ISSN: 1817-6798 (Print)
Journal of Tikrit University for Humanities
available online at: www.jtuh.org/

Cloud Cover Cartographic Modeling in Salah Al-Din Governorate Using Remote Sensing Techniques

Mai Abd Ali

Tikrit University – College of Education for Humanities

Sedeeq Mustafa jasim

Tikrit University – College of Education for Humanities

* *Corresponding author: E-mail* : mayabd423@gmail.com

***Keywords*:**
Cloud Cover,
Cartographic Modeling,
Remote Sensing,
Salah Al-Din Governorate,
Optical Variables

A R T I C L E I N F O

Article history:
Received 2 Jan 2026
Received in revised form 20 Jan 2026
Accepted 22 Jan 2026
Final Proofreading 29 Apr 2026
Available online 29 Apr 2026
E-mail t-jtuh@tu.edu.iq

©THIS IS AN OPEN ACCESS ARTICLE UNDER THE CC BY LICENSE
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

A B S T R A C T

This study aims to analyze and monitor cloud cover in Salah Al-Din Governorate using Remote Sensing (RS) techniques and Geographic Information Systems (GIS), by utilizing satellite imagery and interpreting relevant spectral indices. An integrated cartographic model was developed to represent high-accuracy cloud cover maps, applying modern cartographic design principles to achieve visual balance and data clarity. The study focused on comparing the effectiveness of square and hexagonal grids in visually representing spatial data. It found that the map model using a square grid with blue color gradients achieved the highest level of visual perception, with an average clarity score of 72.95, due to its balance between element visibility and design effectiveness. However, the results showed that hexagonal grids provided better uniformity in data distribution and higher accuracy in visual perception. Therefore, the study recommends adopting hexagonal grid models in future climate mapping due to their high representational efficiency and visual appeal, which enhance the accuracy of geographic and cartographic analysis and support decision-makers in understanding climate phenomena more precisely.

DOI: http://doi.org/10.25130/jtuh.33.4.2.2026.8

Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities Journal of Tikrit University for Humanities

النمذجة الخرائطية للغطاء الغيمي في محافظة صلاح الدين باستخدام الاستشعار عن بعد

مي عبد علي/ جامعة تكريت – كلية التربية للعلوم الانسانية
صديق مصطفى جاسم/ جامعة تكريت – كلية التربية للعلوم الانسانية

الخلاصة:

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل ورصد الغطاء الغيمي في محافظة صلاح الدين باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد (RS) ونظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، من خلال الاستفادة من مرئيات الأقمار الاصطناعية

وتفسير المؤشرات الطيفية ذات العلاقة. وقد تم تطوير نموذج كارتوغرافي متكامل لتمثيل خرائط الغطاء الغيمي بدقة عالية، مع تطبيق مبادئ التصميم الكارتوغرافي الحديث لتحقيق توازن بصري ووضوح في عرض البيانات. ركزت الدراسة على مقارنة فعالية الشبكات المربعة والسداسية في تمثيل البيانات المكانية بصريًا، حيث توصلت إلى أن نموذج خريطة شبكة المربعات ذات التدرجات اللونية الزرقاء حقق أعلى مستوى من الإدراك البصري بمتوسط تبصير بلغ ٧٢.٩٥، نتيجة التوازن بين وضوح العناصر وفعالية التصميم. ومع ذلك، بينت النتائج أن الشبكات السداسية توفر تجانسًا أفضل في توزيع البيانات، وتتفوق من حيث دقة الإدراك البصري. وعليه، توصي الدراسة باعتماد النماذج الشبكية السداسية في إعداد الخرائط المناخية المستقبلية، نظرًا لما توفره من كفاءة تمثيلية عالية وجاذبية بصرية تعزز دقة التحليل الجغرافي والكارتوغرافي، مما يدعم متخذي القرار في فهم الظواهر المناخية بشكل أدق.

الكلمات المفتاحية : الغطاء الغيمي ، النمذجة الخرائطية ، الاستشعار عن بعد، محافظة صلاح الدين ، المتغيرات البصرية.

المقدمة:

يعد الاستشعار عن بعد (Remote Sensing) من الأدوات الأساسية في دراسة الغلاف الجوي وفهم التغيرات المناخية، إذ يوفر هذا المجال وسيلة فعالة للحصول على بيانات آنية وشاملة دون الحاجة إلى التلامس المباشر مع سطح الأرض أو الغلاف الجوي .وقد تطور استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد في التطبيقات الجوية والمناخية بشكل ملحوظ بفضل التقدم في تكنولوجيا الأقمار الصناعية والمستشعرات المتخصصة، التي تتيح جمع معلومات دقيقة عن عناصر الطقس مثل السحب، ودرجة الحرارة، والهطول، والرطوبة، وسرعة الرياح.[1]

وتعد السحب من أبرز العناصر التي يمكن رصدها وتحليلها من خلال الاستشعار عن بعدRS ، إذ تسجل الأقمار الصناعية بيانات طيفية متعددة تستخدم في تصنيف أنواع السحب، وتقدير ارتفاعها، وكثافتها، وتوزيعها الزماني والمكاني، وعلى سبيل المثال تعتمد مستشعرات مثل MODIS و GOESعلى نطاقات الأشعة تحت الحمراء والمرئية والميكروويف لتمييز السحب عن سطح الأرض وتحديد خصائصها الفيزيائية .[2]ومن خلال هذه البيانات، يمكن إعداد خرائط دقيقة توضح الامتداد المكاني لأنواع مختلفة من السحب، وهو ما يعد أساساً مهماً في التنبؤ بالأمطار والعواصف، وكذلك في تحليل ديناميكية الغلاف الجوي.

وتعد عملية تصميم وتطوير خرائط الغطاء الغيمي من العمليات الأساسية في علم الجغرافيا المكانية ونظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، التي تهدف إلى تمثيل وتحليل التوزيع المكاني والزماني للغيوم فوق سطح الأرض .يعرف الغطاء الغيمي (Cloud Cover) بأنه النسبة المئوية أو الكمية المكانية للغيوم التي تغطي

منطقة معينة في لحظة زمنية محددة، وهو عامل جوهري يؤثر على المناخ المحلي، التوازن الإشعاعي، وهطول الأمطار(Ackerman & Knox, 2015,P.134).

ويهدف هذا البحث إلى إعداد خرائط متقدمة تمثل الغطاء الغيمي في محافظة صلاح الدين، مع التركيز على استخدام مجموعة من الطرق الخرائطية التي تشمل خرائط) السداسية ، المربعات ، المثلثات (وتم اختيار هذه الطرق بناءً على قدرتها العالية على تمثيل البيانات المناخية بصورة بصرية واضحة وذات بعد مكاني وزماني متكامل، مما يسهل فهم التوزيع المكاني للغطاء الغيمي والتغيرات الديناميكية التي تطرأ عليه.

مشكلة الدراسة:

- ما هي الخصائص المكانية والزمانية لتوزيع الغطاء الغيمي في محافظة صلاح الدين كما تظهر في صور الأقمار الصناعية؟
- ما مدى كفاءة الأساليب الرقمية الحديثة في إنتاج خرائط غطاء غيمي دقيقة؟
- هل توجد فروقات كارتوغرافية ملحوظة بين النماذج الخرائطية التقليدية للغطاء الغيمي في المنطقة؟

فرضية الدراسة :

- يتوزع الغطاء الغيمي في محافظة صلاح الدين بشكل غير منتظم مكانياً وزمانياً، ويمكن الكشف عن أنماطه عبر النمذجة الرقمية.
- تسهم صور الأقمار الصناعية في توفير قاعدة بيانات دقيقة تستخدم في إنتاج خرائط غطاء غيمي ذات تمثيل كارتوغرافي فعال.
- تؤدي النمذجة الكارتوغرافية إلى تحسين جودة الخريطة التقليدية في عرض الغطاء الغيمي.

أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة إلى تحقيق مجموعة من الأهداف العلمية والتطبيقية، تتلخص فيما يلي:

- تطوير نموذج كارتوغرافي دقيق لتمثيل خرائط الغطاء الغيمي في محافظة صلاح الدين باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، مع مراعاة مبادئ التصميم الكارتوغرافي الحديثة.
- تحليل التوزيع المكاني والزماني للغطاء الغيمي في محافظة صلاح الدين المرافقة للمنخفض المتوسطي والسوداني، بهدف فهم الأنماط والتغيرات المرتبطة بها.
- تقديم توصيات تصميمية لتعزيز جودة وفعالية خرائط الغطاء الغيمي في الاستخدامات البحثية والإدارية، مع إمكانية تعميم النموذج على مناطق مشابهة.

مناهج الدراسة:

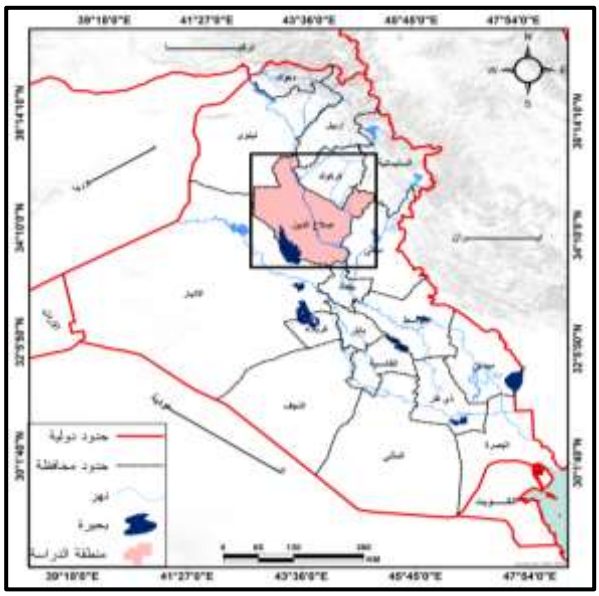
تعتمد هذه الدراسة على مجموعة من المناهج الجغرافية المتكاملة التي تتيح فهماً شاملاً ودقيقاً لظاهرة الغطاء الغيمي وتمثيلها خرائطياً، ومن أبرزها:

- المنهج الوصفي :يركز هذا المنهج على وصف وتحليل الظواهر المناخية المرتبطة بتأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني على توزيع الغطاء الغيمي في محافظة صلاح الدين.
- المنهج المكاني :يعتمد هذا المنهج على تحليل التوزيع المكاني للغطاء الغيمي باستخدام نظم المعلومات الجغرافية .(GIS)
- المنهج الكمي :يشمل هذا المنهج استخدام الأدوات الرقمية والإحصائية لمعالجة وتحليل البيانات الرقمية المجمعة من الأقمار الصناعية ومحطات الأرصاد الجوية .
- المنهج الكارتوغرافي :يركز على تطبيق المبادئ الكارتوغرافية الحديثة في تصميم وإخراج خرائط الغطاء الغيمي .

موقع منطقة الدراسة :

تقع محافظة صلاح الدين في الجزء الشمالي من المنطقة الوسطى من العراق، وتمتد فلكياً بين دائرتي عرض)ً14 10ً36 ْ0 – ً27 ً ْ (33شمالاً، وخطي طول) ً45 0ً45 ْ0 – ً27 ً ْ (31شرقاً، يحد المحافظة من الشمال محافظتي أربيل ونينوى، ومن الشرق محافظات كركوك والسليمانية وديالى، ومن الجنوب محافظة بغداد، أما من الغرب فتحدها محافظتي نينوى والأنبار، كما هو مبين في الخريطة .(1) تبلغ مساحة محافظة صلاح الدين نحو (24,751) كم^2، وتشكل ما نسبته (5.65%) من المساحة الكلية لجمهورية العراق.

خريطة (1) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر :من عمل الباحثة بالاعتماد على وزارة الموارد المائية، الهيئة العامة للمساحة خريطة العراق الادارية , مقياس 1000000 :1 لسنة.2010

مميزات استخدام الأقمار الصناعية مقارنة بالرصد الأرضي في مراقبة السحب:

تعد الأقمار الصناعية من أهم الأدوات المستخدمة في علم الأرصاد الجوية الحديثة، خصوصاً في مجال رصد الغيوم وتطوراتها .وقد أظهرت الدراسات أن استخدام تقنيات الاستشعار عن بعد من الفضاء يوفر مزايا نوعية مقارنة بأنظمة الرصد الأرضي، مما يجعلها أكثر كفاءة في تحليل التوزيع المكاني، البنية الرأسية، والديناميكية الزمنية للسحب على نطاق واسع (Jensen, 2007,P19).

1-التغطية الشاملة للسحب عالمياً:(Global Cloud Coverage)

توفر الأقمار الصناعية، بخلاف المحطات الأرضية المحدودة النطاق، رؤية شاملة لتوزيع الغيوم على مستوى الكرة الأرضية، بما في ذلك فوق المحيطات والمناطق الجبلية والقطبية، حيث يصعب أو يتعذر تثبيت أجهزة أرضية (Longley et al., 2015,P.55).

2-المراقبة الزمنية المستمرة:(Continuous Temporal Monitoring)

تمكن الأقمار الصناعية الثابتة مثل GOES و Meteosatمن تتبع تشكل الغيوم، نموها، وحركتها بشكل لحظي كل 5 إلى 15 دقيقة، وهو أمر لا توفره أدوات الرصد الأرضي التي تجرى فيها القياسات بفواصل زمنية أطول وأحياناً في ظروف جوية تعيق الرؤية(Baltsavias, 1999) .

3-الرصد العمودي لبنية السحب:(Vertical Profiling of Cloud Structure)

تستخدم الأقمار الصناعية المتخصصة مثل) CloudSat الرادار (و) CALIPSOالليدار (تقنيات فعالة لرسم مقاطع رأسية دقيقة للسحب، بما في ذلك ارتفاعاتها، طبقاتها، وسماكتها، وهو ما تعجز عنه أغلب أجهزة الرصد الأرضي(National Research Council, 2007) .

4- تمييز أنواع السحب عبر النطاقات الطيفية(Cloud Type Differentiation Using Spectral Bands)

تتيح بيانات الأقمار الصناعية متعددة الأطياف) مثل MODIS و (VIIRSالقدرة على تمييز أنواع السحب المختلفة) ركامية، طبقية، سمحاقية (بناءً على خصائصها الإشعاعية ودرجة حرارتها، وهو أمر يتطلب أدوات متقدمة في الرصد الأرضي(Kidder & Vonder Haar, 1995) .

5-مراقبة تطور السحب المرتبطة بالكوارث(Cloud Monitoring During Severe Events)

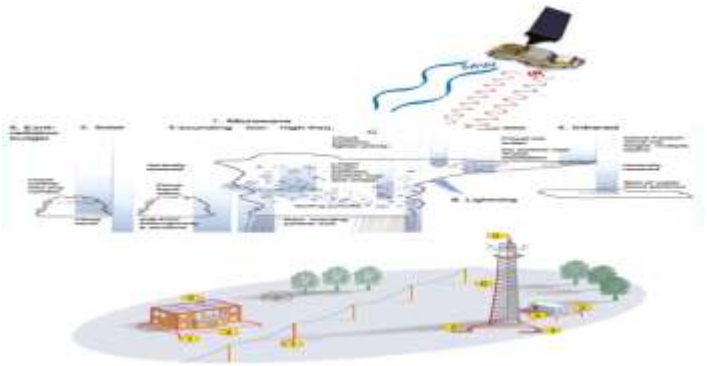
توفر الأقمار الصناعية أدوات فعالة في رصد السحب الركامية العاصفة والغيوم المصاحبة للأعاصير والعواصف الرعدية، ما يسهم في إصدار الإنذارات المبكرة وتحليل الديناميكيات الجوية الحرجة (Stephens et al., 2002).

جدول (1) مقارنة خصائص السحب حسب الرصد الارضي والاقمار الاصطناعية

المعيار	الرصد الأرضي للسحب	الرصد بالأقمار الصناعية للسحب
التغطية المكانية للسحب	محلية ومحدودة	عالمية) بر و بحر(
الرصد الزمني	متقطع / حسب التوفر	لحظي أو شبه لحظي 15-5) دقيقة(
التحليل العمودي لبنية السحب	محدود جداً	متقدم باستخدام الليدار والرادار
التمييز بين أنواع السحب	يحتاج أدوات متخصصة	ممكن باستخدام البيانات الطيفية
تحليل السحب أثناء الكوارث الجوية	يتأثر بالظروف الميدانية	موثوق وسريع في كل الظروف

Voigt, S., Kemper, T., Riedlinger, T., Kiefl, R., Scholte, K., & Mehl, H. (2007). Satellite image analysis for disaster and crisis-management support. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45(6), 1520–1528. https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895830

شكل (1) يوضح آلية الرصد بالأقمار الاصطناعية والرصد الارضي للسحب



المصدر :بالاعتماد على.AI

جدول (٢) الحزم الطيفية لمستشعر (Terra MODIS) المستخدم في مراقبة الغيوم

رقم الباند	الطول الموجي (µm)	الدقة المكانية (متر)	الاستخدامات العامة	استخدامه في رصد الغيوم
Band 1	٠.٦٢٠ – ٠.٦٧٠	٢٥٠	الانعكاسية، الغطاء النباتي	يستخدم لتحديد الغيوم مقابل الأرض
Band 2	٠.٨٤١ – ٠.٨٧٦	٢٥٠	مؤشرات الغطاء النباتي، التمييز بين الأرض والغيوم	مفيد في تصنيف السحب
Band 3	٠.٤٥٩ – ٠.٤٧٩	٥٠٠	المحيطات، الجزيئات في الغلاف الجوي	محدود في تحليل السحب
Band 4	٠.٥٤٥ – ٠.٥٦٥	٥٠٠	التربة والنباتات	لا يستخدم
Band 5	١.٢٣٠ – ١.٢٥٠	٥٠٠	تحليل الثلج، الفرق بين الثلوج والغيوم	يستخدم أحياناً للتمييز بين الغيوم والثلج
Band 6	١.٦٢٨ – ١.٦٥٢	٥٠٠	رصد الجليد، تمييز السحب العالية	حساس للسحب الرقيقة
Band 7	٢.١٠٥ – ٢.١٥٥	٥٠٠	حرائق الغابات، الثلج، تقييم التبخر	يستخدم في التمييز بين الغيوم والأرض
Band 8	٠.٤٠٥ – ٠.٤٢٠	١٠٠٠	تلوث الغلاف الجوي	لا يستخدم
Band 9	٠.٤٣٨ – ٠.٤٤٨	١٠٠٠	توزيع الأوزون	
Band 10	٠.٤٨٣ – ٠.٤٩٣	١٠٠٠	جودة المياه	
Band 11	٠.٥٢٦ – ٠.٥٣٦	١٠٠٠	الكلوروفيل	
Band 12	٠.٥٤٦ – ٠.٥٥٦	١٠٠٠	الكلوروفيل	
Band 13	٠.٦٦٢ – ٠.٦٧٢	١٠٠٠	الانعكاسية	
Band 14	٠.٦٧٣ – ٠.٦٨٣	١٠٠٠	الانعكاسية	
Band 15	٠.٧٤٣ – ٠.٧٥٣	١٠٠٠	مؤشرات النباتات	
Band 16	٠.٨٦٢ – ٠.٨٧٧	١٠٠٠	مؤشرات النباتات	
Band 17	٠.٨٩٠ – ٠.٩٢٠	١٠٠٠	رطوبة الجو	تحليل رطوبة تدعم تشكل السحب
Band 18	٠.٩٣١ – ٠.٩٤١	١٠٠٠	بخار الماء	مهم جداً لرصد بخار الماء في السحب
Band 19	٠.٩١٥ – ٠.٩٦٥	١٠٠٠	بخار الماء	لا يستخدم
Band 20	٣.٦٦٠ – ٣.٨٤٠	١٠٠٠	درجات الحرارة، انبعاث حراري	رصد حرارة قمم السحب
Band 21	٣.٩٢٩ – ٣.٩٨٩	١٠٠٠	درجة حرارة سطح الأرض	لا يستخدم
Band 22	٣.٩٢٩ – ٣.٩٨٩	١٠٠٠	حرارة السحب	أساسي لتحليل حرارة قمم السحب

Band 23	٤.٠٢٠ – ٤.٠٨٠	١٠٠٠	انبعاث حراري	لا يستخدم
Band 24	٤.٤٣٣ – ٤.٤٩٨	١٠٠٠	إشعاع حراري	
Band 25	٤.٤٨٢ – ٤.٥٤٩	١٠٠٠	تحليل الحرارة	
Band 26	١.٣٦٠ – ١.٣٩٠	١٠٠٠	السحب العالية	من أهم الباندات لرصد السحب العالية والرقيقة
Band 27	٦.٥٣٥ – ٦.٨٩٥	١٠٠٠	بخار الماء في طبقات الجو العليا	تحليل الرطوبة لدعم تشكل السحب
Band 28	٧.١٧٥ – ٧.٤٧٥	١٠٠٠	بخار الماء	لا يستخدم
Band 29	٨.٤٠٠ – ٨.٧٠٠	١٠٠٠	امتصاص الأوزون، حرارة السحب	
Band 30	٩.٥٨٠ – ٩.٨٨٠	١٠٠٠	حرارة، تحليل بخار الماء	
Band 31	١٠.٧٨٠ – ١١.٢٨٠	١٠٠٠	تحليل السحب بالأشعة تحت الحمراء	تحديد درجة حرارة السحب
Band 32	١١.٧٧٠ – ١٢.٢٧٠	١٠٠٠	تحليل فرق الإشعاع بين الغيوم وسطح الأرض	
Band 33	١٣.١٨٥ – ١٤.٢٣٥	١٠٠٠	تصنيف السحب، درجات حرارة دقيقة	تحديد ارتفاع قمة السحب
Band 33	١٣.١٨٥ – ١٣.٤٨٥	١٠٠٠	تصنيف السحب، درجات حرارة دقيقة	
Band 34	١٣.٤٨٥ – ١٣.٧٨٥	١٠٠٠	تصنيف السحب، درجات حرارة دقيقة	
Band 35	١٣.٧٨٥ – ١٤.٠٨٥	١٠٠٠	تصنيف السحب، درجات حرارة دقيقة	
Band 36	١٤.٠٨٥ – ١٤.٣٨٥	١٠٠٠	تصنيف السحب، درجات حرارة دقيقة	

١- النطاقات من ١ إلى ١٩ تقاس بوحدة النانومتر (nm)، أما النطاقات من ٢٠ إلى ٣٦ فتقاس بوحدة الميكرومتر (μm).

٢- قيم الإشعاع الطيفي تقاس بوحدة (واط / متر² – ميكرومتر – ستراديان).

٣- SNR = نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Signal-to-noise ratio).

٤- NE(Δ)T = الفرق في درجة الحرارة المكافئ للضوضاء (Noise-equivalent temperature difference).

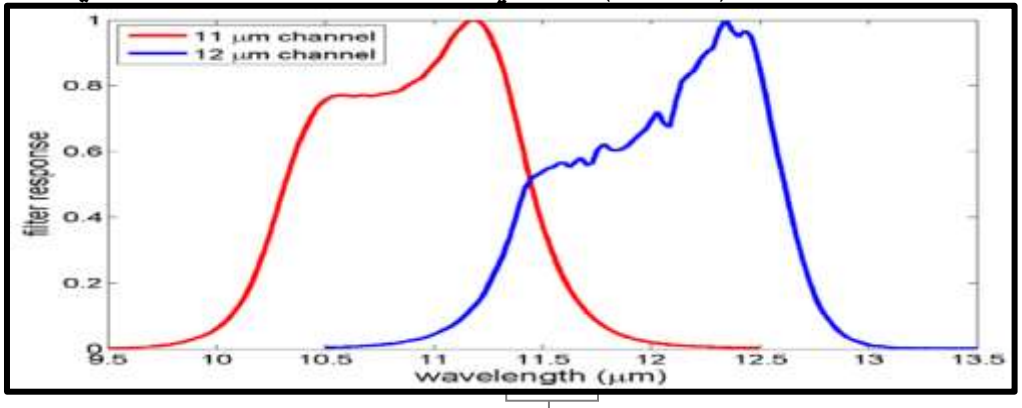
٥- ملاحظة: الهدف من الأداء أن يكون أفضل بنسبة ٣٠–٤٠٪ من الحد الأدنى المطلوب.

NASA MODIS Website — Instrument Characteristics . https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php

جدول (٣) الخصائص الغيوم والقنوات المستخدمة لرصدها في القمر الاصطناعي (MODIS–Terra)

رقم	خاصية الغيوم	القنوات المستخدمة (MODIS)	ملاحظات
١	درجة حرارة قمة السحابة (Cloud Top Temp – CTT)	٣١ (١١ µm) و٣٢ (١٢ µm)	تحسب من إشعاع الأشعة تحت الحمراء، تعبر عن برودة أو حرارة الغيوم العليا
٢	ارتفاع قمة السحابة (Cloud Top Height – CTH)	القناة ٣١ (مع درجة حرارة الطبقات الجوية من نماذج الطقس)	يستنتج عبر مقارنة درجة حرارة قمة السحابة مع درجات حرارة الطبقات الجوية
٣	سمك السحابة البصري (Cloud Optical Thickness – COT)	١ (٠.٦٤٥ µm)، 2 (0.859 µm)، 5 (1.24 µm)، 6 (1.63 µm)	يحسب باستخدام العلاقة مع نصف القطر الفعال وإشعاع القناة المرئية أو NIR
٤	نصف قطر السحابة الفعال (Cloud Effective Radius – Re)	٢٠ (٣.٧٥ µm)، 6 (1.63 µm)، 7 (2.13 µm)	يحدد حجم قطر قطيرات الماء أو بلورات الجليد في قمة السحابة
٥	خصائص الطور البصري للسحابة (Cloud Phase Optical Properties)	٢٠ (٣.٧٥ µm)، 6 (1.63 µm)، 7 (2.13 µm)	تحدد إن كانت السحابة مائية، جليدية أو مختلطة عبر تحليل الانعكاسية والامتصاص
٦	مسار ماء السحابة (Cloud Water Path – CWP)	يحسب من COT وRe (القنوات نفسها: ١، ٦، ٧، ٢٠)	يمثل محتوى الماء الكلي في عمود الغيمة

شكل (٢)الاستجابة الطيفية للقناتين (١١، ١٢)µm في نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية



https://www.researchgate.net/figure/MODIS-polarization-coefficients-m-11-M-12

جدول (٤) خصائص الغيوم من بيانات MODIS-Terra

ت	خصائص الغيوم	المعادلة	القنوات المستخدمة	الاستنتاج
١	درجة حرارة قمة السحابة (CTT)[١]	$B^{1-}(L_{IR}) = {}_{Cloud-top}\ T$	Band 31 (11 µm) Band 32 (12 µm)	تحسب من الإشعاع تحت الأحمر، وتدل على برودة أو حرارة أعلى نقطة في السحابة. السحب العالية تكون أبرد من المنخفضة.
	B^{-1}= المعكوس الرياضي لدالة بلانك، تستخدم لتحويل الإشعاع الحراري إلى درجة حرارة فعلية. L_{IR} = الإشعاع الحراري تحت الأحمر المقاس من قنوات MODIS، ويعبر عن كمية الحرارة المنبعثة من السحابة.			
٢	ارتفاع قمة السحابة (CTH) [٢]	$H(T_{CTT}) = CTH$	Band 31 + ملفات درجة حرارة الغلاف الجوي	يستنتج عبر مطابقة درجة الحرارة مع ارتفاع في طبقات الجو (من نماذج الطقس).
	T_{CTT}= درجة حرارة قمة السحابة، وتستخدم لتحديد الارتفاع بناءً على ملفات الغلاف الجوي. $H(T_{CTT})$= دالة تربط درجة الحرارة المحسوبة بارتفاعها في طبقات الغلاف الجوي (تستخدم بيانات نموذج الطقس).			
٣	نصف القطر الفعال (Re) [٣]	$Re = (LWP.3 / {}_{PW}\ COT.2)^{1/2}$	Band 6 (1.63 µm), 7 (2.13 µm), 20 (3.75 µm)	يدل على متوسط حجم قطرات الماء أو بلورات الجليد، كلما كبر الحجم زاد الامتصاص للأشعة تحت الحمراء القريبة.
	COT= السمك البصري للسحابة، مقياس لكمية الضوء أو الإشعاع الذي يمكن للسحابة أن تحجبه. Re= نصف القطر الفعال لقطرات السحب، أي متوسط الحجم المرجح ضوئياً لقطرات الماء أو الجليد.			
٤	خصائص الطور البصري (Cloud Phase)	حسب انعكاسية القنوات	Band 6, 7, 20	تحدد إذا كانت السحابة مائية، جليدية أو مختلطة بناءً على التفاعل الطيفي المختلف للماء والجليد عند أطوال موجية محددة.

٥	مسار ماء السحابة(Cloud Water Path – CWP)[٤]	$CWP = COT \cdot Re. {}_{w}P. 2/3$	COT و Re مشتقة من (Bands: 1, 6, 7, 20)	تمثل كمية الماء (أو الجليد) الكلي داخل الغيمة في عمود رأسي، بوحدة g/m²، وتفيد في دراسة محتوى الهطول أو الكتلة المائية للسحب.
ρw= الكثافة النوعية للماء، وتقدر عادة بـ ١٠٠٠ kg/m3 1000kg/m3. LWP أو CWP= كمية الماء السائل أو الجليدي داخل عمود الغيمة، وتحسب من COT و Re.				

(١) Platnick, S., et al. (2015). MODIS Atmosphere L3 Gridded Product Algorithm ATBD. NASA.

(٢) Menzel, W. P., et al. (2008). MODIS Cloud Top Properties Algorithm. NASA.

(٣) Nakajima, T., & King, M. D. (1990). Determination of the Optical Thickness and Effective Particle Radius of Clouds from Reflected Solar Radiation Measurements. Journal of the Atmospheric Sciences.

(٤) Platnick, S., et al. (2017). MODIS Cloud Products. Remote Sensing of Environment.

مراقبة خصائص الغيوم تحت تأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني:

يمثل رصد ومراقبة الغيوم بطريقة خرائطية أحد الركائز الأساسية في دراسة الأنظمة الجوية وتفسير التغيرات المناخية، إذ توفر الخرائط الغيوم أداة بصرية وتحليلية تمكن الباحثين وصانعي القرار من متابعة التوزيع المكاني والزماني للسحب بدقة عالية .[2]ومن خلال تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية (GIS)، يمكن تحويل بيانات الغيوم إلى خرائط مفصلة تعكس خصائصها الفيزيائية والمناخية مثل محتوى الماء في الغيوم (Cloud Water Path) و درجة حرارة قمة الغيوم (Cloud Top Temperature) وارتفاع قمة الغيوم (Cloud Top Height) وسمك البصري للغيوم (Cloud Optical Thickness) والخصائص البصرية لمرحل الغيوم (Cloud Phase Optical Properties) ونصف قطر الفعال للغيوم (Cloud Effective Radius)، مما يتيح فهماً أعمق للعمليات الجوية المرتبطة بها.

تؤدي هذه الخرائط دوراً محورياً في تحسين التنبؤات الجوية، وإدارة الموارد الطبيعية، وتقييم المخاطر البيئية، لا سيما في المناطق التي تتأثر بأنظمة جوية معقدة ومتغيرة .حيث يتيح التمثيل الخرائطي للغيوم إمكانية رصد تطورها، والتفاعل بين الكتل الهوائية المختلفة، وربطها بأنماط الهطول والطقس المتقلب، وفي منطقة الدراسة يعتبر تأثير كل من المنخفض المتوسطي والمنخفض السوداني من العوامل الحاسمة في تشكيل الغيوم وأنماط الهطول .فالمنخفض المتوسطي، الذي ينشط خلال فصول الشتاء والربيع، يجلب كتلاً هوائية باردة ورطبة من البحر المتوسط، مما يؤدي إلى تكون غيوم طبقية شاسعة وأمطار مستمرة (Voigt et al., 2007)، وفي المقابل يعمل المنخفض السوداني كمنخفض حراري ينقل هواءً دافئاً ورطباً من المناطق المدارية خلال فصلي الربيع والخريف، مما يساهم في تكوين غيوم ركامية وعواصف رعدية مفاجئة (Schulz et al., 2019).

إن مراقبة هذه الغيوم ورصد خصائصها بدقة من خلال الخرائط السحابية يمكن من تتبع التأثيرات التفصيلية للمنخفضين على الغلاف الجوي، ويسهم في تحسين فهم الظواهر الجوية المعقدة والتقلبات المناخية المرتبطة بها .كما تعزز هذه الرصدات الخرائطية من قدرة الباحثين والمختصين على التنبؤ بالطقس بدقة أكبر، ودعم خطط إدارة الموارد المائية والزراعية، خاصة في ظل التغيرات المناخية المتسارعة التي تواجه المنطقة(Mahmoud & Almazroui, 2021) .

ومن بين الخصائص للغيوم الأساسية التي تم رصدها وتحليلها خرائطياً تحت تأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني هي:

محتوى الماء في الغيوم:(Cloud Water Path – CWP)

يبين جدول (5) نتائج تحليلية لرصد ومراقبة محتوى الماء المكافئ للسحب (Cloud Water Path) ضمن نظامين مناخيين مختلفين هما)النظام المتوسطي والنظام السوداني(، وذلك بالاعتماد على تصنيف محتوى الماء داخل الغيوم إلى الطور الجليدي (Ice Phase) والطور المائي .(Water Phase) يهدف هذا التحليل إلى فهم التوزيع المكاني والنسبي لمحتوى الماء في السحب، وتحديد أنماط التباين في كثافة السحب بين النظامين، مما يعكس الخصائص المناخية لكل نظام ويسهم في تفسير الظواهر الجوية السائدة، ولا سيما فيما يتعلق بعمليات الهطول والتوازن المائي في الغلاف الجوي .فيما يتعلق بالنظام المتوسطي، وهو نظام يتميز بمناخ معتدل شتاءً وجاف صيفاً، فقد أظهرت البيانات أن الطور الجليدي يهيمن بشكل واضح على مساحة واسعة من الغلاف الجوي، ما يعكس الطابع البارد والشتوي الغالب على هذا النظام .فقد سجلت أعلى قيمة مرصودة عند (CWP = 200) غم/م²، حيث غطت هذه السحب مساحة قدرها (9204.19) كم ²بنسبة (36.90%) من إجمالي المساحة، مما يدل على وجود كتل هوائية باردة نشطة، وسحب جليدية

كثيفة مسؤولة عن الأمطار والثلوج خلال الشتاء .كما سجلت السحب الجليدية ذات الكثافة المتوسطة عند (CWP = 100)غم/م ²نسبة (22.30%) من المساحة، ما يعكس الانتقال الموسمي من الشتاء إلى الربيع أو الخريف، ويشير إلى ظروف جوية أكثر اعتدالاً ولكنها لا تزال مهيأة للهطول .وبالرغم من محدودية المساحة التي غطتها السحب ذات (CWP = 1000) غم/م ²نحو(8.40%) ، فإن وجودها يدل على أحداث جوية عنيفة كالمنخفضات القطبية التي تحدث اضطرابات جوية كبيرة .أما من ناحية الطور المائي، فقد لوحظ أن السحب المائية عند(CWP = 500) غم/م ²تغطي مساحة كبيرة تبلغ (8086.11) كم ²بنسبة (32.40%)، ما يعكس دور هذه السحب في تغذية النظام بالمطر خلال الفترات الانتقالية، وتحديداً في الربيع والخريف، حيث ترتفع درجات الحرارة قليلاً وتزداد الرطوبة.

أما في النظام السوداني، وهو نظام مناخي مداري يتسم بارتفاع درجات الحرارة وتوزيع موسمي للأمطار، فقد أظهرت النتائج تنوعاً ملحوظاً في الأطوار السحابية، مع هيمنة واضحة للطور المائي .إذ برزت ثلاث قيم رئيسية للسحب المائية(CWP = 500) غم/م ²والتي غطت مساحة (4193.56) كم ²بنسبة(16.80%) ، و (CWP = 1000) غم/م ²التي شغلت مساحة (4035.34) كم ²بنسبة(16.20%) ، و (CWP = 200)غم/م ²بمساحة(4013.94) كم ²بنسبة .(16.10%) هذا التوزيع المتقارب يعكس التجانس في كثافة السحب الماطرة خلال الموسم الرطب، كما يعكس خصوبة هذا النظام من حيث وفرة الرطوبة وتكرار الهطولات، خاصة خلال الصيف، حيث يتكرر تكون السحب الركامية الحاملة للمطر .ومن الناحية المناخية، يشير ذلك إلى الطابع المداري الرطب الذي يغذي الغطاء النباتي ويحافظ على اتزان الأنظمة البيئية.

أما ما يخص الطور الجليدي في النظام السوداني، فقد سجلت قيمة(CWP = 0) غم/م ²أعلى تغطية بلغت (4474.46) كم ²بنسبة(17.90%) ، وهو ما يعكس غياباً شبه تام للجليد في السحب، نتيجة الارتفاع العام في درجات الحرارة .وتراوحت باقي القيم بين 20) إلى (1000 غم/م²، بنسب أقل، حيث جاءت القيم المنخفضة مثل (= 20CWP) غم/م ² و (=50 CWP)غم/م ² و (= 100CWP)غم/م ²بنسب تراوحت بين (5.80%) إلى(7.60%) ، بينما بلغت نسبة السحب الجليدية الكثيفة عند (= 1000CWP) غم/م ²فقط(8.80%) ، ما يدل على ندرة هذه الظواهر في البيئة المدارية الحارة، باستثناء بعض الحالات الاستثنائية المرتبطة بالتيارات الصاعدة القوية.

يتضح من القيم المرصودة أعلاه أن المنخفض المتوسطي يتسم بهيمنة واضحة للمحتوى الجليدية في الغيوم، لا سيما خلال فصل الشتاء، وهو ما يتسق مع الخصائص المناخية المعروفة لهذا النظام، والتي تتمثل في انخفاض درجات الحرارة وانتظام الهطولات المطرية والثلجية نتيجة تأثير الكتل الهوائية الباردة .وتعكس كثافة هذا الطور قدرة النظام على إنتاج غيوم عالية التطور، ترتبط غالباً بالمنخفضات الجوية الشتوية التي تسيطر

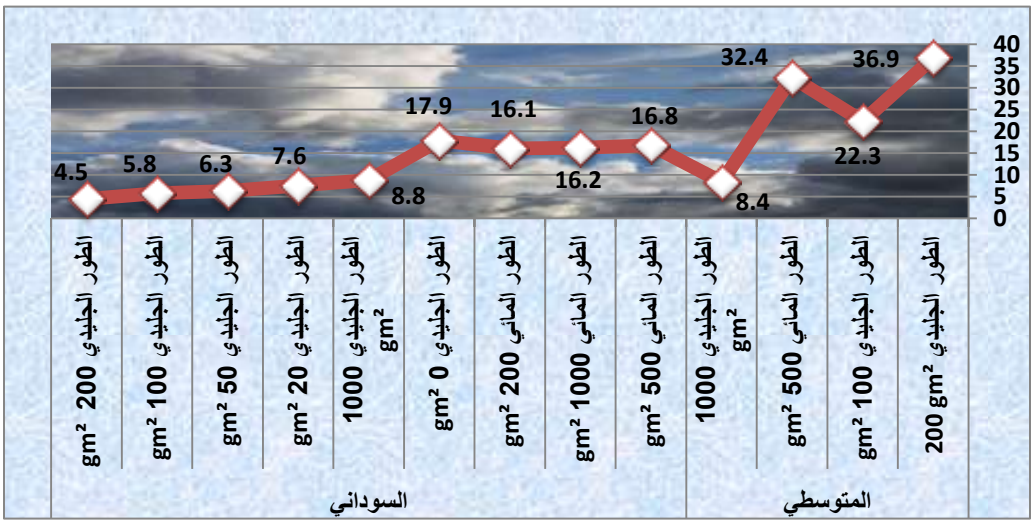
على الحوض المتوسطي، في حين يظهر النظام السوداني طابعاً مختلفاً تماماً، حيث يسود المحتوى المائية في التكوين الغيوم، مع غياب شبه كلي للمحتوى الجليدي في الغيوم .ويعكس هذا التوزيع الغيومي طبيعة المناخ المداري الحار والرطب الذي يسود هذا النظام، لاسيما خلال موسم الأمطار الصيفي .ويعزى هذا النمط إلى ارتفاع درجات الحرارة في طبقات الجو العليا، مما يمنع تشكل البلورات الجليدية، ويعزز من تكون السحب الركامية الرطبة الغنية بالمحتوى المائي، والتي تعد المصدر الرئيسي للهطولات في هذه المناطق.

جدول (5) تصنيف الغيوم بناءً على محتوى الماء (Cloud Water Path) في المنخفض المتوسطي والمنخفض السوداني

النظام	نوع الطور		قيمة CWP غم/م^2	المساحة كم^2	النسبة(%)
المتوسطي	Ice phase	الطور الجليدي	200 gm^2	9204.19	36.90
	Ice phase	الطور الجليدي	100 gm^2	5555.27	22.30
	Water phase	الطور المائي	500 gm^2	8086.11	32.40
	Ice phase	الطور الجليدي	1000 gm^2	2101.62	8.40
السوداني	Water phase	الطور المائي	500 gm^2	4193.56	16.80
	Water phase	الطور المائي	1000 gm^2	4035.34	16.20
	Water phase	الطور المائي	200 gm^2	4013.94	16.10
	Ice phase	الطور الجليدي	0 gm^2	4474.46	17.90
	Ice phase	الطور الجليدي	1000 gm^2	2191.47	8.80
	Ice phase	الطور الجليدي	20 gm^2	1899.89	7.60
	Ice phase	الطور الجليدي	50 gm^2	1572.77	6.30
	Ice phase	الطور الجليدي	100 gm^2	1446.69	5.80
	Ice phase	الطور الجليدي	200 gm^2	1110.87	4.50

المصدر : بالاعتماد على خريطة.(2)

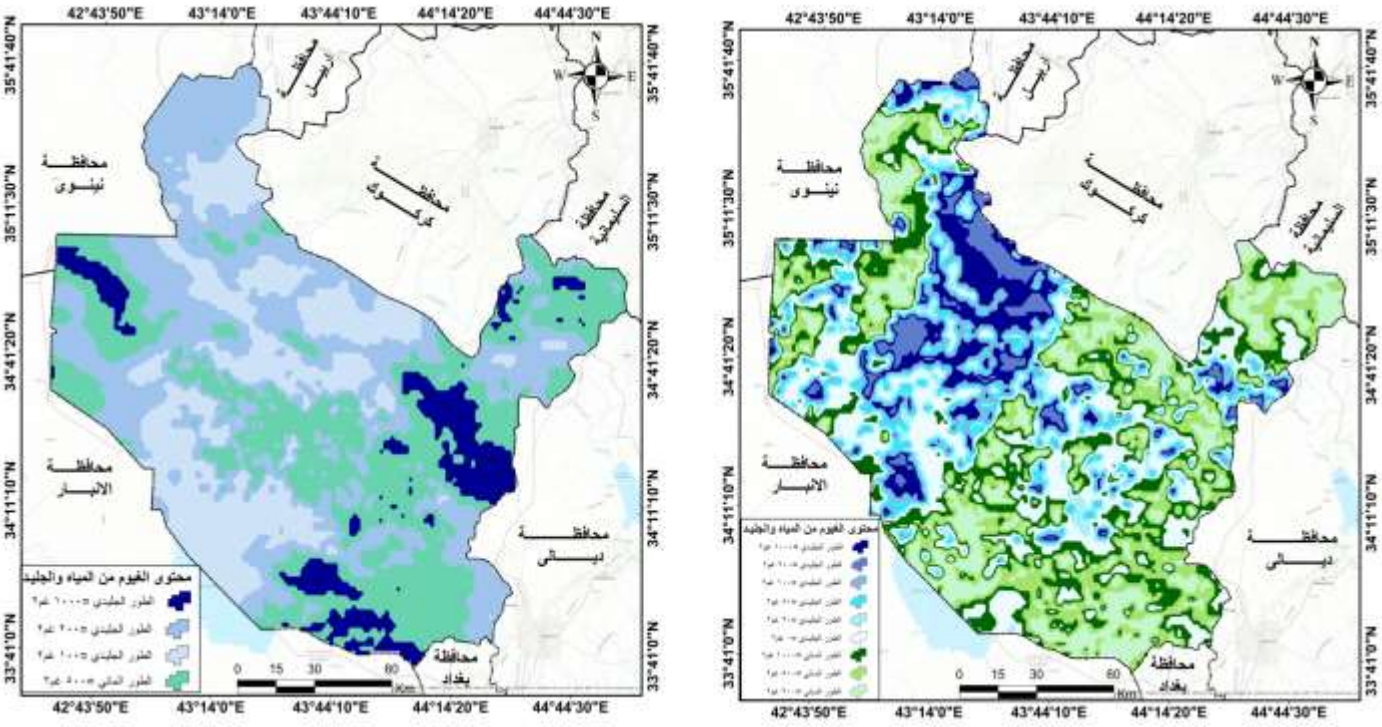
شكل (3) النسبة المئوية لمساحة الغيوم بناءً على محتوى الماء (Cloud Water Path) في المنخفض المتوسطي والمنخفض السوداني



المصدر :بالاعتماد على جدول.(2)

الخريطة (2) التوزيع المكاني للغيوم بناءً على محتوى الماء(Cloud Water Path)

المنخفض السوداني **المنخفض المتوسطي**



المصدر : بالاعتماد على مؤشر (CWP) و(MODIS–Terra) ، ومخرجات برنامج.ArcGIS

تصميم ونمذجة خرائط الغطاء الغيمي لمحافظة صلاح الدين:

تم في هذه الدراسة الاعتماد على بيانات تصنيف الغيوم بحسب محتواها من الماء والجليد (Cloud Water Path)المرتبط بالمنخفض المتوسطي، جدول(6) ، وذلك لتمثيل الغطاء الغيمي في منطقة الدراسة باستخدام أساليب خرائطية متقدمة تتيح عرضاً دقيقاً وفعالاً للتوزيع المكاني للغيوم، وباستخدام مجموعة متنوعة من الأساليب الخرائطية الحديثة، وقد جرى توظيف المتغيرات البصرية بعناية، لما لها من دور مهم في تعزيز مستوى الإدراك البصري وتحسين قراءة وفهم محتوى الخريطة.

وتهدف هذه النمذجة إلى إنتاج خرائط ذات جاذبية بصرية عالية وجمالية (Rashid & Badr, 2018)، تسهم في إيصال معلومات الغطاء الغيمي بشكل واضح ودقيق، كما أن التركيز على عناصر التصميم البصري يسهم في رفع مستوى التفاعل مع الخريطة(العزاوي، ٢٠٢٤، ص. ٣٥)، ويعزز من قدرتها على توصيل المعاني المكانية المتعلقة بتوزيع وتغيرات الغيوم، ويعد هذا الدمج بين التقنية والجماليات أساساً في الارتقاء بالخريطة من مجرد أداة معلوماتية إلى وسيلة إدراكية فعالة تتميز بالوضوح والجاذبية.

جدول (6) تصنيف الغيوم بناءً على محتوى الغيوم من الماء والجليد (Cloud Water Path) في المنخفض المتوسطي

النظام	نوع الطور		قيمة CWP غم/م^2	المساحة كم^2	النسبة(%)
المتوسطي	Ice phase	الطور الجليدي	200 gm^2	9204.19	36.90
	Ice phase	الطور الجليدي	100 gm^2	5555.27	22.30
	Water phase	الطور المائي	500 gm^2	8086.11	32.40
	Ice phase	الطور الجليدي	1000 gm^2	2101.62	8.40

المصدر :بالاعتماد على مؤشر (CWP) و(MODIS–Terra) ، ومخرجات برنامج.ArcGIS

نمذجة خريطة الغطاء الغيمي باستخدام الشبكة السداسية:(map Hexagonal)

تعتبر الخرائط المبنية على الشبكة السداسية من الأساليب الحديثة والمتميزة في تمثيل البيانات المكانية، حيث تستخدم خلايا سداسية الشكل بدلاً من الخلايا المربعة التقليدية التي قد تسبب تشويشاً بصرياً وتجزئة غير متوازنة للمساحات(Kerr & Waldteufel, 2021) ،تتميز هذه الخرائط بقدرتها على توفير تغطية متجانسة ومتوازنة للمنطقة الجغرافية، مما يعزز من دقة التمثيل المكاني ويسهل على العين تتبع الأنماط والبيانات

بسلاسة أكبر ,كما أن الشكل السداسي يقلل من تأثير الحواف ويمنع التداخل بين الخلايا، مما يجعلها مناسبة جداً لتمثيل الظواهر المعقدة مثل بيانات الغيوم.

في مجال المناخ، يعد تمثيل بيانات الغيوم بشكل دقيق وفعال أمراً أساسياً لفهم خصائص الغيوم وتركيبها الفيزيائي، خاصةً محتوى المياه السائلة والجليدية التي تؤثر بشكل مباشر على تكوين الأمطار وسلوك الطقس .وتوفر الخرائط السداسية طريقة فعالة لعرض هذه البيانات، حيث يمكن لكل خلية سداسية أن تمثل كمية معينة من الماء أو الجليد، مما يعزز من وضوح الأنماط المكانية وتوزيع هذه المكونات داخل الغيوم(Stein & Meng, 2018).

هذا التمثيل لا يقتصر فقط على الدقة المكانية، بل يؤثر أيضاً على سرعة الإدراك والفهم لدى مستخدمي الخرائط، إذ تستخدم تدرجات لونية مناسبة وأحجام متغيرة للرموز داخل الخلايا السداسية، مما يسهل التمييز البصري ويسرع من عملية التحليل البصري .وقد أثبتت الدراسات الحديثة أن استخدام الشبكات السداسية مع هذه المتغيرات البصرية يقلل من الأخطاء في تفسير البيانات ويعزز من قدرة الباحثين وصناع القرار على فهم الأنماط المعقدة بسرعة وكفاءة .بالإضافة إلى ذلك، تؤدي هذه الخرائط دوراً مهماً في التطبيقات المختلفة مثل مراقبة الغيوم عبر الأقمار الصناعية، وتحليل ديناميكيات الغيوم، ودعم نماذج التنبؤ بالطقس، فضلاً عن استخدامها في رصد التغيرات المناخية والظواهر الجوية(Butler & Toth, 2020)، إن الجمع بين الدقة التمثيلية للشبكات السداسية والتمثيل اللوني والحجمي يجعل هذه الخرائط أداة قوية تسهل فهم وتفسير بيانات الغيوم المعقدة.

وقد تناولت العديد من الدراسات الحديثة هذا الموضوع منها دراسة Carr) وآخرون (التي أبرزت كيف تعزز الشبكات السداسية من جودة التصور المكاني للبيانات(Kim & Park, 2023).

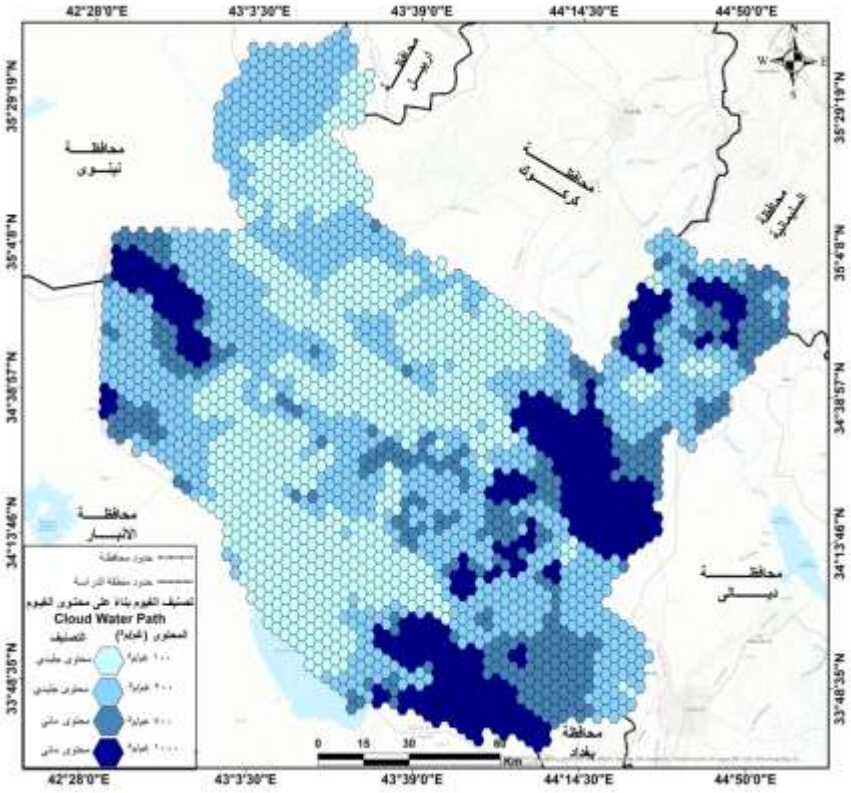
، ودراسة (Peterson)التي ناقشت تحسين الإدراك البصري من خلال تخطيط الشبكات السداسية في خرائط البيئة (Carr, Smith, & Lee, 2019)، بالإضافة إلى دراسةZhang) وآخرون (الذي ركز على استرجاع خصائص الغيوم الميكروفيسية باستخدام بيانات محتوى المياه والجليد من خلال تقنيات الاستشعار عن بعد(Peterson & Olson, 2021).

اعتمدت الباحثة في خريطة (3) على تقنية التمثيل السداسي الابعاد او ما تعرف بخلايا النحل (Hexagonal Grids)، كإحدى أساليب التمثيل المكاني الفعال في نظم المعلومات الجغرافية .(GIS) وتم دمج هذه التقنية مع متغير اللون باستخدام تدرجات الأزرق، بهدف تمثيل التوزيع الكمي لمحتوى الغيوم من المياه والجليد .ويعد هذا النمط من التمثيل الخرائطي عالي الكفاءة من حيث الإدراك البصري، إذ يوفر تجانساً مكانياً أفضل مقارنة بالتمثيل الشبكي التقليدي القائم على المربعات، مما يمنح الظاهرة بعداً مكانياً دقيقاً يسهل قراءته وتحليله.

كما تسهم الخلايا السداسية في تحسين دقة النمذجة المكانية للغيوم، نظراً لقدرتها على تقليل التشتت البصري وزيادة تماسك الرموز داخل نطاق التمثيل .أما استخدام متغير اللون الأزرق بتدرجاته المختلفة، فهو يعزز من وضوح الطبقات الكمية داخل الغيوم، ويساعد القارئ في التمييز السريع بين القيم المختلفة لمحتوى الماء والجليد.(Zhang, Wang, & Li, 2022)

وتعد هذه الخريطة مثالاً على الدمج بين الجاذبية الجمالية وسرعة الإدراك المعرفي، إذ تجمع بين الدقة العلمية في عرض البيانات الجوية، والوضوح الرمزي الذي يسهل تفسير الظواهر المناخية بشكل بصري فعال.

خريطة (3) استعمال طريقة سداسية الابعاد مع تدرجات اللون الأزرق لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي

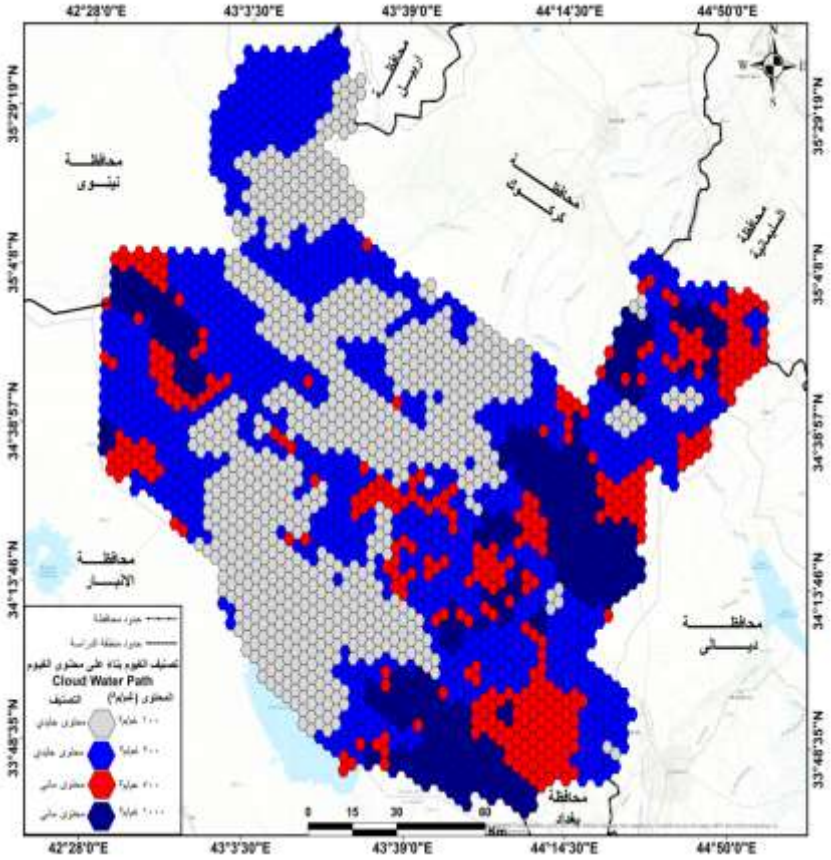


المصدر :بالاعتماد على جدول (6) ومخرجات برنامج.ArcGIS

تم استخدم في خريطة (4) طريقة التمثيل السداسي الأبعاد إلى جانب متغير اللون النسبي الذي يمثل محتوى الجليد في الغيوم بتدرجات اللون الزرقاء واللون الأحمر لمحتوى المياه في الغيوم، وتتميز هذه الخريطة بقدرتها العالية على الإدراك البصري، إذ إنها تجسد الظاهرة ضمن نطاق مكاني واضح، مما يمنح تمثيلاً دقيقاً للبعد المكاني للغيوم .كما يسهم هذا الأسلوب في تسريع عملية فهم محتوى الخريطة من قبل القارئ،

نظراً لبساطته ووضوحه .بالإضافة إلى ذلك، فإن الخريطة تتسم بجاذبية بصرية وجمالية عالية تعزز من قيمتها التمثيلية وتجذب انتباه القارئ

خريطة (4) استعمال طريقة سداسية الابعاد مع اللون النسبي لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي



المصدر : بالاعتماد على جدول (6) ومخرجات برنامج.ArcGIS

نمذجة خريطة الغطاء الغيمي باستخدام الشبكة المربعة

تعد طريقة الشبكة المربعة من الأساليب الكارتوكرافية cartographic الفعالة في تمثيل بيانات الغطاء الغيمي، حيث توفر هذه الطريقة بنية مكانية منتظمة تسهم في تنظيم وتحليل المعلومات الجوية بدقة عالية .من خلال تقسيم المساحة المدروسة إلى خلايا مربعة متجانسة، يصبح بالإمكان تصوير التوزيع المكاني للغيوم من حيث الكثافة، النوع، أو محتوى الماء والجليد داخل الغيوم، الأمر الذي يعزز من قدرة الباحث على قراءة المشهد الجوي بدقة وموضوعية(Zhao, Zhang, & Huang, 2021) .

تبرز أهمية هذه الطريقة في كونها تتيح تمثيلاً بصرياً واضحاً للغطاء الغيمي، مما يسهم في تبسيط فهم العلاقات المناخية المعقدة .فعند التعامل مع بيانات الأقمار الصناعية والتي تنتج في أغلب الأحيان بتنسيقات شبكية(عبدالباق،٢٠٢٤، ص ١٧) ، تصبح الشبكة المربعة وسيلة مناسبة لتصور هذه البيانات على شكل

خرائط عالية الدقة .كما تمكن هذه التقنية من مقارنة المناطق المختلفة ضمن الشبكة نفسها من حيث شدة الغطاء الغيمي أو تحركه الزمني، ما يدعم دراسات التغيرات المناخية، والتنبؤات الجوية، وتحليل الظواهر المرتبطة مثل العواصف أو الأمطار(Gutiérrez & Hilker, 2022) .

من الناحية التطبيقية، تسمح طريقة الشبكة المربعة بتسهيل دمج بيانات الغطاء الغيمي مع طبقات معلوماتية أخرى ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية(GIS) ، مثل بيانات الارتفاع أو استخدامات الأرض، مما يعزز من القدرات التحليلية والاستنتاجية في البحوث المناخية والجغرافية .كما أن هذه الطريقة تدعم التحليل الزماني المتعدد، حيث يمكن استخدامها لرسم سلسلة زمنية تبين تطور الغطاء الغيمي خلال أشهر أو سنوات، وبالتالي رصد التغيرات المناخية أو تأثير الأنشطة البشرية(Klein, Bock, & Trenberth, 2020).

وقد تناولت عدة دراسات حديثة هذا النوع من التمثيل في تحليل بيانات الغيوم، من بينها دراسة Li) وآخرون (التي استخدمت طريقة الشبكة المربعة لتحليل نماذج توزيع الغيوم فوق المناطق الساحلية في شرق آسيا باستخدام بيانات الأقمار الصناعية، حيث أكدت الدراسة أن التمثيل الشبكي يتيح قراءة مرئية دقيقة لفهم تأثير الرياح الموسمية على الغطاء الغيمي .كما اعتمدت دراسةAhmed) و (Pradhan هذه الطريقة في تقييم التباين الزماني والمكاني للغيو(Li et al., 2023)م فوق جنوب شرق آسيا، معتمدين على تحليل سلاسل زمنية لبيانات MODIS ضمن إطار شبكي منتظم(Ahmed & Pradhan, 2022) .

اعتمدت الباحثة في خريطة (5) وخريطة (6) على توظيف تقنية شبكة المربعات المنتظمة (Grid Cells) لتمثيل التوزيع المكاني لمحتوى الغيوم من المياه والجليد، وذلك لما توفره هذه التقنية من بنية مكانية منتظمة تسهل رصد الظواهر الجوية وتحليلها بدقة .ففي الخريطة الأولى، تم استخدام متغير اللون ذي التدرجات الزرقاء المتصلة، والذي يعكس التباين الكمي في شدة المحتوى المائي والجليدي داخل الغيوم بشكل سلس ومتدرج .أما في الخريطة الثانية، فقد تم اعتماد اللون النسبي المتباين، الذي يقوم على تدرجات لونية أكثر تبايناً، تبرز الفروق النسبية الدقيقة بين الخلايا، مما يعزز من القدرة البصرية على التمييز بين مستويات التوزيع المختلفة.

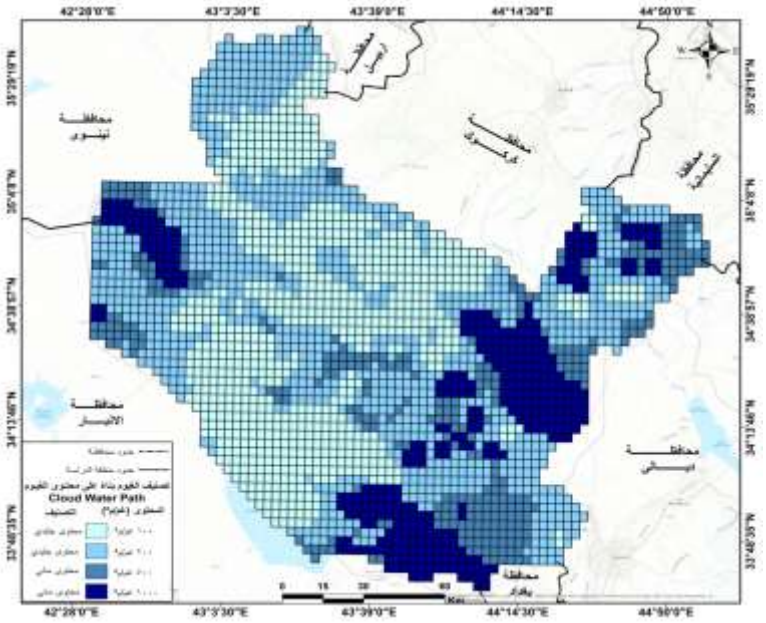
ويستخدم اللون في كلتا الحالتين كمتغير رمزي يعكس قيمة التركيز داخل كل خلية، ما يتيح قراءة كمية مباشرة للظاهرة الجوية دون الحاجة إلى وسائط تفسيرية إضافية .ويسهم هذا الأسلوب في إظهار البعد المكاني الحقيقي للغيوم، من خلال التركيز على مناطق معينة بدقة، الأمر الذي يسمح بتحديد التوزيع المكاني لتراكيز المياه والجليد، وتفسير أنماطها ضمن سياقات مكانية قابلة للقياس والتحليل.

ومن الناحية الإدراكية تساعد هذه الخريطة على تسريع الفهم البصري لدى القارئ، إذ تسهم التدرجات اللونية سواء كانت متصلة أو متباينة في خلق تباين بصري واضح يسهل تمييز القيم .كما توفر شبكة المربعات إطاراً مرجعياً واضحاً يسهل المقارنة بين المواقع، واستخلاص العلاقات المكانية بين أجزاء الظاهرة، وهو ما

يجعل هذا النوع من الخرائط أداة تحليلية فعالة في دراسات الغلاف الجوي والتطبيقات الخرائطية للاستشعار عن بعد.

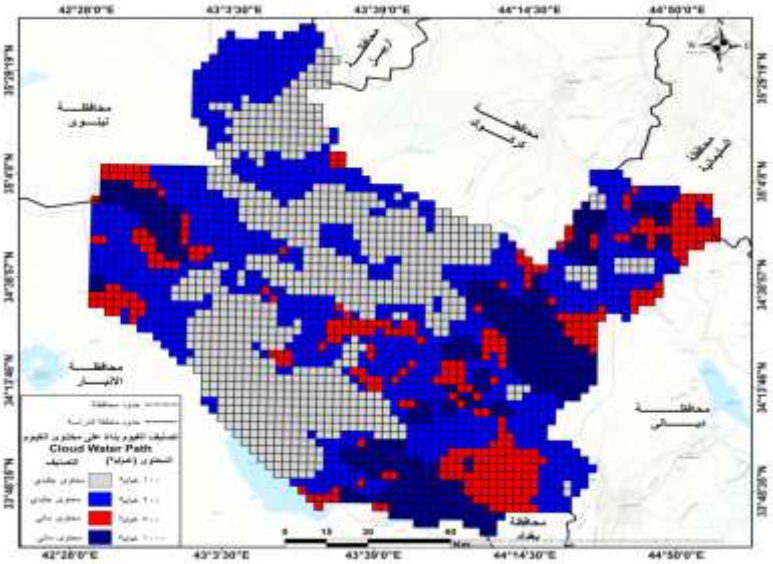
ومن خلال الدمج بين الشكل الشبكي المنتظم والتدرج اللوني المدروس، تظهر الخريطة بقدرة تفسيرية عالية، تبرز تفاصيل دقيقة في البنية السحابية، وتسهل عملية اتخاذ القرارات البيئية والمناخية المعتمدة على مدخلات مكانية مرئية وموثوقة.

خريطة (5) استخدام طريقة شبكة المربعات مع تدرجات اللون الأزرق لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي



المصدر :بالاعتماد على جدول (6) ومخرجات برنامج.ArcGIS

خريطة (6) استعمال طريقة شبكة المربعات مع متغير اللون النسبي لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي



المصدر :بالاعتماد على جدول (6) ومخرجات برنامج.ArcGIS

نمذجة خريطة الغطاء الغيمي باستخدام شبكة المثلثات:(Triangular map)

تعد شبكة المثلثات إحدى طرائق التوزيع الهندسي (Tessellation) المعتمدة في التمثيل الكارتوغرافي المكاني، حيث تستخدم لتقسيم المساحة إلى خلايا مثلثية منتظمة أو شبه منتظمة تغطي كامل المنطقة المدروسة دون تداخل أو فراغات .وقد أصبح لهذه الطريقة أهمية متزايدة في تمثيل بيانات الغطاء الغيمي، لما توفره من خصائص تحليلية ودلالية تتلاءم مع الطبيعة المتغيرة وغير المنتظمة لتوزيع الغيوم (Miyamoto & Nakamura, 2021)

يظهر استخدام شبكة المثلثات مرونة مكانية أكبر مقارنة بالشبكة المربعة، إذ تسمح بتكييف أفضل مع تغيرات شكل وتوزيع السحب، خصوصاً في المناطق التي تتسم بالتدرج الحاد أو عدم التجانس في كثافة الغطاء الغيمي .ويكمن الفرق الجوهري في أن التثليث ينشئ بنية شبكية تعتمد على الارتباط بين النقاط المكانية المجاورة في صورة مثلثات، مما يتيح تمثيلاً بصرياً وانسيابياً للغيوم وتوزيعها، دون التقيد بالشبكات المتعامدة أو الهندسية الصارمة(Cheng & Yu, 2023)

تقدم هذه الشبكة إمكانيات قوية في التصوير الديناميكي للغطاء الغيمي من خلال استخدام متغيرات اللون داخل كل مثلث لتمثيل محتوى الماء، أو الارتفاع، أو الكثافة البصرية للغيوم .كما تستخدم هذه الطريقة ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) أو أدوات الرسم الكارتوغرافي المتقدم لرسم خرائط تفاعلية أو تحليلية أكثر دقة وواقعية .إذ تعد هذه الطريقة مناسبة خصوصاً عند تمثيل الغيوم المتغيرة بسرعة في النماذج الزمنية أو عند تحليل صور الأقمار الصناعية ذات الدقة العالية، كما يمكن أن تستخدم شبكة المثلثات في ربط الخلايا الشبكية الطيفية (spectral cells) مع المعالم الجوية، ما يعزز فهم الأنماط الغيمية المركبة(Benitez & Müller, 2022).

اعتمدت الباحثة في خريطة (7) و (8)على استخدام تقنية شبكة المثلثات (Triangular Grid) كوسيلة لتمثيل التوزيع المكاني لمحتوى الغيوم من المياه والجليد، وهي من الأساليب الكارتوغرافية غير التقليدية التي توفر مرونة عالية في تمثيل الظواهر ذات التوزيع غير المنتظم .تتيح هذه التقنية بناء شبكة مكونة من مثلثات مترابطة تغطي سطح الخريطة بدقة، ما يسمح بتكييف وحدات التمثيل وفق تغير شدة الظاهرة، خاصة في الحالات التي تتطلب عرضاً دقيقاً للتباينات الدقيقة في بنية السحب.

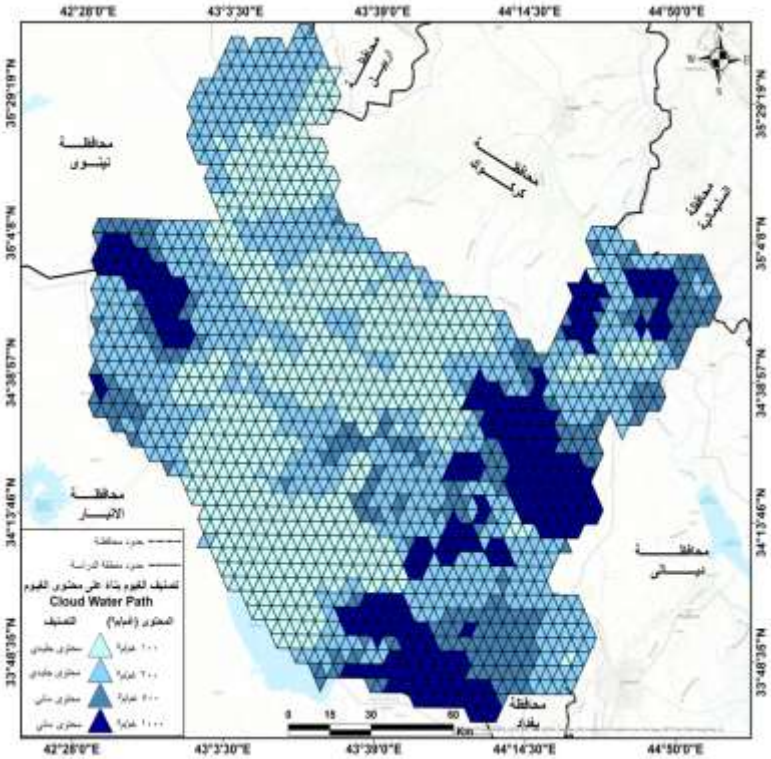
وقد تم توظيف متغير اللون في الخريطة الأولى بما يتناسب مع طبيعة شبكة المثلثات، حيث توزعت التدرجات اللونية داخل كل وحدة مثلثية لتعكس كميات المياه والجليد بشكل بصري واضح ودقيق .أما في الخريطة الثانية، فقد استخدمت ألوان متباينة داخل كل خلية مثلثية، تمثل اللون النسبي، مما يتيح قراءة كمية مرنة تكيف نفسها مع خطوط الانتقال والتداخل داخل الغيوم .ويعد هذا النمط من الخرائط فعالاً في تمثيل

الظواهر المتغيرة بسرعة، كحركة وتكون السحب، نظراً لقدرة المثلثات على الالتفاف حول التفاصيل الدقيقة دون فقدان البعد المكاني.

توفر شبكة المثلثات ميزة إضافية في عرض العلاقات الاتجاهية داخل الظاهرة، حيث تسمح أشكالها الزاوية بتتبع الامتداد والتوجيه الطبيعي للغيوم، وهو أمر يصعب تحقيقه في الشبكات المربعة أو السداسية .كما يعزز هذا الشكل غير المتناظر من الجاذبية البصرية للخريطة، ويمنحها طابعاً ديناميكياً يتماشى مع طبيعة الظواهر الجوية المتغيرة.

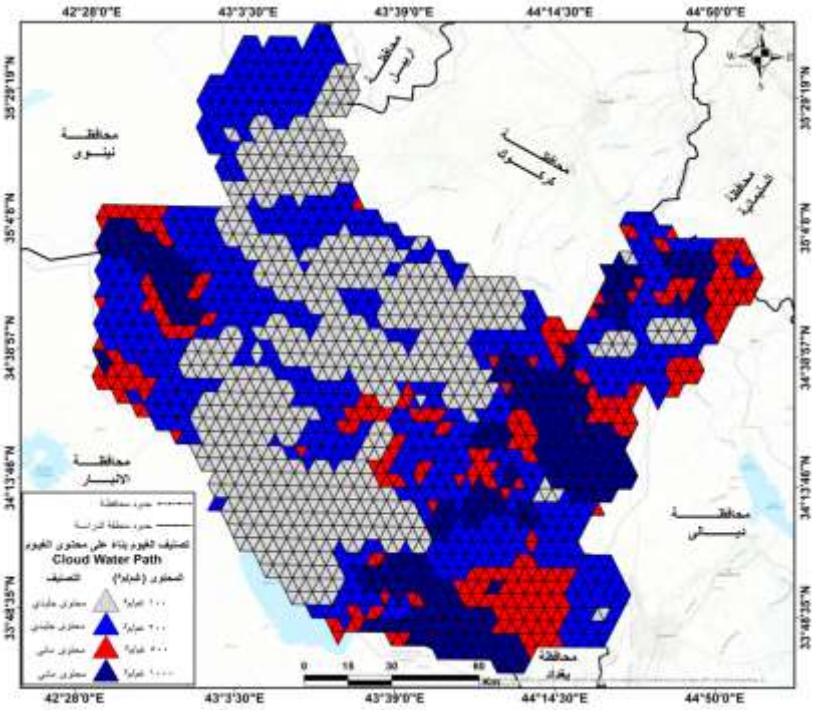
من الناحية الإدراكية، تسهم هذه الخريطة في رفع كفاءة التفسير البصري، بفضل قدرة التمثيل المثلثي على التقاط التفاصيل الدقيقة وتمثيلها ضمن وحدات متكاملة بصرياً .كما تعد مناسبة للتحليل المكاني المتقدم، خاصة في البيئات التي تتطلب دقة موضعية عالية وتدرجاً في القياسات الجوية ضمن نطاق محدود أو متداخل.

خريطة (7) استعمال طريقة شبكة المثلثات مع تدرجات اللون الأزرق لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي



المصدر :بالاعتماد على جدول (6) ومخرجات برنامج.ArcGIS

خريطة (8) استعمال طريقة شبكة المثلثات مع متغير اللون النسبي لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي



المصدر :بالاعتماد على جدول (6) ومخرجات برنامج.ArcGIS

الاختبار المسبق والتجريبي (Prototype or Pilot Testing)

يستخدم هذا النوع من الاختبارات لتقييم النماذج الأولية أو التصاميم التجريبية للخرائط قبل إنتاج النسخة النهائية. يهدف إلى رصد الأخطاء أو العوائق الإدراكية المحتملة في مرحلة مبكرة، مما يسمح بإجراء التعديلات اللازمة بناءً على ملاحظات المستخدمين. ويعد هذا الاختبار مرحلة حاسمة في عملية تطوير الخرائط، لأنه يسهم في تقليل احتمالات الفشل بعد الإطلاق النهائي، ويضمن أن تكون الخريطة متوافقة مع متطلبات الإدراك البصري والمعرفي للمستخدم.

انتخاب العينة واختبارها:

يتضح من الجدول (٧) توزيع أفراد العينة وفقاً لمتغيرات الجنس، النوع، ومرحلة التعليم، وهي مؤشرات ديموغرافية تبرز تنوع العينة وتوزيعها بشكل يعكس مجتمع الدراسة الحقيقي. ومن خلال هذا التوزيع، يتبين أن اختيار العينة واختبارها يشكل ركيزة أساسية في منهجية البحث الكارتوغرافي، لما له من دور محوري في ضمان صدق النتائج ودقتها، حيث يسهم انتقاء عينة مناسبة في تحقيق مستوى أعلى من الموثوقية والتعميم عند استخلاص النتائج، خصوصاً عند تحليل استجابات الأفراد تجاه الخرائط المدروسة.

وقد تم تحديد حجم العينة المعتمد في هذه الدراسة باستخدام البرنامج الإحصائي **SPSS**، والذي مكن من احتساب الحجم الأمثل للعينة وفق معايير إحصائية دقيقة، إلى جانب الاستناد إلى المعادلة الإحصائية القياسية لتحديد حجم العينة على النحو التالي:

بحيث:

$$\frac{N \cdot Z^2 \cdot p(1-p)}{d^2(N-1) + Z^2 \cdot p(1-p)} = n$$

n: يمثل حجم العينة المطلوب.

N: يشير إلى حجم المجتمع الأصلي.

Z: القيمة الجدولية المرتبطة بمستوى الثقة (١.٩٦ عند ٩٥%).

p: نسبة التكرار أو الاستجابة المتوقعة (٠.٥ في حال غياب تقدير مسبق).

d: هامش الخطأ المقبول (غالباً ٠.٠٥).

الجدول (٧) عينة الدراسة حسب النوع والجنس ومستوى التعليم

المرحلة الدراسة	الكلية	نوع الجنس		المجموع
		ذكور	إناث	
تدريسيين	كلية التربية للعلوم الانسانية	١٠	٧	١٧
تدريسيين	كلية التربية للبنات	٥	٥	١٠
تدريسيين	كلية الآداب	٨	٤	١٢
طلبة الدراسات العليا/ دكتوراه	كلية التربية للعلوم الانسانية	١١	٥	١٦
طلبة الدراسات العليا/ ماجستير	كلية التربية للعلوم الانسانية	٦	٤	١٠
طلبة الدراسات العليا/ ماجستير	كلية الآداب	٤	٣	٧
المجموع				٧٢

المصدر : الدراسة الميدانية .

نتائج الاختبار النهائي لنماذج الخرائطية:

نتائج الاختبار النهائي للنماذج الخرائطية أظهرت أن النسبة الإجمالية لكل خريطة تم حسابها على أساس جمع جميع المعايير الفرعية، حيث كان لكل معيار وزن بنسبة10% ، وتم تجميع هذه القيم للحصول على النسبة النهائية من .100% هذا يعني أن كل معيار من المعايير المستخدمة في التقييم) مثل معيار الخريطة الفعالة، معيار الجاذبية والجمالية، معيار الأنماط التوقيعية، سهولة الإنشاء، وغيرها (قد أعطي وزناً متساوياً أو محدداً بحيث تمثل كل واحدة منها جزءاً من المجموع الكلي .وبهذه الطريقة، تم تقييم كل خريطة بشكل شامل، مع الأخذ في الاعتبار جميع الجوانب المؤثرة على جودتها وفاعليتها في التوصيل البصري وسرعة الإدراك، مما أتاح تصنيف الخرائط بناءً على مجموع نقاطها النهائية من100% ، كما في جدول(8) .

جدول (8) نتائج الاختبار الادراكي لخرائط الغطاء الغيمي

اسم الخريطة	معيار سرعة الإدراك	معيار استيفاء عناصر الخريطة	معيار مطابقة الألوان	معيار الوضوح والقبول النفسي	معيار الخريطة الفعالة	معيار الجاذبية والجمالية البصرية	معيار الأنماط التوقيعية	معيار المتغيرات البصرية	معيار الخريطة المقواة	معيار سهولة الانشاء	معدل التبصير الخرائطي
استعمال طريقة سداسية الابعاد مع تدرجات اللون الأزرق درجات اللون الأزرق لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي	9	10	7.8	8.5	5.58	5.69	3.33	4	3.33	10	67.23
استعمال طريقة سداسية الابعاد باستخدام اللون النسبي لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي	8	10	8.9	8.6	6.85	5.95	3.33	4	3.33	10	68.96
استخدام طريقة شبكة المربعات مع تدرجات اللون الأزرق لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي	8	10	7.4	7.7	9.88	9.31	3.33	4	3.33	10	72.95
استعمال طريقة شبكة المربعات مع متغير اللون النسبي لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي	7	10	8.1	7.9	5.77	8.01	3.33	4	3.33	10	67.44
استعمال طريقة شبكة المثلثات مع تدرجات اللون الأزرق لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي	8	10	7.6	8.2	5.74	5.06	3.33	4	3.33	10	65.26
استعمال طريقة شبكة المثلثات مع متغير اللون النسبي لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي	7	10	8.5	8.4	8.22	9.66	3.33	4	3.33	10	72.44

المصدر :بالاعتماد على الاختبار الادراكي للنماذج .

يتبين من تحليل الجدول (٨) أن جميع طرق التمثيل الخرائطي التي اعتمدت لنمذجة محتوى الغيوم من الجليد والمياه للمنخفض المتوسطي قد حققت درجات متفاوتة في المعايير التسعة، مما انعكس بشكل مباشر على معدل التبصير الخرائطي الكلي .طريقة شبكة المربعات مع تدرجات اللون الأزرق جاءت في المرتبة الأولى بمعدل تبصير بلغ 72.95، ويعود ذلك إلى توازنها بين معيار استيفاء عناصر الخريطة والوضوح البصري من جهة، ومعايير الفعالية والجاذبية البصرية من جهة أخرى، ما يجعلها أكثر الطرق كفاءة في تحقيق الغرض الخرائطي .تليها طريقة شبكة المثلثات مع اللون النسبي التي حققت معدل 72.44، وتميزت بارتفاع ملحوظ في معيار الجاذبية البصرية والفعالية مقارنة ببقية الطرق .أما طريقة سداسية الأبعاد باللون النسبي فقد حققت 68.96، وهي نتيجة جيدة تعكس قوة الأداء في معايير مطابقة الألوان والوضوح النفسي مع المحافظة على سهولة الإنشاء.

في المقابل، جاءت طريقة سداسية الأبعاد بتدرجات الأزرق بمعدل 67.23، وهي أقل كفاءة نسبياً رغم تفوقها في سرعة الإدراك واستيفاء العناصر، لكنها سجلت انخفاضاً في معايير الفعالية والجاذبية .الطريقة الأخرى لشبكة المربعات باللون النسبي سجلت 67.44، وهي قريبة من سابقتها لكنها أظهرت ضعفاً في معيار الفعالية رغم وضوحها البصري المقبول .أخيراً، طريقة شبكة المثلثات بتدرجات اللون الأزرق كانت الأقل أداءً بمعدل 65.26، حيث تأثرت سلباً بانخفاض الجاذبية البصرية والفعالية على الرغم من ثباتها في بعض المعايير الأخرى.

بشكل عام يمكن القول إن طرق الشبكات، سواء المربعات أو المثلثات، أظهرت تفوقاً على طريقة سداسية الأبعاد، خصوصاً عندما ترافق التمثيل مع استخدام اللون النسبي أو التدرجات اللونية المناسبة، مما يشير إلى أن البنية الشبكية تحقق توازناً بصرياً وفعالية أكبر في عرض محتوى الغيوم .في حين أن طرق سداسية الأبعاد تبقى قوية في الإدراك البصري المباشر لكنها تعاني من قصور في إظهار الفعالية والجاذبية عند التفسير الخرائطي.

الاستنتاجات :

- اختلاف الخصائص السحابية بين المنخفضين :المنخفض المتوسطي يتسم بهيمنة الطور الجليدي للغيوم، في حين يطغى الطور المائي على الغيوم في المنخفض السوداني، وهو ما يعكس بوضوح الطابع المناخي لكل نظام.
- التمثيل الخرائطي للغيوم عبر تقنيات الشبكات) السداسية والمربعة (عزز من الإدراك البصري والقدرة على التفسير المكاني، حيث تفوقت الخرائط السداسية في تحقيق التجانس المكاني وتقليل التشويش البصري.
- التوزيع الكمي لمحتوى الغيوم (CWP) أوضح أن السحب الجليدية في النظام المتوسطي مسؤولة عن الأمطار والثلوج الشتوية، بينما تمثل السحب المائية في النظام السوداني المصدر الرئيسي للهطولات الصيفية الرعدية.
- الخرائط السحابية أداة استراتيجية لدعم التنبؤات الجوية وإدارة الموارد المائية والزراعية، إذ وفرت دقة مكانية وزمانية تسهم في ربط السحب بأنماط الهطول والمخاطر البيئية.

المقترحات :

- تطوير قواعد بيانات خرائطية متكاملة لمراقبة خصائص الغيوم على المستوى الإقليمي باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد ودمجها مع مخرجات النماذج المناخية.
- اعتماد الشبكات السداسية كخيار أساسي في تمثيل بيانات الغيوم في الخرائط المناخية، نظراً لتفوقها في تجانس التوزيع ودقة الإدراك البصري مقارنة بالشبكات المربعة.
- تعزيز الإنذار المبكر عبر دمج رصد السحب الركامية والعواصف بواسطة الأقمار الصناعية مع أنظمة الإنذار الوطنية للحد من آثار الكوارث الجوية.
- إجراء مقارنات موسمية وطويلة المدى بين المنخفضين المتوسطي والسوداني لفهم التغيرات المناخية، وتقييم تأثيرها على الموارد المائية والزراعية في ظل تغير المناخ العالمي.
- تطوير واجهات خرائطية تفاعلية قائمة على GIS تسمح للباحثين وصناع القرار باستكشاف خصائص الغيوم (CWP, CTT, CTH) بطريقة مرئية وبسيطة، بما يدعم اتخاذ القرارات السريعة في إدارة المخاطر.

المصادر:

(1) Ackerman, S. A., & Knox, J. A. (2015). Meteorology: Understanding the Atmosphere (4th ed.). Jones & Bartlett Learning.
(2) Jensen, J. R. (2007). Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
(1) Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). Geographic Information Systems and Science. Wiley.
(3) Baltsavias, E. P. (1999). Airborne laser scanning: Basic relations and formulas. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 54(2-3), 199–214. https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00015-5
(4) National Research Council. (2007). Earth science and applications from space: National imperatives for the next decade and beyond. The National Academies Press. https://doi.org/10.17226/11820
(5) Kidder, S. Q., & Vonder Haar, T. H. (1995). Satellite meteorology: An introduction. Academic Press.
(6) Stephens, G. L., Vane, D. G., Boain, R. J., Mace, G. G., Sassen, K., Wang, Z., ... & the CloudSat Science Team. (2002). The CloudSat mission and the A-Train. Bulletin of the American Meteorological Society, 83(12), 1771–1790. https://doi.org/10.1175/BAMS-83-12-1771
(7) Jensen, J. R. (2007). Remote sensing of the environment: An Earth resource perspective (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.
(8) Voigt, S., Kemper, T., Riedlinger, T., Kiefl, R., Scholte, K., & Mehl, H. (2007). Satellite image analysis for disaster and crisis-management support. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 45(6), 1520–1528. https://doi.org/10.1109/TGRS.2007.895830
(9) Schulz, J., Fennig, K., Ament, F., Brueck, M., Deneke, H., & Crewell, S. (2019). Remote sensing of cloud properties with satellite data: A review. Atmosphere, 10(11), 642. https://doi.org/10.3390/atmos10110642
(10) Mahmoud, S. H., & Almazroui, M. (2021). Climatology of Mediterranean cyclones and their impact on precipitation over the Middle East. Climate Dynamics, 56(5-6), 1515–1533. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05419-0
(11) Rashid, H., & Badr, H. S. (2018). Synoptic classification and cloud distribution in Sudan and surrounding regions using satellite data. Atmospheric Research, 207, 27–38. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.03.007
(12) Kerr, Y. H., & Waldteufel, P. (2021). Satellite observations of clouds and their applications for climate studies. Remote Sensing of Environment, 259, 112415. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112415
(13) Stein, A., & Meng, X. (2018). Spatial Data Analysis in the Cloud: Applications and Techniques. Springer.
(14) Butler, D., & Toth, C. (2020). Visualizing spatial environmental data using hexagonal grids: a case study on atmospheric phenomena. Environmental Modelling & Software, 130, 104741.
(15) Kim, S., & Park, J. (2023). Integrating hexagonal grids and machine learning for improved cloud microphysical property estimation. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 61, 1-13.
(16) Carr, D., Smith, J., & Lee, A. (2019). Hexagonal binning for improved spatial data visualization. International Journal of Geographical Information Science, 33(8), 1615–1634.

(17) Peterson, M., & Olson, K. (2021). Visual perception and hexagonal grid layouts in environmental data mapping. Cartography and Geographic Information Science, 48(2), 157–170.
(18) Zhang, Y., Wang, L., & Li, H. (2022). Remote sensing retrieval of cloud microphysical properties: Integrating ice and liquid water content. Remote Sensing, 14(10), 2410
(19) Zhao, B., Zhang, Y., & Huang, X. (2021). A grid-based approach for cloud cover trend analysis using multi-source satellite imagery. Remote Sensing of Environment, 259, 112405. https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112405
(20) Gutiérrez, Y., & Hilker, T. (2022). Spatiotemporal mapping of cloud cover using gridded Landsat and MODIS data in mountainous regions.
International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 107, 102685. https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102685
(21) Klein, I., Bock, O., & Trenberth, K. (2020). Grid-based cloud analysis for water vapor and precipitation studies. Climate Dynamics, 55, 1549–1568. https://doi.org/10.1007/s00382-020-05322-1
(22) Li, Y., Wang, J., Zhang, L., & Liu, X. (2023). Spatiotemporal Analysis of Cloud Cover Using Grid-Based Remote Sensing Approaches. Remote Sensing, 15(3), 566. https://doi.org/10.3390/rs15030566
(23) Ahmed, B., & Pradhan, B. (2022). Cloud cover mapping and monitoring using MODIS grid datasets: A spatiotemporal analysis approach. Atmospheric Research, 265, 105931. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2021.105931
(24) Miyamoto, K., & Nakamura, K. (2021). Cloud mapping using triangular tessellation for dynamic satellite visualization. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 59(12), 10210–10219. https://doi.org/10.1109/TGRS.2021.3089912
(25) Cheng, L., & Yu, M. (2023). Tessellated triangular grid for visualizing cloud pattern variability in urban microclimates. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 31, 100997. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2023.100997
(26) Benitez, D., & Müller, H. (2022). Comparing hexagonal, square, and triangular tessellations in cloud distribution analysis. Cartography and Geographic Information Science, 49(3), 215–229.

(27) Al-Azzawi, M. F. U. (2024). *Applying modern digital technologies to process and analyze old historical maps of Iraq: A study in contemporary geographical thought. Journal of the College of Education for Human Sciences*, 31(1), University of Tikrit.

(28) Abdulbaqi, N. F. (2024). *Digital processing of thematic maps using artificial intelligence techniques. Journal of the College of Education for Human Sciences*, 31(9), University of Tikrit.