثَمّ انخفاض

©Abhat Journal, Sirte University 2025

الإنتاجية، خاصة في المناطق الجافة وشبه الجافة إلى شبه الرطبة التي تتميز بهشاشة أنظمتها البيئية في ظل تزايد الأنشطة البشرية، حيث تكون هذه المناطق عرضة للتغيرات في أنماط الأمطار وارتفاع درجات الحرارة، تزامنًا مع هذه الأنشطة كالرعي الجائر وإزالة الغابات (Lal, 2001; Katyal & Vlek, 2000).

وتلعب التصنيفات المناخية دورًا فعّالًا في فهم أكثر عمقًا للنظم البيئية وخصائصها بتوفير إطار واضح المعالم للحياة النباتية والحيوانية في البيئات المختلفة، لا سيما تأثير التغيرات الحاصلة في المناخ على النظم البيئية، كما تساعد هذه التصنيفات على تقدير الظروف المناخية والتنبؤ بالتغيرات المحتملة (Hanberry, 2023; Navarro, et al, 2022).

وتكتسب دراسة التصنيفات المناخية أهمية خاصة في الدراسات الجغرافية؛ حيث تساهم في تفعيل مبتغى علم الجغرافيا في تمييز سطح الأرض إلى أقاليم جغرافية متباينة محددة الطابع (الحساني، 2020)، ومن هنا تنبثق أهمية التصنيفات المناخية كركيزة مثلى لتحديد خصائص الأقاليم الجغرافية المختلفة (Huang, et al, 2023; Burgener, et al, 2023; Cui, et al, 2021).

وقام العديد من الدارسين بتقسيم سطح الأرض إلى مناخات متمايزة حسب تصنيفات تعتمد أغراضًا مختلفة، مثل تصنيف كوبن Köppen عالم النبات الألماني وتصنيف ثورنثويت Thornthwaite عالم المناخ الأمريكي، حيث يقوم التقسيم النباتي على أساس الغطاء النباتي الطبيعي، بينما يرتكز التقسيم المناخي على عنصري الحرارة والرطوبة (Xin, 2023).

إنّ دراسة العلاقة بين التصنيفات المناخية وتدهور الغطاء النباتي الطبيعي من أهم أسس فهم تأثير الخصائص المناخية (درجات الحرارة، الأمطار، التغيرات المناخية) على النظم البيئية، وعلى الرغم من تعدد الدراسات التي استكشفت هذه العلاقة، إلّا أنّ هناك حاجة ملحة لتحليلها بشكل أكثر تفصيلًا باستخدام قاعدة بيانات مكانية يمكن الاعتماد عليها في التنبؤ بوضع الغطاء النباتي، فضلًا عن ذلك فإن ربط حالة هذا الغطاء بالتصنيف المناخي (جاف، شبه جاف، شبه رطب، رطب) داخل الإقليم سيثري فهمنا لأثر التفاعلات بينها.

ويمثّل إقليم الجبل الأخضر بيئة طبيعية متفرّدة في ليبيا؛ إذ أنّه يحظى بغطاء نباتي طبيعي كثيف ومتنوع، مقارنة ببقية أجزاء البلاد، وهو انعكاسٌ لتغاير طبوغرافيته وتبايناته المناخية (محمد، 2005). وعلى الرغم من أهمية هذا الإقليم من الناحية البيئية، فإنّ مسألة الحصول على بيانات مناخية موثوقة تغطي كل أجزائه تشكّل أكبر معوقات تصنيفه مناخيًا بشكلٍ يعيننا على تحليل أسباب التدهور الحاصل في الغطاء النباتي داخل كل صنف مناخي. إنّ نقص هذه البيانات يعرقل إجراء أبحاث رصينة حول التغيرات المناخية وتأثيراتها على البيئات المحلية، دون إغفال بعض محاولات تصنيف مناخ الإقليم، التي اضطرت للاعتماد على بيانات ذات جودة منخفضة من حيث المدّة والتوزيع الجغرافي (نوح، 1998)، ما يؤكد الحاجة الماسة لتوفير بيانات مناخية من شئنها دعم الدرسات الخاصة بالتصنيفات المناخية والتدهور البيئي عمومًا.

ابتناءً على ما تقدّم فإنّ هذه الدراسة تهدف إلى مقارنة ثلاثة نماذج للتصنيفات المناخية (كوبن، وإمبرجيه، وثورنثويت) في إقليم الجبل الأخضر، والتعرّف على أكثرها ملائمةً لظروف المنطقة، علاوةً على تحليل العلاقة بين هذه التصنيفات وتدهور الغطاء النباتي.

مشكلة الدراسة: يستأثر إقليم الجبل الأخضر بعوامل عدّة جعلته إقليمًا متميزًا عن بقية الأراضي الليبية، كارتفاعه واعتدال مناخه ووفرة أمطاره، مما ساعد على خلق وتأقلم غطاء نباتي طبيعي فريد، ويُعدّ المناخ العامل الرئيس المتحكم في نمو وتوزيع هذا الغطاء، وبالتالي فإنّ دراسة مناخ هذه الإقليم وتصنيفه يصطبغ بأهمية بالغة بغية الوقوف على مدى التدهور الحاصل للغطاء النباتي داخل كل صنف مناخي بشكل أكثر دقة بتوظيف تقنيات الاستشعار عن بعد التي توفر بيانات مستمرة ومقبولة، كما أنّها تغطي كل الإقليم؛ هذا وأُثبتتْ كفاءتها في العديد من الدراسات العالمية للمناخ (Gutierrez, et al, 2023; Syed, et al, 2023: Rosa, et al, 2023: Bandira, et al, 2023: Tayyeh, et al, 2023). وعليه فإنّ هذه الدراسة تحاول الإجابة عن السؤالين الآتيين: أي التصنيفات المناخية المدروسة أكثر مقاربة لواقع الإقليم ؟ وما هي حالة الغطاء النباتي وفق كل تصنيف ؟

أهداف الدراسة:

1. تصنيف مناخ إقليم الدراسة وفق بيانات حديثة وموثقة.
2. تحديد التصنيف المناخي الملائم للمنطقة حسب تنوع الغطاء النباتي ومظاهر السطح.
3. تحليل التدهور الحاصل للغطاء النباتي داخل كل تصنيف مناخي.
4. إنشاء قاعدة بيانات مكانية للبيانات المناخية يمكن الاعتماد

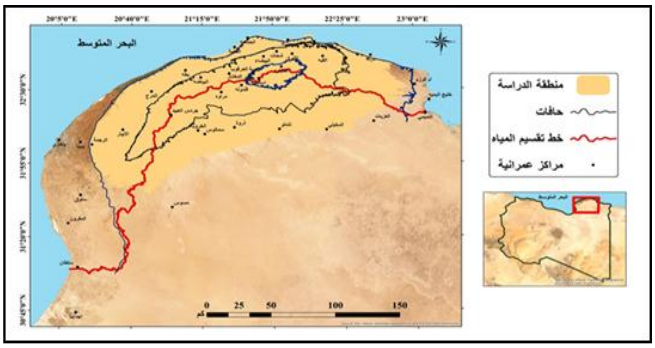
عليها في الدراسات المستقبلية.

أهمية الدراسة: التنوع النباتي في إقليم الجبل الأخضر ما هو إلّا محصلة لخصائصه المناخية والطبوغرافية، فالإقليم يُعدّ موطنًا لطيْفٍ عريضٍ متنوع من النباتات والحيوانات، وبالتالي فإنّ أهمية الحفاظ على هذا النظام البيئي الفريد لا يمكن تجاهلها لحماية التنوع البيولوجي وإنقاذ الأنواع المهددة بالانقراض. وتبرز أهمية هذه الدراسة في خصوصية النظام البيئي للإقليم المدروس، فضلًا عن ندرة الدراسات التي تتناول تصنيفه مناخيًا، ناهيك عن أنّ هذه الدراسة تُعدّ من المحاولات القليلة التي ترصد حالة الغطاء النباتي في هذا الإقليم وفقًا لكل تصنيف مناخي.

منهجية الدراسة:

أولًا: إقليم الدراسة: يمثّل إقليم الجبل الأخضر سلسلة من الهضاب التي يصل ارتفاعها إلى 881 مترًا فوق مستوى سطح البحر ممتدةً على مساحةٍ تقارب 18756.87 كم^2 * في الجزء الشمالي الشرقي من ليبيا، ويظهر الإقليم على شكل مصاطب محددةً بحافات تقطّعها الأودية، ما ساعد على ظهور مجموعة متنوعة من النظم البيئية. يحدُّ الإقليم من الشمال البحر المتوسط، ومن الجنوب خط تساوي الارتفاع (الكنتور) 100 متر، ويمتد من منطقة أم الرزم شرقًا وصولًا إلى سهل بنغازي في الغرب، وعلى ذلك فإنّه ينحصر بين دائرتي عرض 33.40" 29' 31° و 25.81" 56' 32° شمالًا، وخطي طول 5.00" 19' 20° و 58.90" 56' 22° شرقًا، شكل (1).

الشكل (1) حدود إقليم الدراسة.



المصدر: من إعداد الباحثين، من خلال منصة Google earth pro، وباستخدام برنامج ArcMap

ثانيًا: مصادر البيانات:

1. البيانات المناخية: اعتمدت هذه الدراسة على موقع power. Larc. nasa للحصول على بيانات المناخ، بالإضافة للبيانات المتوفرة للأمطار من محطات إقليم الدراسة، كما دُعمّت ببيانات قياس هطول الأمطار الاستوائية (Tropical Rainfall Measuring Mission "TRMM") والتي أظهرت تقاربًا بينًا مع بيانات أمطار محطات المنطقة. وتُعدّ بيانات TRMM مصدرًا قيمًا للمعلومات عن هطول الأمطار على الصعيد العالمي، في حال إدراك حدودها واستخدامها بحذر.

2. صور الأقمار الصناعية: استُخدمت بيانات القمر الأمريكي Landsat5، والقمر الأوروبي Sentinel-B2 للحصول على مؤشرات الغطاء النباتي، وهي بيانات مستقاة من موقع هيأة المسح الجيولوجية الأمريكية https://earthexplorer.usgs.gov/، وموقع وكالة الفضاء الأوروبيةdataspace.copernicus.eu.

الجدول (1) بيانات الأقمار الصناعية المستخدمة.

نوع القمر	التاريخ المحلي	الدقة (متر)	السحب %	عدد اللوحات
Landsat 5 TM C1 Level-1	24/07/2000	60-30	أقل من 5	**6**
SENTINEL-2B	08/06/2024	10-20	أقل من 5	**12**

المصدر: ملف البيانات الوصفية للمرئيات https://earthexplorer.usgs.gov، dataspace.copernicus.eu

* تمّ الاعتماد على بيانات القمر Landsat 5، لعدم توفر بيانات عن الغطاء النباتي لسنوات سابقة من النسخ الحديثة للقمر Landsat أو القمر Sentinel-B2

ثالثًا: معالجة البيانات:

تمّ دمج الصور الفضائية بغرض تغطية كامل الإقليم للحصول على المؤشرات المطلوبة وكما يأتي:

1. **مؤشر Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)**

ويعرف بدليل الاختلافات الخضرية الطبيعية، ويتم حسابه من خلال المعادلة الآتية: (Gommes & Caracalla, 1979):

$$NDVI = (B1-B2)/(B1+B2)$$

حيث تمثّل B1 الأطوال الموجية تحت الحمراء القريبة (Band 4 في Landsat 5، وBand 8 في SENTINEL-2B)، وB2 تمثل الحزم الحمراء (Band 3 في Landsat 5، و Band 4 في SENTINEL-2B)،

* تمّ اعتماد الحد الجنوبي لإقليم الجبل الأخضر في هذه الدراسة بناءً على غرضها، وتجدر الإشارة إلى أنّ هناك الكثير من الجدل حول الحدود الجنوبية للجبل الأخضر بين البحاث.

* تمّ تحديد مساحة المنطقة حسب أنموذج الارتفاعات الرقمية وفقًا لخطوط تساوي الارتفاع (الكنتور).

2. **التصنيفات المناخية:**

– **تصنيف كوبن:** هو نظام يُستخدم على نطاق واسع لتصنيف المناخ بناءً على أنماط درجة الحرارة وهطول الأمطار، حيث يهتم بتوزيع النبات الطبيعي المحلي كدلالة على توزيع مناطق مناخية مختلفة على سطح الأرض، ويقسّم التصنيف العالم إلى خمس أنطقة مناخية اعتمادًا على معايير درجة الحرارة والأمطار والنبات، وسوف يستعمل هذا التصنيف في الدراسة نظرًا لربطه للاختلافات المحلية للغطاء النباتي بنوع المناخ، ويُستخرج وفقًا للجدول التالي (Köppen & Geiger, 1930):

الجدول (2) الأنطقة المناخية حسب تصنيف كوبن.

نوع المناخ	مناطق مطرها شتوي
صحراوي	الأمطار = أو أصغر من درجة الحرارة
شبه جاف	الأمطار = أو أصغر من 2 درجة الحرارة
رطب	الأمطار = أو أكبر من 2 درجة الحرارة

(Köppen & Geiger, 1930)

– **معامل الجفاف لإمبرجيه:** في عام 1955، حاول عالم البيئة الفرنسي لويس إمبرجيه تحسين معادلة الجغرافي الفرنسي دي مارتون، وأثبت أن القيمة الفعلية لهطول الأمطار تتأثر باختلافات درجات الحرارة السنوية، وقال إنه من المهم أن يعتمد علماء الأحياء وعلماء النبات الزراعي على تصنيف العوامل المناخية التي تؤثر بشكل مباشر على بيولوجيا الكائنات الحية مثل هطول الأمطار، درجة الحرارة السنوية وتوزيعها الموسمي، وجود أو عدم وجود فترات جفاف واختلافاتها من حيث المدّة والشدّة، والتبخر، ودرجة الحرارة القصوى في أكثر شهور السنة حرارة، وأدنى درجة حرارة في أبرد شهور السنة (لأن هاتين الدرجتين تمثلان مجال حياة النبات)، وبناء على ذلك سيتم الاعتماد على معامل إمبرجيه للجفاف المستخرج وفقًا للتفاعل بين كمية الأمطار ونطاق درجة الحرارة السنوي على النحو الآتي (Emberger, 1955):

$$Q = \frac{R}{(M + m) * (M - m) * 100}$$

حيث:

Q = معامل الجفاف

R = الأمطار السنوية بالمليميتر

M= متوسط درجة الحرارة العظمى لأحر شهور السنة بالدرجة المئوية

m = متوسط درجة الحرارة الصغرى لأبرد شهور السنة بالدرجة المئوية

الجدول (3) الأنطقة المناخية حسب معامل الجفاف لإمبرجيه.

نوع المناخ	معيار معامل الجفاف
رطب	من 90 فأكثر
شبه رطب	50–90
شبه جاف	30–50
جاف	20–30
جاف جدًا	أقل من 20

(Emberger, 1955)

– **تصنيف ثورنثويت:** هو نظام تصنيف مناخي يُستخدم لتحديد وتقييم أنواع المناخ الرئيسة والفرعية بناءً على معامل الجفاف الذي يأخذ في الاعتبار عوامل مختلفة مثل العجز والفائض المائي، والتوازن المائي الحقيقي والمحتمل، ومؤشر الرطوبة لتصنيف المناخات. ويعد هذا التصنيف الأكثر دقة وحساسية لأنواع المناخ مقارنة بالتصنيفات الأخرى، حيث وظّف في دراسات ومناطق عديدة لتقييم تغير المناخ وتصنيف أنواعه. ويحسب معامل الجفاف حسب المعادلة الآتية (Thornthwaite, 1931):

$$\mathbf{Ai} = \mathbf{1.65}\left(\frac{r}{t+12.2}\right)^{10/9}$$

حيث:

Ai = معامل الجفاف

r = الأمطار السنوية (مللم)

t = متوسط درجة الحرارة السنوي (مئوي)

ويوضح الجدول التالي تصنيف المناخ حسب هذا المعامل.

الجدول (4) الأنطقة المناخية حسب معامل الجفاف لثورنثويت.

نوع المناخ	معيار القيمة الفعلية للتساقط
رطب جدًا	من 128 فأكثر
رطب	من 64 إلى 127
شبه رطب	من 32 إلى 63
شبه جاف	من 16 إلى 31
جاف	من 15 فأقل

(Thornthwaite, 1931)

رابعًا: تحليل البيانات:

1.التحليل المكاني: يتضمن التحليل المكاني دراسة العلاقة بين التصنيف المناخي وتدهور الغطاء النباتي مكانيًا عن طريق تحديد أشد الأقاليم المناخية تأثرًا بتدهور الغطاء النباتي بتوظيف التقنيات الجيومكانية.

مناقشة النتائج:

أولًا: التصنيفات المناخية في إقليم الدراسة: يتميز الجبل الأخضر

بتنوعه الجغرافي وتضاريسه الجبلية المتفاوتة، حيث تتباين الارتفاعات بشكل ملحوظ، مما يؤدي إلى زيادة معدلات الأمطار وانخفاض درجات الحرارة في المناطق المرتفعة مقارنة بالمناطق المنخفضة (Mahklouf & Etayeb, 2018)، وهو ما يجعل من الصعب تطبيق تصنيف واحد على كامل المنطقة.

كما يقع الجبل الأخضر في موقعٍ انتقالي بين البحر المتوسط والصحراء الليبية، وعليه فهو يتأثر بالرياح البحرية الرطبة والمعتدلة القادمة من البحر المتوسط من جهة، وبالكتل الهوائية الجافة والحارة القادمة من الصحراء الكبرى من جهة أخرى (Atkinson, 2023)، ما أوجد تداخلًا في التأثيرات المناخية عقّد تصنيفه بدقة ضمن الأنظمة التقليدية. إلى جانب ذلك، وتشهد المنطقة تغيرات موسمية حادة بين الفصول، حيث تكون الأمطار وفيرة في الشتاء والربيع، بينما يشتد الجفاف في الصيف، مما يجعل تحديد المناخ بين معتدل أو شبه جاف وفقًا لتصنيف كوبن تحديًا كبيرًا بسبب التفاوت في كميات الأمطار (Joaquín et al., 2021).

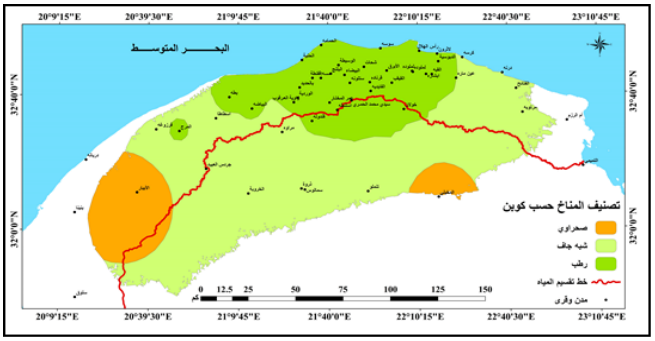
كما أنّ نقص محطات الرصد المناخي الكافية لتغطية تضاريس المنطقة وظروفها الجوية المتنوعة يؤدي إلى شح البيانات المناخية الدقيقة، مما ينعكس على دقة التصنيف المناخي، وعليه فإنّ تصنيف مناخ الجبل الأخضر يتطلب تحليلًا دقيقًا يأخذ في الاعتبار العوامل الجغرافية والموسمية المتنوعة، ويستدعي وضع تصنيف خاص أو تعديل أنظمة التصنيف التقليدية لتناسب هذه المنطقة الفريدة. وفي هذا الصدد، ستعتمد الدراسة على ثلاثة تصنيفات عالمية رئيسية يمكن أن تقدم رؤية شاملة تتضمن هذه الاختلافات البيئية، وهي تصنيف كوبن، وإمبرجيه، وثورنتويت.

1. **تصنيف إقليم الدراسة حسب كوبن:** من الشكل (2) والجدول (5)، يمكن تصنيف مناخ الجبل الأخضر حسب تصنيف كوبن إلى ثلاثة أنطقة رئيسة، وهي: النطاق الرطب، الذي يغطي القسم الشمالي والمناطق القريبة من البحر المتوسط من الإقليم بمساحة تصل إلى 4644.8 كم^2، حيث يتميز بصيفٍ حارٍ وجافٍ وشتاءٍ معتدلٍ وممطر، وهذا يجعله مناسبًا لنمو النباتات المتوسطية مثل الزيتون والخروب (Strohmenger, et al., 2024)، وتتركز أمطاره خلال الشتاء والربيع مع فترات جفاف صيفية. يشمل هذا النطاق معظم السهل الساحلي في المناطق الممتدة من الأثرون وراس الهلال وصولًا إلى سوسة والحمامة والحنية، وكذلك على مساحات شاسعة من المصطبة الأولى في مناطق مثل الوسيطة والمرج، ويمتد على أغلب الأجزاء الشمالية وقسم من الأجزاء الجنوبية من المصطبة الثانية وتمثله مناطق عديدة كالبيضاء وشحات ومسة وقصر ليبيا والقبة والأبرق وقندولة وزاوية العرقوب، بالإضافة إلى كامل مساحة المصطبة الثالثة ممثّلةً في عمر المختار والفايدية وسلنطة وسيدي الحمري.

أمّا النطاق شبه الجاف، فيمثل أكبر نسبة من مساحة إقليم الدراسة، حيث تبلغ حوالي 11628.9 كم^2، ويقع بين المناطق الرطبة في الشمال والمناطق الصحراوية في الجنوب، ويتميز بصيفٍ حارٍ وجاف وشتاءٍ معتدلٍ قليلِ الأمطار، وتمثله في السهل الساحلي درنة وكرسة والفتائح، وفي مناطق عديدة شرق وغرب المصطبة الأولى كمرتوبة والمناطق المحيطة بالمرج. أمّا على المصطبة الثانية فيمتد على نطاق واسع في مناطق مثل مراوه وجردس العبيد، بينما نجده ممثلًا على السفح الجنوبي في مناطق تنملو وذروة وسمالوس، ويمتاز هذا النطاق بأمطار أقل من سابقه وغطاءٍ نباتي يغلب عليه الطابع الرعوي.

ويمثّل النطاق الصحراوي آخر أنطقة هذا التصنيف في الإقليم شاغلًا مساحةً أقل من النطاقين السابقين، حيث تقدر مساحته بحوالي 2483.06 كم^2، ويقع في الجنوب بعيدًا عن تأثير البحر المتوسط، ويتسم بالجفاف الشديد وارتفاع درجات الحرارة على مدار العام مع كميات قليلة جدًا من الأمطار، ويتجلى في منطقة الأبيار غرب المصطبة الأولى ومنطقة المخيلي على السفح الجنوبي.

شكل (2) التصنيف المناخي لإقليم الدراسة حسب كوبن



المصدر: من إعداد الباحثين، بناءً على البيانات المناخية وتصنيف كوبن، استخدام ArcMap

الجدول (5) مساحات الأنطقة المناخية حسب تصنيف كوبن.

التصنيف	المساحة كم^2
رطب	4644.88
شبه جاف	11628.94
صحراوي	2483.06
المساحة الكلية	18756.88

المصدر: بيانات الشكل (2)

2. تصنيف إقليم الدراسة حسب إمبرجيه: من الشكل (3) والجدول (6)، يمكن تحديد أربعة أنطقة مناخية حسب تصنيف إمبرجيه في إقليم الجبل الأخضر، حيث يُغطي النطاق شبه الرطب مساحة تقدر بـ 4845.02 كم^2، ويتركز في الشمال بالقرب من الساحل المطل على البحر المتوسط، حيث تحدّه منطقة الأثرون شرقًا، أمّا حدّه الغربي فيقع إلى الغرب من مصب وادي اللولب بحوالي 5 كم، ويمتد هذا النطاق على المصطبة الأولى بنفس امتداده من الشرق إلى الغرب في السهل الساحلي إضافةً إلى مساحة صغيرة حول مدينة المرج. أمّا في المصطبة الثانية فنجده ممثّلًا في منطقةٍ ممتدةٍ بين القبة والبياضة في الشمال وأجزاء عديدة من جنوبها بدءًا مراوه وقندوله في الغرب وصولًا إلى جنوب شرق منطقة خولان شرقًا؛ كما يضم هذا النطاق كامل مساحة المصطبة الثالثة.

وفي هذا النطاق تسود تأثيرات بحرية تجعل المناخ أكثر اعتدالًا مع صيف دافئ وشتاء بارد إلى معتدل، كما يتميز بهطول أمطار تزيد عن 550 ملم تتركز في المنطقة الممتدة ما بين شحات ومسه، داعمًا غطاءً نباتيًا كثيفًا، خاصة في حوض وادي الكوف.

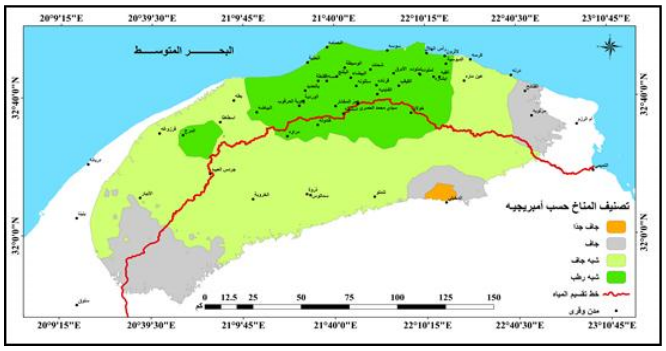
ويأتي تاليًا النطاق شبه الجاف، علمًا أنّه الأكبر مساحةً حيث يغطي 10784.95 كم^2 ليحيط بالنطاق السابق من ثلاثة اتجاهات في شرقه، ومن جميع الاتجاهات في غربه، مهيمنًا على مناطق عدّة من المصطبة الأولى والثانية والسفح الجنوبي، ويمثّل هذا النطاق نقلةً من المناطق الرطبة شمالًا إلى الأكثر جفافًا جنوبًا.

ويتّصف هذا النطاق بشتاءٍ معتدلٍ وصيفٍ حارٍ مع أمطار تتراوح بين 180 إلى 442 ملم، ورغم قلّة أمطاره إلّا أنّه يتيح فرصًا محدودة للزراعة المحلية كما يدعم غطاءً نباتيًا ضعيفًا.

أمّا النطاق الجاف فيغطي مساحة 3014.81 كم^2، ويقع في الأطراف الداخلية الجنوبية والجنوبية الشرقية والجنوبية الغربية لإقليم الدراسة، مع بعض البقع المتفرقة بالقرب من الحافة الأولى غرب الإقليم. وبسبب موقعه يتأثر هذا النطاق بالكتل الهوائية الصحراوية، وتتراوح أمطاره بين 202 و320 ملم سنويًا، كما يمتاز بارتفاع درجات الحرارة، خاصة في الصيف، مع نشاط زراعي محدود وغطاء نباتي ضعيف مكوّن من نباتات حولية.

وأخيرًا يمثّل النطاق الجاف جدًا أقل التصنيفات مساحة بـ 112 كم^2، ويقع في الجنوب الشرقي من إقليم الدراسة متمركزًا حول منطقة المخيلي، حيث تزداد فيه درجات الحرارة وتقل الأمطار بشكل كبير على مدار العام، مما يجعل هذه المناطق غير قادرة على دعم نمو غطاء نباتي طبيعي باستثناء بعض الحوليات. يُظهر تصنيف إمبرجيه تنوعًا مناخيًا واضحًا في الجبل الأخضر يعكس تأثير موقعه الجغرافي، ويُعين على إحداث تباين في نوع الغطاء النباتي الطبيعي وكثافته بين النطاق شبه الرطب في الشمال والنطاق الجاف جدًا في الجنوب.

الشكل (3) التصنيف المناخي لإقليم الدراسة حسب إمبرجيه.



المصدر: من إعداد الباحثين، بناءً على البيانات المناخية وتصنيف إمبرجيه، استخدام ArcMap

الجدول (6) مساحات الأنطقة المناخية حسب تصنيف إمبرجيه.

المناخ	المساحة كم^2
شبه رطب	4845.02
شبه جاف	10784.95
جاف	3014.81
جاف جدًا	112.00
المساحة الكلية	18756.88

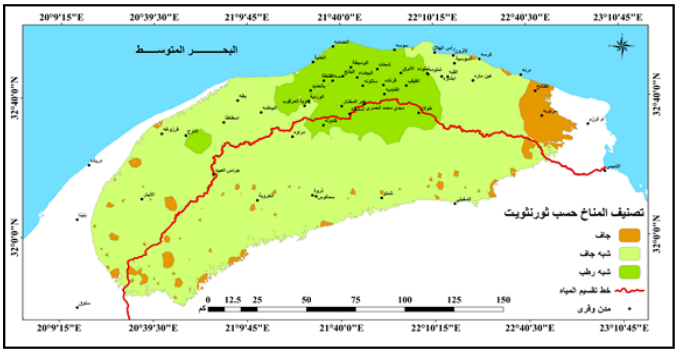
المصدر: بيانات الشكل (3)

3. تصنيف إقليم الدراسة حسب ثورنثويت: وفقًا للشكل (4) والجدول (7)، يمكن تحديد ثلاثة أنطقة مناخية في إقليم الدراسة حسب تصنيف ثورنثويت، حيث يُغطي النطاق شبه الرطب مساحة تقدر بـ 3199.56 كم^2، ويتمركز في السهل الساحلي ممتدًا من حوالي 400 متر شرق وادي البطوم شرقًا إلى حوالي 300 متر شرق مصب وادي الكوف غربًا، ويمتد في المصطبة الأولى من الحدود الشرقية لحوض وادي البطوم شرقًا وحتى الحدود الشرقية لحوض وادي بالعارض غربًا، بالإضافة إلى مساحة صغيرة تقع جنوب شرق مدينة المرج. أما في المصطبة الثانية فتمثّله مساحة كبيرة على السفح الشمالي ضامةً مناطق عدّة كالبيضاء وشحات ومسه والأبرق، بالإضافة إلى مساحة أصغر على السفح الجنوبي جنوب الحافة الثالثة، ويغطي امتداده جميع مساحة المصطبة الثالثة باستثناء بقعة صغيرة بمحاذاة طريق جردس– تنملو. وتسهم التأثيرات البحرية والارتفاع عن مستوى سطح البحر في تلطيف درجات الحرارة ووفرة كميات الأمطار التي

تزيد عن 550 ملم في بعض أجزاءه. ويمتاز هذا النطاق بغطاءه النباتي الكثيف نسبيًا، خصوصًا على السفح الشمالي.

أمّا النطاق شبه الجاف فهو الأكبر مساحةً، حيث يغطي 14520.96 كم^2، محيطًا بالنطاق السابق من ثلاثة اتجاهات في الشرق، ومن جميع الاتجاهات في البقعة الغربية؛ ويتميز بشتاء بارد نسبيًا وصيفٍ حار مع أمطار متوسطة، وغطاء نباتي متوسط إلى ضعيف. ويغطي النطاق الجاف مساحة أصغر من سابِقَيْه تبلغ نحو1036.35 كم^2، ويتموضع في أقصى الأجزاء الشرقية والجنوبية الشرقية من الإقليم، مع بعض البقع المتفرقة داخل إطار النطاق شبه الجاف وصولًا إلى أقصى الجنوب الغربي. ويتميز مناخه بصيفٍ شديدِ الحرارة وشتاءٍ معتدلٍ إلى بارد، وكميات أمطار محدودة، ويضم هذا النطاق غطاءً نباتيًا ضعيفًا إلى ضعيفٍ جدًا.

الشكل (4) التصنيف المناخي لإقليم الدراسة حسب ثورنثويت.



المصدر: من إعداد الباحثين، بناءً على البيانات المناخية وتصنيف ثورنويت، استخدام ArcMap

جدول (7) مساحات الأنطقة المناخية حسب تصنيف ثورنثويت.

المناخ	المساحة كم^2
شبه رطب	3199.56
شبه جاف	14520.96
جاف	1036.35
المساحة الكلية	18756.88

المصدر: بيانات الشكل (4)

من استعراض التصنيفات المناخية السابقة، يمكننا استنتاج أنّ أكثرها ملاءمة وقربًا لواقع إقليم الدراسة هو تصنيف إمبرجيه، فتقسيمه للإقليم إلى أربعة أنطقة مناخية متمايزة جعل توزيعها المكاني يلامس بشكل أدّق الاختلافات المحلية لعناصر الطبيعة وتأثيراتها، بالإضافة إلى أنّه من أفضل التصنيفات المعبّرة عن العلاقة بين المناخ والغطاء النباتي في حوض البحر المتوسط (Vessella & Schirone,2022).

ثانيًا: تدهور الغطاء النباتي في إقليم الدراسة: بالنظر إلى الشكل (5) والجدول (8) يمكن القول إنّ الغطاء النباتي بفئاته المختلفة في إقليم الدراسة عانى من تردٍّ وتدهورٍ شديد خلال الفترة من 2000 إلى 2024، ويمكن تسليط الضوء على هذا التدهور بشكل أكثر تفصيلًا كما يأتي:

1. **الغطاء النباتي الكثيف:** تعرّضت فئة الغطاء النباتي الكثيف في إقليم الدراسة لتدهور ملحوظ يتضح في تراجع مساحته من 1220.47 كم^2 عام 2000 إلى 261.44 كم^2 عام 2024 بنسبة 78.58%.

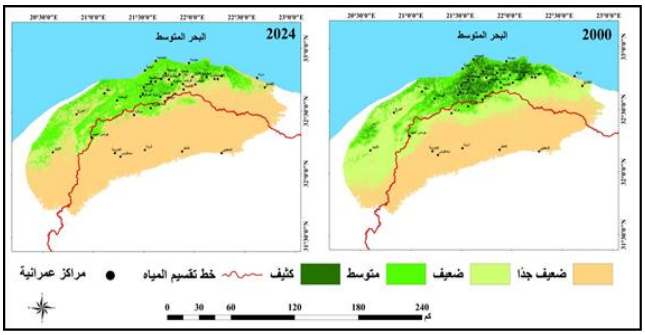
2. **الغطاء النباتي المتوسط:** زادت مساحة هذه الفئة بنسبة 36.57%، حيث ارتفعت من 2881.78 كم^2 في عام 2000 إلى 3935.55 كم^2 في عام 2024، ولا تدل هذه الزيادة على تحسن في حالة الغطاء النباتي، بل تشير إلى تحوّل جزء كبير من الأراضي التي كانت في الأصل كثيفة النباتات إلى الفئة الأدنى، هذا التحوّل يبين التأثيرات السلبية للتصحّر والعوامل البيئية الأخرى.

3. **الغطاء النباتي ضعيف** :شهدت هذه الفئة انخفاضًا حادًا بنسبة 63.08%، حيث تقلّصت مساحتها من 6309.26 كم^2 في عام 2000 إلى 2329.08 كم^2 في عام 2024، يعكس هذا التراجع الملحوظ مدى التدهور البيئي الناجم غالبًا عن التأثيرات السلبية للتوسّع العمراني والأنشطة البشرية وممارسات الزراعة التقليدية التي تسهم في تردي خصائص التربة.

4. **الغطاء النباتي ضعيف جدًا:** تمددت هذه الفئة من الغطاء النباتي بنسبة 46.56%، حيث اتسعتْ مساحتها من 8345.37 كم^2 في عام 2000 إلى 12230.81 كم^2 في عام 2024، وتعكس هذه الزيادة الكبيرة تدهورًا في الظروف البيئية ما أدى إلى تغير معدّلات نمو وكثافة النباتات، ومن المرجّح أن يكون توسع هذه الفئة ناتجًا عن تضاؤل كميات الأمطار.

وعن طريق تحليل تباين فئات الغطاء النباتي في إقليم الجبل الأخضر بين عامي 2000 و2024، يمكن استنتاج أن تغير الخصائص المناخية والأنشطة البشرية كانت له تأثيرات عميقة على النظام البيئي والتنوع النباتي، حيث أن الانحسار الملحوظ في مساحة الغطاء النباتي الكثيف والضعيف يدلل على التدهور البيئي وتفاقم مشكلة التصحّر في الإقليم نتيجة للتوسع العمراني والأنشطة الزراعية والحرائق، إضافة إلى ميل المناخ العام إلى الجفاف. وبالرغم من زيادة بعض فئات الغطاء النباتي كالمتوسط والضعيف جدًا، فإن ذلك يشير إلى تحولات سلبية وليس إلى تحسن في الحالة البيئية العامة.

الشكل (5) مقارنة حالة الغطاء النباتي بإقليم الدراسة في الفترة من 2000–2024



المصدر: من إعداد الباحثين، اعتمادًا على بيانات الأقمار Landsat 5&8, SENTINEL-2B واستخدام ArcMap

الجدول (8) حالة الغطاء النباتي في إقليم الدراسة خلال الفترة من 2000–2024

الغطاء النباتي	2000كم^2	2024كم^2	نسبة التغير %
كثيف	1220.47	261.44	-78.58
متوسط	2881.78	3935.55	36.57
ضعيف	6309.26	2329.08	-63.08
ضعيف جدًا	8345.37	12230.81	46.56
المجموع والمعدل	18756.88	18756.88	14.63

المصدر: بيانات الشكل (5)

ثالثًا: تدهور الغطاء النباتي وفق التصنيفات المناخية: يُعدّ تدهور الغطاء النباتي بإقليم الجبل الأخضر من القضايا البيئية الحرجة التي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالمناخ، كما أن تنوّع تضاريس ومناخ الجبل الأخضر ينعكس في تباينات كثافة ونوع الغطاء النباتي فيه.

ومن هنا تتضح أهمية دراسة العلاقة بين التصنيفات المناخية وتدهور الغطاء النباتي لفهم التأثيرات المعقّدة التي يواجهها النظام البيئي في الجبل الأخضر، تطلعًا لتحديد السياسات والإجراءات الضرورية لمكافحة التصحّر ومظاهره المختلفة.

وفيما يلي سيتم التعرّض لمدى تدهور الغطاء النباتي، الذي يبرهن عليه تغير مساحة فئات كثافته، استنادًا إلى التصنيفات المناخية المطبّقة على إقليم الدراسة:

1. تدهور الغطاء النباتي حسب تصنيف كوبن:

أ. المناخ الرطب: تعكس بيانات الجدول (9) والشكل (6) تغيرات جليّة في الغطاء النباتي في منطقة المناخ الرطب، حيث تُظهر اتجاهات متباينة بين الفئات المختلفة.

شهدت الفئة ذات الغطاء النباتي الضعيف جدًا زيادة هائلة بنسبة 803.7%، حيث ارتفعت مساحتها من 157.61 كم^2 في عام 2000 إلى 1424.32 كم^2 في عام 2024، وهو ما يشخّص تدهورًا جسيمًا في حالة الغطاء النباتي، فقد تحولت مساحات كبيرة إلى الفئة النباتية الضعيفة جدًا، بالمقابل، فإنّ فئة الغطاء النباتي الضعيف انخفضت بنسبة 48.57%، حيث تقلصت مساحتها من 1645.42 كم^2 في عام 2000 إلى 846.19 كم^2 في عام 2024، وهو ما يمكن تفسيره بتحول المساحة المفقودة إلى الفئة الأدنى.

وسجلت الفئة المتوسطة زيادة بنسبة 23.59%، حيث زادت من 1733.34 كم^2 في عام 2000 إلى 2142.18 كم^2 في عام 2024، ولا يمكن اعتبار هذه الزيادة تحسنًا حيث أن المساحة المزدادة نتجت عن تردي في حالة فئة الغطاء النباتي الكثيف التي تعرضت بدورها لانخفاض حاد بنسبة 79.59%، حيث تقلصت مساحتها من 1101.91 كم^2 في عام 2000 إلى 224.89 كم^2 في عام 2024، ما يعكس خسارة فادحة ويؤشر على تدهور بيئي شديد.

وتُظهر الأرقام السابقة حالة تدهور خطرة في الغطاء النباتي، ويبلغ معدّل التغير الإجمالي 174.78% في نطاق المناخ الرطب عمومًا (معدّل التغير الإجمالي يمثّل مقدار تغيّر كثافة الغطاء النباتي من فئة إلى أخرى، حتى وإن لم يحدث تناقصٌ في مساحته الكليّة، كما تبين إشارته السالبة أو الموجبة أيّ اتجاهي التغيير، زيادةً أم نقصانًا، كان الأكثر سيطرة)، وهذا ما يستلزم اتخاذ إجراءات عاجلة لإنقاذ ما هو قائم ومحاولة إحياء واستعادة ما فُقد.

الجدول (9) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ الرطب حسب تصنيف كوبن في الفترة من 2000–2024

حالة النبات	2000كم^2	2024كم^2	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	157.61	1424.32	803.7
ضعيف	1645.42	846.19	-48.57
متوسط	1733.34	2142.18	23.59
كثيف	1101.91	224.89	-79.59
المجموع/المعدل	4638.28	4637.58	174.78

المصدر: بيانات الشكل (6)

ب. المناخ شبه الجاف: من الجدول (10) يمكن استخلاص تغيرات الغطاء النباتي في منطقة المناخ شبه الجاف حسب تصنيف كوبن، والتي تُظهر تباينًا واضحًا بين الفئات المختلفة في فترة الدراسة، ففئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا شهدت زيادة بنسبة 20.84%، حيث ارتفعت مساحتها من 7458.95 كم^2 في عام 2000 إلى 9013.55 كم^2 في عام 2024، وهي دلالة واضحة على التدهور،

على النقيض من ذلك، سجلت فئة الغطاء النباتي الضعيف تراجعًا حادًا بنسبة 65.55%، حيث تقلصت مساحتها من 3077.15 كم² في عام 2000 إلى 1060.1 كم² في عام 2024، وهذا ما يمكن أن يعود إلى تحول المساحات إلى فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا. أمّا فئة الغطاء النباتي المتوسط فأظهرت زيادة ملحوظة بنسبة 54.54%، حيث ارتفعت مساحتها من 923.95 كم² في عام 2000 إلى 1427.89 كم² في عام 2024، وهي زيادة كانت في الغالب على حساب الغطاء النباتي الكثيف على غرار النطاق السابق. أما فئة الغطاء النباتي الكثيف فشهدت انخفاضًا كبيرًا بنسبة 58.89%، حيث كانت مساحتها 82.92 كم² في عام 2000، وأصبحت 34.09 كم² في عام 2024، وهي إشارة سافرة على التدهور البيئي الحاصل في هذه الفئة.

وبشكل عام كان المعدل الإجمالي لنسبة التغيّر منخفضًا (12.27%)، إلّا أنّه يعبر عن تغيّر في كثافة الغطاء النباتي في النطاق شبه الجاف. هذه النتائج تبين تحديات بيئية تحتاج استراتيجيات إدارة بيئية محكمة لتحسين الغطاء النباتي وضمان استدامته.

الجدول (10) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ شبه الجاف
حسب تصنيف كوبن في الفترة من 2000– 2024

حالة النبات	2000كم²	2024 كم²	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	7458.95	9013.55	20.84
ضعيف	3077.15	1060.1	-65.55
متوسط	923.95	1427.89	54.54
كثيف	82.92	34.09	-58.89
المجموع/المعدل	11542.97	11535.63	-12.27

المصدر: بيانات الشكل (6)

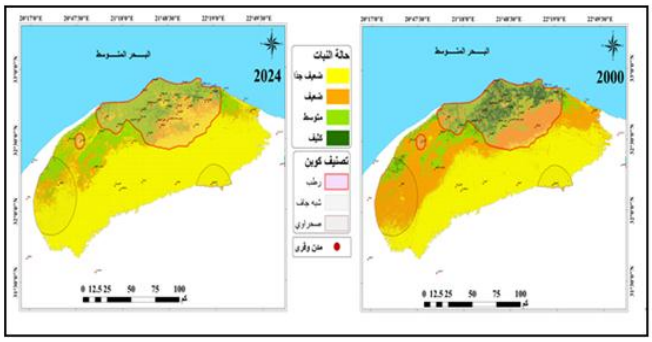
ج. المناخ الصحراوي: تعرّض الغطاء النباتي في نطاق المناخ الصحراوي إلى تحولات كبيرة بين مختلف الفئات خلال فترة الدراسة، فقد حصلت فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا على زيادة كبيرة بنسبة 123.40%، حيث ارتفعت المساحة من 760.24 كم² في عام 2000 إلى 1698.41 كم² في عام 2024، وهو ما يعكس تدهورًا بيئيًا قد يكون مرتبطًا بزيادة الجفاف أو تدهور التربة، الجدول (11). من ناحية أخرى انخفضت مساحة الفئة الضعيفة انخفاضًا حادًا بنسبة 73.29%، حيث تراجعت مساحتها من 1570.06 كم² في عام 2000 إلى 419.40 كم² في عام 2024، مما قد يشير إلى أن مساحات واسعة انتقلت من هذه الفئة إلى فئات أخرى. وبالنسبة للفئة المتوسطة فقد شهدت نموًا بنسبة 65.77%، حيث ارتفعت مساحتها من 210.83 كم² عام 2000 إلى 349.49 كم² عام 2024، ومُنيت الفئة الكثيفة بتراجعٍ هائلٍ بنسبة 94.66%، حيث تقلصت مساحتها من 34.49 كم² في عام 2000 إلى 1.84 كم² فقط في عام 2024، مما يؤكّد على فداحة التدهور الذي طالها. وعلى الرغم من الأرقام المذكورة آنفًا، فإنّ المعدل الإجمالي للتغير يسجّل نسبة صغيرة بلغت 5.31%.

الجدول (11) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ الصحراوي
حسب تصنيف كوبن في الفترة من 2000–2024

حالة النبات	2000كم²	2024 كم²	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	760.24	1698.41	123.40
ضعيف	1570.06	419.40	-73.29
متوسط	210.83	349.49	65.77
كثيف	34.49	1.84	-94.66
المجموع/المعدل	2575.62	2469.14	5.31

المصدر: بيانات الشكل (6)

الشكل (6) تدهور الغطاء النباتي حسب تصنيف كوبن في الفترة من 2000–2024.



المصدر: من إعداد الباحثين، اعتمادًا على البيانات المناخية وبيانات الأقمار Landsat 5&8, SENTINEL-2B واستخدام ArcMap.

2. تدهور الغطاء النباتي حسب تصنيف إمبرجيه:

أ. **المناخ شبه الرطب:** يكشف الجدول (12) والشكل (7) عن تغيرات الغطاء النباتي في نطاق المناخ شبه الرطب وفقًا لتصنيف إمبرجيه، ويظهران تحولات كبيرة ومتفاوتة في الفئات النباتية المختلفة بين عامي 2000 و2024. فشهدت فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا زيادة هائلة بنسبة446.81% عاكسةً تدهورًا بيئيًا خطرًا قد يكون ناتجًا عن الأنشطة البشرية غير المستدامة.

وفي المقابل تراجعت فئة الغطاء النباتي الضعيف بنسبة كبيرة بلغت 50.12%، مما قد يُفسّر بانتقال المساحات المفقودة إلى فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا. أمّا الفئة المتوسطة فتزايدت بنحو 25.19%، وهي زيادة كانت في مجملها على حساب مناطق الغطاء الكثيف الذي انخفضت نسبته بشكل حـاد لتبلغ 81.08%، وهو ما يـؤثـر

سلبًا على النظام البيئي في هذا النطاق.

ويظهر المعدل الإجمالي لتغيرات الغطاء النباتي قيمة مرتفعة بلغت 85.2% مشيرةً إلى التحولات الملحوظة بين فئات الغطاء النباتي المختلفة (من فئة أكثف إلى فئة أقل كثافة). وهذه النتائج تؤكد حدوث تدهورٍ واضح في كثافة الغطاء النباتي في هذا النطاق الحيوي من الإقليم.

الجدول (12) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ شبه الرطب حسب تصنيف إمبرجيه في الفترة من 2000– 2024.

حالة النبات	2000كم^2	2024كم^2	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	288.32	1576.55	446.81
ضعيف	1729.72	862.81	-50.12
متوسط	1755.83	2198.17	25.19
كثيف	1065.84	201.61	-81.08
المجموع/المعدل	4839.71	4839.14	85.2

المصدر: بيانات الشكل (7)

ب. المناخ شبه الجاف: حظيت فئات هذا المناخ النباتية بتحولات ملحوظة بين عامي 2000 و2024، جدول (13)، حيث زادت مساحات فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا بنسبة 30.43%، مما يرمز إلى اتساع كبير في المناطق التي تعاني من تدهور غطائها النباتي بشدة ويرجّح أن يكون عائدًا إلى الضغط الكبير على النظام البيئي والموارد الطبيعية في المناطق التي يغطيها.

وعلى الجانب الآخر تراجعت فئة الغطاء النباتي الضعيف بشكل كبير بنسبة 63.09%، مما يشير إلى انتقال العديد من مساحات هذه الفئة بتدهورها إلى فئة الضعيف جدًا.

جدول (13) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ شبه الجاف حسب تصنيف إمبرجيه في الفترة من 2000–2024

حالة النبات	2000كم^2	2024كم^2	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	5874.43	7662.22	30.43
ضعيف	3599.26	1328.66	-63.09
متوسط	1101.27	1674.95	52.09
كثيف	152.69	56.92	-62.72
المجموع/المعدل	10727.65	10722.75	-10.82

المصدر: بيانات الشكل (7).

أمّا الفئة المتوسطة فقد تزايدت مساحاتها بنسبة 52.09%، وترجع هذه الزيادة في الغالب إلى تحول المساحات المتدهورة من الفئة الكثيفة إليها، فقد تعرض الغطاء النباتي الكثيف في هذا النطاق إلى انخفاضٍ حادٍ وصلت نسبته إلى 62.72%، هذا التراجع يشير إلى خسارة كبيرة في الكثافة النباتية، وقد يزيد من مخاطر التصحّر والتدهور البيئي. وبلغ المعدل الإجمالي لتغيّر الغطاء النباتي 10.82%، وهي وإن كانت نسبة قليلة فهي لا تنفي وجود تدهور تظهر خطورته بوضوح أكبر في المناخات الحساسة كالنطاق شبه الجاف.

ج. المناخ الجاف: مر المناخ الجاف بتحولات في كثافة غطائه النباتي متميزة عن بقية الأنطقة المناخية في هذا التصنيف خلال الفترة من 2000 إلى 2024، وفقًا للجدول (14)، ففئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا سجلت زيادة ملحوظة بنسبة 39.41%، مما يشير إلى توسع كبير في المناطق التي تعاني من تدهور شديد في الغطاء النباتي.

كما تراجعت فئة الغطاء النباتي الضعيف بشكل حاد بنسبة 86.07%، هذا التراجع قد يكون ناتجًا عن انتقال هذه المناطق إلى فئة الضعيف جدًا بسبب التدهور البيئي، أمّا الفئة المتوسطة فقد شهدت زيادة ملحوظة بلغت نسبتها 334.94%، حيث تمددت مساحتها من 10.56 كم^2 عام 2000 إلى 45.93 كم^2 عام 2024، وهو ما يتفق مع النمط السائد في الإقليم.

أمّا الفئة الكثيفة وعلى الرغم من صغر مساحتها، فقد شهدت نسبة زيادة هائلة بلغت 215.27% يرجّح أنّها حدثت بسبب الأمطار المرافقة لعاصفة دانيال 2023، وما نتج عنها من تكوّن برك واسعة استمر وجودها حتى بداية فصل الصيف من عام 2024 ودعمت نمواتٍ نباتيةً كثيفة، لذلك فإنّ تأثير هذه الزيادة على حالة الغطاء النباتي العامة قد يكون مؤقّتًا. وبلغ المعدل الإجمالي لتغيّر كثافة الغطاء النباتي 125.89%، وهي قيمة كبيرة تعكس سرعة التحولات في حالة الغطاء النباتي ضمن هذا التصنيف.

الجدول (14) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ الجاف حسب تصنيف إمبرجيه في الفترة من 2000–2024.

حالة النبات	2000كم^2	2024كم^2	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	1999.42	2787.37	39.41
ضعيف	962.27	134.08	-86.07
متوسط	10.56	45.93	334.94
كثيف	0.72	2.27	215.04
المجموع/المعدل	2972.97	2969.65	125.89

المصدر: بيانات الشكل (7).

د. المناخ الجاف جدًا: شهدت فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا في هذا النطاق زيادة ضئيلة بنسبة 0.33%، حيث ارتفعت مساحته من 108.82 كم^2 في عام 2000 إلى 109.18 كم^2 في عام

2024، جدول (15)، وهي زيادة تأتت عن الانخفاض الحاد في مساحة فئة الغطاء النباتي الضعيف، حيث نالها التقلص بنسبة بلغت 98.34%، من 0.6 كم² في عام 2000 إلى 0.01 كم² في عام 2024، ويعكس هذا التغير انحدارًا بيئيًا في قدرة هذه المناطق على دعم حتى الغطاء النباتي الضعيف.

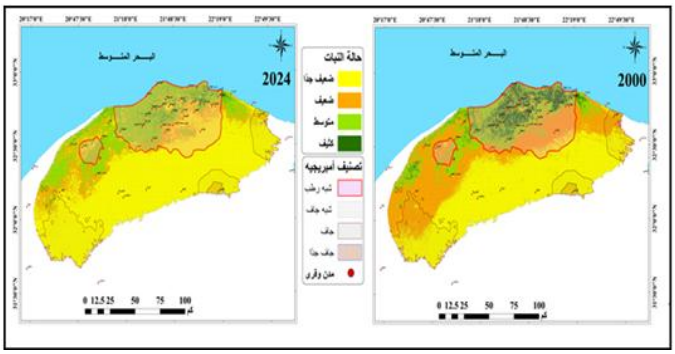
أمّا بالنسبة للمعدل الإجمالي لتغيّر الغطاء النباتي فوصل إلى 49.00%، وهو يشير في هذا التصنيف إلى تراجع مساحة الغطاء النباتي الضعيف، وإن كان الغطاء النباتي بشكل عام محدود الوجود في نطاق المناخ الجاف جدًا، ورغم أنّ هذا التراجع في المساحة الكلية للغطاء النباتي يدل على مواجهة هذه المناطق لتحديات بيئية كبيرة، لكن معدل التدهور ليس حادًا بما يكفي لإحداث تغيرات جذرية على المدى القصير.

الجدول (15) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ الجاف جدًا حسب تصنيف إمبرجيه في الفترة من 2000–2024.

حالة النبات	2000كم²	2024كم²	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	108.82	109.18	0.33
ضعيف	0.6	0.01	-98.34
المجموع/المعدل	109.42	109.19	-49.00

المصدر: بيانات الشكل (7).

الشكل (7) تدهور الغطاء النباتي حسب تصنيف امبريجيه في الفترة من 2000–2024



المصدر: من إعداد الباحثين، اعتمادًا على البيانات المناخية وبيانات الأقمار Landsat 5&8, SENTINEL-2B واستخدام ArcMap.

ومما تجدر ملاحظته أنّ هذا النطاق بالذات يتفرد عن بقية أنطقة هذا التصنيف باقتصار كثافة الغطاء النباتي فيه على فئتي الضعيف والضعيف جدًا. وبشكل عام تؤكد هذه النتائج على هشاشة مناطق المناخ الجاف جدًا في الجبل الأخضر، إذ يظل الغطاء النباتي فيها محدود المساحة نظرًا لقسوة ظروفه، حيث تتفاعل مجموعة من العوامل البيئية مثل ندرة الأمطار، وارتفاع درجات الحرارة، والانجراف والرعي الجائر بشكل مباشر مع حالة الغطاء النباتي، معززةً هشاشته واحتمالية تصحّره، وهو ما يجعله في مسيس الحاجة إلى استراتيجيات مستدامة متكاملة تعتمد آليات موجهة للحفاظ على الموارد المائية، ودعم مقاومة التصحّر.

3. تدهور الغطاء النباتي حسب تصنيف ثورنثويت:

أ. المناخ شبه الرطب: تُظهر البيانات المتعلقة بتغير الغطاء النباتي في نطاق المناخ شبه الرطب حسب تصنيف ثورنثويت، الجدول (16) والشكل (8)، تحولات كبيرة ومتباينة بين الفئات النباتية المختلفة في الفترة من 2000 إلى 2024.

فئة الغطاء النباتي الضعيف جدًا شهدت زيادة هائلة بنسبة 962.64%، حيث توسعت مساحاتها من 92.42 كم² في عام 2000 إلى 982.1 كم² في عام 2024. وهذا التوسّع الكبير يعكس تدهورًا بيئيًا خطرًا قد يكون ناتجًا عن كثافة السكّان وأنشطتهم المختلفة. أمّا فئة الغطاء النباتي الضعيف فقد تراجعت بشكل ملحوظ بنسبة 44.92%، حيث انكمشت مساحتها من 1095.74 كم² إلى 603.48 كم²، وقد يكون هذا التراجع ناتجًا عن انتقال بعض مساحات هذه الفئة إلى فئة أدنى أو أعلى.

والفئة المتوسطة شهدت زيادة بنسبة 25.28%، إذ اتسعت مساحتها من 1162.34 كم² في عام 2000 إلى 1456.12 كم² في عام 2024، وهو ما يتضح من ملاحظة تناقص الفئة الكثيفة، التي أزيحت مساحات منها إلى هذه الفئة.

أمّا الفئة الكثيفة، فقد تعرضت لانخفاض حاد بنسبة 81.70%، حيث تقلصت مساحتها من 846.41 كم² في عام 2000 إلى 154.9 كم² في عام 2024. هذا التضاؤل يعكس ضغوطًا بيئية شديدة ترتبط في الغالب بالنشاط البشري المكثف في هذا النطاق.

ويشير معدّل التغيّر الإجمالي المرتفع والبالغ 215.32% إلى تحولات واضحة بين فئات الغطاء النباتي في هذا النطاق الذي يحوي أكبر التجمعات السكّانية بالإقليم وما يرافقها من أنشطة بشرية تعمّق حدّة التدهور.

الجدول (16) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ شبه الرطب حسب تصنيف ثورنثويت في الفترة من 2000–2024.

حالة النبات	2000كم²	2024كم²	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	92.42	982.1	962.64
ضعيف	1095.74	603.48	-44.92
متوسط	1162.34	1456.12	25.28
كثيف	846.41	154.9	-81.70
المجموع/المعدل	3196.91	3196.6	215.32

المصدر: بيانات الشكل (8).

ب. المناخ شبه الجاف: يُظهر الجدول (17) تغييرات لافتة في مساحات الفئات النباتية بين عامي 2000 و2024 في منطقة المناخ شبه الجاف، مسجلًا تباينًا كبيرًا في كثافة الغطاء النباتي، حيث شهدت بعض الأنواع زيادة في مساحتها بينما تراجعت أخرى بشكل ملحوظ.

فبالنسبة للفئة النباتية الضعيفة جدًا فرُصدت زيادة بنسبة 35.99% في المساحة من 7545.50 كم^2 إلى 10260.95 كم^2، يفسّرها التناقص الحاصل في الفئة الضعيفة البالغة نسبته 65.97%، حيث انخفضت المساحة من 4849.98 كم^2 إلى 1650.35 كم^2 كاشفةً تدهورًا بيّنًا في هذه الفئة. في المقابل شهدت الفئة المتوسطة زيادة بنسبة 44.01%، فتمددت مساحتها من 1677.92 كم^2 إلى 2416.41 كم^2، بينما تقلصّت الفئة الكثيفة بصورة حادةٍ وصلت نسبتها 71.59%، حيث انحسرت المساحة من 364.89 كم^2 إلى 103.67 كم^2. وبلغ معدّل التغيّر العام 14.39%، وهي لا تعد نسبة كبيرة مقارنة بالنطاق السابق.

الجدول (17) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ شبه الجاف حسب تصنيف ثورنثويت في الفترة من 2000–2024.

حالة النبات	2000كم^2	2024كم^2	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	7545.50	10260.95	35.99
ضعيف	4849.98	1650.35	-65.97
متوسط	1677.92	2416.41	44.01
كثيف	364.89	103.67	-71.59
المجموع/المعدل	14438.29	14431.38	-14.39

المصدر: بيانات الشكل (8)

ج. المناخ الجاف: فئة النبات الضعيف جدًا في هذا المناخ نالت زيادة ملحوظة بنسبة 41.09%، حيث ارتفعت مساحتها من 632.16 كم^2 إلى 891.91 كم^2، هذه الزيادة تشير إلى مقدار التدهور الذي تعاني منه المنطقة في التحول من فئات أكثر كثافة إلى فئات أدنى كثافة. أمّا فئة النبات الضعيف، في المقابل، فقد عانت من تراجع حاد بنسبة 79.29%، حيث انخفضت المساحة من 346.92 كم^2 إلى 71.86 كم^2، وقد يعكس هذا تحديات بيئية مثل التصحّر أو سوء الإدارة البيئية أو سوء استغلال الأرض.

وزادت الفئة المتوسطة هي الأخرى بنسبة 68.30%، حيث ارتفعت مساحتها من 28.13 كم^2 إلى 47.35 كم^2، وهو ما يدل على التدهور الكبير الطارئ على فئة النبات الكثيف، حيث تقلصت بنسبة 71.83% بانخفاض مساحتها من 8.02 كم^2 إلى 2.26 كم^2، الجدول (18).

في هذا النطاق أيضًا اتّسم معدل التغير الإجمالي بصغره، حيث بلغت نسبته 10.42 % آخذًا بذلك نمط النطاق السابق.

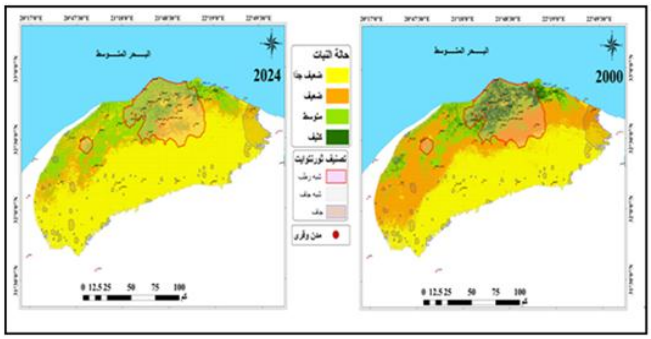
بشكل عام هناك تدهورٌ واضحٌ في كثافة الغطاء النباتي في الإقليم، حيث زادت المساحات ذات الغطاء النباتي الضعيف جدًا والمتوسط بشكل كبير، وتقلّصت مساحات الغطاء النباتي الكثيف والضعيف. ويمكن تجنب العديد من مشاكل التدهور من التركيز على برامج الإدارة المستدامة للغطاء النباتي.

الجدول (18) تدهور الغطاء النباتي داخل المناخ الجاف حسب تصنيف ثورنثويت في الفترة من 2000–2024

حالة النبات	2000كم^2	2024كم^2	نسبة التغير %
ضعيف جدًا	632.16	891.91	41.09
ضعيف	346.92	71.86	-79.29
متوسط	28.13	47.35	68.33
كثيف	8.02	2.26	-71.82
المجموع/المعدل	1015.23	1013.38	-10.42

المصدر: بيانات الشكل (8)

الشكل (8) تدهور الغطاء النباتي حسب تصنيف ثورنثويت في الفترة من 2000–2024



المصدر: من إعداد الباحثين، بالاعتماد على البيانات المناخية وبيانات الأقمار Landsat 5&8, SENTINEL-2B واستخدام ArcMap

الخاتمة:

تناولت هذه الدراسة تصنيف مناخ إقليم الجبل الأخضر في ليبيا وتحليل تدهور كثافة الغطاء النباتي كأحد مظاهر التصحّر باستخدام ثلاثة نماذج تصنيف مناخي (كوبن، وإمبرجيه، ثورنثويت)، مع الاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد لرصد التغيرات في الغطاء النباتي بين عامي 2000 و2024. تؤكد هذه الدراسة على الأهمية البالغة لفهم العلاقة بين التصنيفات المناخية وتدهور كثافة الغطاء النباتي في إقليم الجبل الأخضر، الذي يعد نظامًا بيئيًا فريدًا في ليبيا.

وأظهرت النتائج أنّ الإقليم يواجه تحديات بيئية خطرة، خاصة في ظل زيادة الأنشطة البشرية غير المستدامة.

إنّ التدهور الحاد في كثافة الغطاء النباتي، خاصة في المناطق الرطبة وشبه الجافة، يُعدّ إنذارًا واضحًا لتفاقم مشكلة التصحّر، مما يستدعي اتخاذ إجراءات عاجلة لمعالجته ووقفه. يجب أنْ تشمل هذه الإجراءات تعزيز المراقبة البيئية باستخدام التقنيات الحديثة، وتحسين إدارة الموارد المائية، وتنفيذ برامج إعادة التشجير، ورفع الوعي البيئي لدى السكان المحليين.

ختامًا فإنّ الحفاظ على النظام البيئي الاستثنائي في إقليم الجبل الأخضر ليس فقط مسؤولية محلية، بل هو جزء من الجهود العالمية لمكافحة التصحّر وحماية التنوع البيولوجي. يُؤمل أنْ تكون هذه الدراسة نقطة انطلاق لبحوث مستقبلية أكثر تفصيلاً تهدف إلى وضع استراتيجيات فعالة لضمان استدامة الموارد الطبيعية للأجيال القادمة.

قائمة المراجع:

– محمد، مختار عشري عبد السلام. (2005). مظاهر تصحر الأراضي الزراعية وطرق مكافحته في القسم الشمالي من الجبل الاخضر، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، جامعة بنغازي، بنغازي.

– نوح، سعيد إدريس. (1998). مناخ الجبل الأخضر، دراسة تحليلية لأصناف المناخ، رسالة ماجستير (غير منشورة)، جامعة بنغازي، كلية الآداب، قسم الجغرافيا، ليبيا.

- Ali, F. F., Buhedma, A. S., & Nouh, T. A. (2024). Land Degradation and Desertification. In Achieving Food Security Through Sustainable Agriculture (pp. 50-80). IGI Global.

- Al-Kulabi, A. K. J. (2022). The Concept of Desertification, Its Causes and Effects, and Treatments. Journal La Lifesci, 3(1).

- Atkinson, K. (2023). Libya's Soil Resources and Their Potential for Sustained Agricultural Production. The Economic Development of Libya.

- Bandira, P. N. A., Tan, M. L., Teh, S. Y., Shaharudin, S. M., Samat, N., & Mahamud, M. A. (2023, September). Assessment of NASA POWER for climate change analysis using the de Martonne Climate Index in Northern Peninsular Malaysia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1238, No. 1). IOP Publishing.

- Burgener, L., Hyland, E., Reich, B. J., & Scotese, C. (2023). Cretaceous climates: Mapping paleo-Köppen climatic zones using a Bayesian statistical analysis of lithologic, paleontologic, and geochemical proxies. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 613, 111373.

- Emberger, L. (1955) Une classification Biogéographique des Climats. Recueil des Travaux des Laboratoires de Botanique, Géologie et Zoologie de la Faculté des Sciences de L'Université de Montpellier, Série Botanique, 7, 3-43.

- Gommes, R., & di Caracalla, V. D. T. (1979). The integration of Remote Sensing and agrometeorology in FAO. di Caracalla, 1-00100.

- Gutierrez, L., Huerta, A., Sabino, E., Bourrel, L., Frappart, F., & Lavado-Casimiro, W. (2023). Rainfall Erosivity in Peru: A New Gridded Dataset Based on GPM-IMERG and Comprehensive Assessment (2000–2020). Remote Sensing, 15(22).

- Hanberry, B. B. (2023). Global Climate Classification and Comparison to Mid-Holocene and Last Glacial Maximum Climates, with Added Aridity Information and a Hypertropical Class. Earth, 4(3).

- Huang, F., Jiang, S., Zhan, W., Bechtel, B., Liu, Z., Demuzere, M., ... & Chen, J. (2023). Mapping local climate zones for cities: A large review. Remote Sensing of Environment, 292, 113573.

- Joaquín, C., Neuman, M., Rojas, A., Eriksson, A., & Rosvall, M. (2021). Regularities in species' niches reveal the world's climate regions. eLife, 10.

- Katyal, J. C., & Vlek, P. L. (2000). Desertification: concept, causes and amelioration (No. 33). ZEF discussion papers on development policy.

- Köppen, W., & Geiger, R. (Eds.). (1930). Handbuch der klimatologie (Vol. 1). Berlin: Gebrüder Borntraeger.

- Lal, R. A. T. T. A. N. (2001). Soil degradation by erosion. Land degradation & development, 12(6).

- Mahklouf, M. H., & Etayeb, K. S. (2018). Biodiversity in Libya. In Global Biodiversity (pp. 113-132). Apple Academic Press.

- Navarro, A., Merino, A., Sánchez, J. L., García-Ortega, E., Martín, R., & Tapiador, F. J. (2022). Towards better characterization of global warming impacts in the environment through climate classifications with improved global

models. International Journal of Climatology, 42(10).
- Pinto-Ramos, D., Clerc, M. G., Makhoute, A., & Tlidi, M. (2024). Vegetation clustering and self-organization in inhomogeneous environments. arXiv preprint arXiv:2406.12581.
- Rosa, S. L. K., Souza, J. L. M. D., & Santos, A. A. D. (2023). Data from NASA Power and surface weather stations under different climates on reference evapotranspiration estimation. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 58, e03261.
- Strohmenger, L., Collet, L., Andréassian, V., Corre, L., Rousset, F., & Thirel, G. (2024). Köppen–Geiger climate classification across France based on an ensemble of high-resolution climate projections. Comptes Rendus. Géoscience, 356(G1).
- Syed, Amer, Mahmood., Zainab, Tahir., Saira, Batool., Amer, Masood., Muhammad, Haseeb. (2023). Appraisal of climate change disaster and food security in khyber pakhtunkhaw pakistan using geospatial technologies. The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences, XLVIII-M-1-2023:425-432. doi: 10.5194/isprs-archives-xlviii-m-1-2023-425-2023.
- Tayyeh, H. K., & Mohammed, R. (2023). Analysis of NASA POWER reanalysis products to predict temperature and precipitation in Euphrates River basin. Journal of Hydrology, 619, 129327.
- Thornthwaite, C. W. (1931). The climates of North America: according to a new classification. Geographical review, 21(4), 633-655.
- Vessella, F., & Schirone, B. (2022). Forest conservation and restoration using the emberger index: cork Oak as study case. Forests, 13(2), 252.
- Xin, L. (2023). Proposal of a new climate classification based on Köppen and Trewartha.