مجلة مركز بابل للدراسات الإنسانية ٢٠٢٦ المجلد ١٦/ العدد ٩

تحليل ومقارنة المؤشرات الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب في شمال ووسط العراق تحت تأثير المنخفضات المتوسطية والسودانية باستخدام الاستشعار عن بعد

م.د. عبد الرحمن عبد الكريم يحيى جاسم

قسم الجغرافية، كلية التربية للبنات، جامعة تكريت، صلاح الدين، العراق

م. شيماء سامي عبد الحافظ

قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة البصرة، البصرة، العراق

البريد الإلكتروني Email : abdulrahman.yahya@tu.edu.iq

الكلمات المفتاحية: الاستشعار عن بعد، السحب، التحليل المكاني، المؤشرات الفيزيائية والميكروفيزيائية.

كيفية اقتباس البحث

جاسم، عبد الرحمن عبد الكريم يحيى ، شيماء سامي عبد الحافظ ، تحليل ومقارنة المؤشرات الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب في شمال ووسط العراق تحت تأثير المنخفضات المتوسطية والسودانية باستخدام الاستشعار عن بعد،مجلة مركز بابل للدراسات الانسانية، أيلول ٢٠٢٦، المجلد:١٦ ،العدد:٩ .

هذا البحث من نوع الوصول المفتوح مرخص بموجب رخصة المشاع الإبداعي لحقوق التأليف والنشر (Creative Commons Attribution) تتيح فقط للآخرين تحميل البحث ومشاركته مع الآخرين بشرط نَسب العمل الأصلي للمؤلف، ودون القيام بأي تعديل أو استخدامه لأغراض تجارية.

مفهرسة في Indexed
IASJ

مسجلة في Registered
ROAD

Analysis and Comparison of the Physical and Microphysical Cloud Parameters in Northern and Central Iraq under the Influence of Mediterranean and Sudanese Depressions Using Remote Sensing

Dr. Abdurrahman Abdul Kareem Yahya *
Department of Geography, College of Education for Women, Tikrit University, Salahaddin, Iraq
Ms. Shaimaa Sami Abdulhafiz
Department of Geography and Geographic Information Systems, College of Arts, University of Basrah, Basrah, Iraq

Keywords : Remote Sensing, Clouds, Spatial Analysis, Physical and Microphysical Indicators

How To Cite This Article
Yahya, Abdurrahman Abdul Kareem , Shaimaa Sami Abdulhafiz, Analysis and Comparison of the Physical and Microphysical Cloud Parameters in Northern and Central Iraq under the Influence of Mediterranean and Sudanese Depressions Using Remote Sensing,Journal Of Babylon Center For Humanities Studies, September 2026,Volume:16,Issue 9.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

Abstract:
This study aims to analyze and compare the physical and microphysical cloud properties over northern and central Iraq under the influence of two major atmospheric systems: the Mediterranean low and the Sudanese low. The analysis is based on remote sensing techniques and satellite data from **Terra** and **Aqua** equipped with the **MODIS** sensor, focusing on clouds associated with the Mediterranean low on 18 March 2024 and the Sudanese low on 11 January 2025. Examined cloud parameters include Cloud Top Temperature (CTT), Cloud Top Height (CTH), Cloud Optical Thickness (COT), Effective Radius (Re), Cloud Phase Optical Properties (CPOP), and Cloud Water Path (CWP), which were integrated within a GIS framework for detailed spatial and temporal analysis.
The results indicate that the Mediterranean low is dominated by **ice-phase clouds** over northern Iraq, characterized by high optical thickness, cloud tops exceeding

10,000 m, and medium-to-large ice particles, driven by low temperatures and strong dynamic uplift, with cold cumulonimbus clouds prevailing. In contrast, the Sudanese low promotes the spread of **liquid-phase clouds** across central and southern Iraq, with greater thermal variability, moderate cloud top heights (2,750–10,080 m), larger droplet sizes, and a range of optical thickness from dense to thin. These differences reflect variations in cloud vertical structure and dynamics between the two systems, affecting precipitation distribution and the microphysical properties of clouds in the region.

ملخص:

يهدف البحث إلى تحليل ومقارنة الخصائص الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب في شمال ووسط العراق تحت تأثير نوعين من المنخفضات الجوية الرئيسة، وهما المنخفض المتوسطي والمنخفض السوداني، بالاعتماد على تقنيات الاستشعار عن بعد وبيانات الأقمار الصناعية Terra و Aqua المزودة بمستشعر MODIS، لما توفره من قدرة عالية على رصد خصائص الغطاء السحابي بدقة مكانية وزمانية مناسبة. واعتمدت الدراسة على تحليل خصائص السحب خلال حالة المنخفض المتوسطي بتاريخ ٢٠٢٤/٠٣/١٨، والمنخفض السوداني بتاريخ ٢٠٢٥/٠١/١١، بهدف الكشف عن الفروق المكانية والزمانية في بنية السحب وخصائصها الناتجة عن اختلاف الأنظمة الجوية المؤثرة في المنطقة. وقد شملت المؤشرات السحابية الكمية المستخدمة في التحليل درجة حرارة قمم الغيوم (CTT)، وارتفاع قمم الغيوم (CTH)، والسماكة البصرية للسحب (COT)، ونصف قطر القطرات الفعال (Re)، وخصائص الطور البصري للسحب (CPOP)، بالإضافة إلى مسار الماء في السحب (CWP)، والتي تُعد من أهم المؤشرات المستخدمة في تقييم التركيب الفيزيائي والميكروفيزيائي للسحب ودراسة خصائصها. وخضعت البيانات لعمليات المعالجة المسبقة، التي تضمنت إزالة البيانات غير الصالحة والقيم الشاذة والضوضاء، والتحقق من جودة البيانات لضمان دقة وموثوقية النتائج، ثم دُمجت هذه المؤشرات ضمن بيئة نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لإجراء تحليل مكاني وزماني دقيق، وإنتاج خرائط موضوعية توضح أنماط توزيع السحب وتباين خصائصها بين الحالتين المدروستين. وأظهرت نتائج الدراسة أن المنخفض المتوسطي يغلب عليه تكوين السحب الجليدية في شمال العراق، مع انخفاض واضح في درجة حرارة قمم السحب، وارتفاعها إلى أكثر من ١٠٠٠٠ م، وارتفاع قيم السماكة البصرية، ووجود قطرات متوسطة إلى كبيرة الحجم نتيجة انخفاض درجات الحرارة وقوة الرفع الهوائي، كما تسود السحب الركامية المزنية الباردة المصاحبة للهطول الغزير. في المقابل، يؤدي المنخفض السوداني إلى زيادة انتشار السحب المائية في وسط وجنوب العراق، مع تباين حراري أكبر، وارتفاع متوسط لقمم السحب تراوح بين ٢٧٥٠–١٠٠٨٠ م، وأحجام قطرات أكبر، وسماكات بصرية متفاوتة بين السحب الكثيفة والرقيقة، وهو ما يعكس اختلاف البنية الرأسية وديناميكيات تطور السحب بين النظامين الجويين. وتبرز نتائج الدراسة أهمية توظيف بيانات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية في تحسين فهم خصائص السحب وآليات تشكلها، ودعم دراسات الطقس والمناخ، والإسهام في تطوير دقة التنبؤ بالأحوال الجوية والهطول في العراق.

مقدمة:

تعد الغيوم أحد أهم المكونات الرئيسة للغلاف الجوي، إذ تؤدي دوراً حيوياً في النظام المناخي للأرض من خلال تأثيرها المباشر وغير المباشر في موازنة الطاقة بين سطح الأرض والغلاف الجوي. فهي تمثل حلقة

أساسية في الدورة المائية عبر تكوين الأمطار والثلوج، وتسهم في إعادة توزيع الحرارة والرطوبة بين المناطق المختلفة، كما تعد عاملاً أساسياً في التحكم بكمية الإشعاع الشمسي الواصلة إلى سطح الأرض ودرجة انعكاسها نحو الفضاء. ومن هنا تأتي أهمية دراسة الغيوم بوصفها مدخلاً لفهم العمليات المناخية والبيئية المؤثرة في استدامة الموارد الطبيعية.

تتميز منطقة شمال العراق بموقعها الجغرافي ضمن نطاق انتقالي يتأثر بعدة نظم مناخية متباينة، أبرزها المنخفض المتوسطي والمنخفض السوداني. فالمنخفض المتوسطي غالباً ما يتسبب في جلب كتل هوائية رطبة قادمة من البحر المتوسط، مما يؤدي إلى تكوين سحب طبقية وسحب ماطرة كثيفة خصوصاً في فصلي الشتاء والربيع. أما المنخفض السوداني، فيرتبط عادة بتدفق كتل هوائية دافئة ورطبة من جهة البحر الأحمر، تؤدي إلى نشوء سحب ركامية رعدية في بعض الأحيان، وتكون أكثر وضوحاً خلال المواسم الانتقالية. إن هذا التباين في مصادر الكتل الهوائية ونظم الضغط الجوي يجعل من شمال العراق منطقة غنية بالدراسات المناخية، لاسيما في ما يتعلق بالغيوم وأنماطها وتوزيعها المكاني والزماني.

وفي ظل التطور التقني في تقنيات الاستشعار عن بعد ونظم المعلومات الجغرافية، أصبح بالإمكان الحصول على بيانات كمية دقيقة عن السحب ومعالجتها وتحليلها مكانياً وزمانياً، مما يتيح إجراء مقارنات علمية موضوعية بين الحالات الجوية المختلفة. وعليه، يهدف هذا الموضوع إلى رصد وتحليل ومقارنة خصائص الغيوم في شمال العراق وفقاً لتأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني، بما يسهم في تعميق الفهم العلمي للأنظمة الجوية المؤثرة في المنطقة، وتحسين دقة التفسير المناخي ودعم جهود التنبؤ بالطقس وإدارة المخاطر المناخية.

مشكلة الدراسة: تكمن مشكلة الدراسة في التساؤل الآتي: كيف يمكن تحليل ومقارنة المؤشرات الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب في شمال ووسط العراق تحت تأثير المنخفضات المتوسطية والسودانية باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد؟ وما مدى كفاءة هذه التقنيات في تمييز خصائص السحب المختلفة وتفسير تباينها المكاني والزماني في ظل اختلاف الأنظمة الجوية المؤثرة؟

فرضية الدراسة: تفترض الدراسة أن تقنيات الاستشعار عن بعد قادرة على تحليل وتمييز المؤشرات الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب في شمال ووسط العراق بدقة عالية، وأن هناك تبايناً واضحاً في خصائص السحب بين تأثير المنخفضات المتوسطية والسودانية، يمكن الكشف عنه من خلال هذه المؤشرات، بما يسهم في تفسير الاختلافات المكانية والزمانية للسحب وتحسين فهم الأنظمة الجوية المؤثرة.

أهداف الدراسة: تهدف الدراسة إلى تحليل المؤشرات الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب في شمال ووسط العراق باستخدام تقنيات الاستشعار عن بعد، ومقارنة خصائص السحب تحت تأثير المنخفضات المتوسطية والسودانية، فضلاً عن الكشف عن التباين المكاني والزماني لهذه الخصائص. كما تسعى إلى تقييم كفاءة بيانات الاستشعار عن بعد في تمييز أنواع السحب وتفسير سلوكها، بما يسهم في تحسين فهم الأنظمة الجوية ودعم الدراسات المناخية.

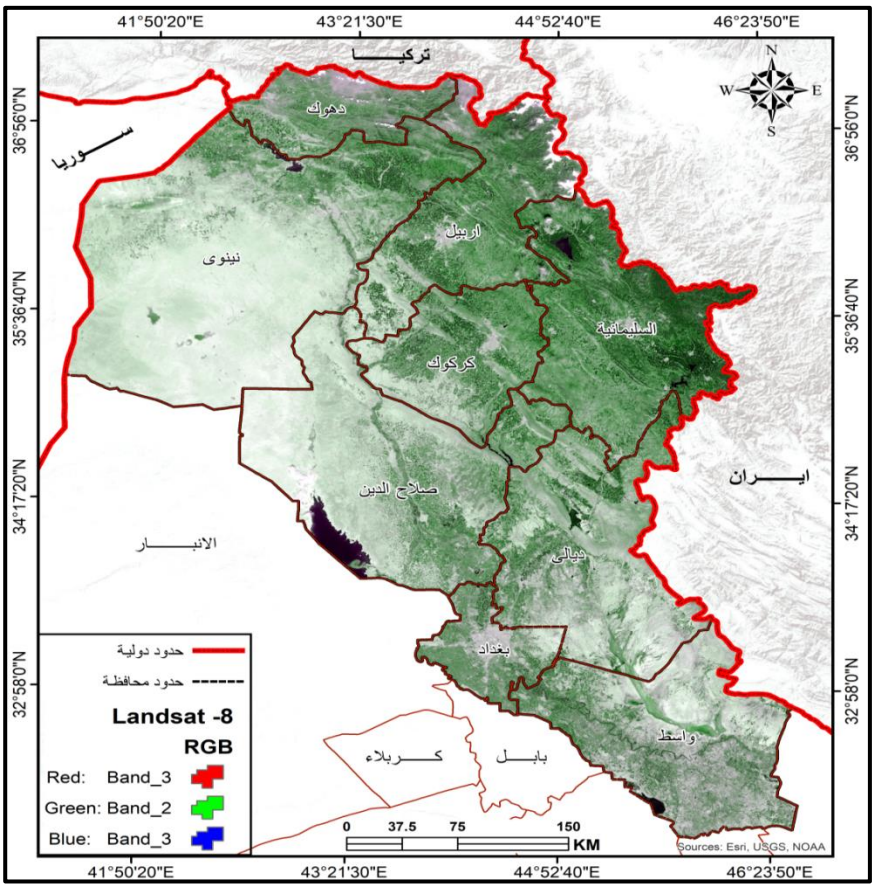
مناهج الدراسة: تعتمد هذه الدراسة على مجموعة من المناهج التي تلاءم طبيعة البحث، إذ يستخدم المنهج الوصفي في وصف الخصائص الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب، والمنهج التحليلي لتفسير العلاقات بين هذه المؤشرات وأنماط التغير تحت تأثير المنخفضات المتوسطية والسودانية. كما يستعان بالمنهج الكمي لمعالجة البيانات الرقمية المستخرجة من الاستشعار عن بعد إحصائياً، والمنهج المقارن لمقارنة خصائص السحب بين

شمال ووسط العراق وإبراز أوجه التشابه والاختلاف. ويوظف المنهج المكاني لتحليل التوزيع المكاني للسحب باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS)، إضافة إلى المنهج التطبيقي الذي يركز على توظيف أدوات الاستشعار عن بعد وتقنيات التحليل المكاني عملياً لدراسة أنماط السحب.

مواد وطرق العمل:

١ –منطقة الدراسة: تقع منطقة الدراسة في شمال ووسط العراق، وتشمل محافظات متعددة تمتد على طول عرض البلاد ، تمتد بين خطي طول(٠ ً ٤٠ ٌ ٤٦ – ٠ ً ٢٠ ٌ ٤١) شرقاً ودائرتي عرض (٠ ً ٢٠ ٌ ٣٢ – ٠ ً ٢٠ ٌ ٣٧) شمالاً، تحدها من الشمال تركيا، ومن الشرق ايران، ومن الغرب سوريا ومحافظة الانبار، بينما تمتد حدودها الجنوبية نحو محافظات بابل، النجف، كربلاء، وميسان، خريطة (١)، تبلغ مساحة منطقة الدراسة نحو (١٥٣٠١٣.٨٠) كم^{٢} وبنسبة (٣٥%) من مساحة العراق. يرجع سبب اختيار منطقة الدراسة لتمتعها بتنوع جغرافي ومناخي واضح، إذ تمثل نطاقاً انتقالياً يتأثر بعدة أنظمة ضغطية، أبرزها المنخفض المتوسطي والمنخفض السوداني، مما يوفر بيئة ملائمة لدراسة الخصائص الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب، كما يسهم التباين التضاريسي بين البيئات الجبلية والمتموجة والسهلية في تعزيز التباين المكاني لهذه الخصائص.

خريطة (١) موقع منطقة الدراسة من العراق



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة العراق الادارية ، مقياس ١: ١٠٠٠٠٠٠ لسنة ٢٠١٠، ومخرجات برنامج ArcGIS.

٢-المنصات والمؤشرات المستخدمة في الدراسة:

اعتمدت الدراسة على قمر تيرا الصناعي (Terra Satellite) التابع لوكالة ناسا، والذي يعد جزءاً من برنامج الأرض الدولي لمراقبة الغلاف الجوي والمسطحات المائية والسطح الأرضي، ويتميز بتغطيته لمساحات واسعة من الكرة الأرضية يومياً وبقدرته على توفير صور متعددة الطيف بدقة مكانية متوسطة تتراوح بين ٢٥٠ و١٠٠٠ متر، ما يجعله مناسباً لمتابعة تغيرات السحب والظواهر المناخية على نطاق واسع(Platnick, et al, 2003).

وقد استخدم المستشعر (MODIS)، الذي يحتوي على (٣٦) قناة طيفية تمتد من الأشعة المرئية إلى الأشعة تحت الحمراء، ويتيح قياس الخصائص الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب بشكل دوري ودقيق، مما يمكن من تحليل التوزيع المكاني والزماني للغيوم ودراسة تأثير الأنظمة الجوية المختلفة عليها(King, et al , 2013).

ومن خلال بيانات المتحسس(MODIS)، تم رصد عدة مؤشرات مهمة للسحب، أبرزها درجة حرارة قمة السحب (Cloud Top Temperature)، وارتفاع قمة السحب(Cloud Top Height) ، وسماكة السحب البصرية (Cloud Optical Thickness)، ونصف القطر الفعال لقطرات السحب (Effective Radius) ، والخصائص البصرية لمرحلة السحب(Cloud Phase Optical Properties) ، وكمية المياه في السحب (Cloud Water Path)، (Halimi , et a;, 2017)، وقد استخدمت هذه المؤشرات لتحليل التباين المكاني والزماني للسحب في شمال ووسط العراق ودراسة تأثير المنخفضات المتوسطية والسودانية على خصائصها الفيزيائية والميكروفيزيائية.

٣-التحليل المقارن للخصائص الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب:

هو دراسة الفروق والتشابهات بين السمات الظاهرية والدقيقة للقطرات والجزيئات المكونة للسحب، لفهم سلوكها وتطورها خلال تأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني من خلال الخصائص التالية:

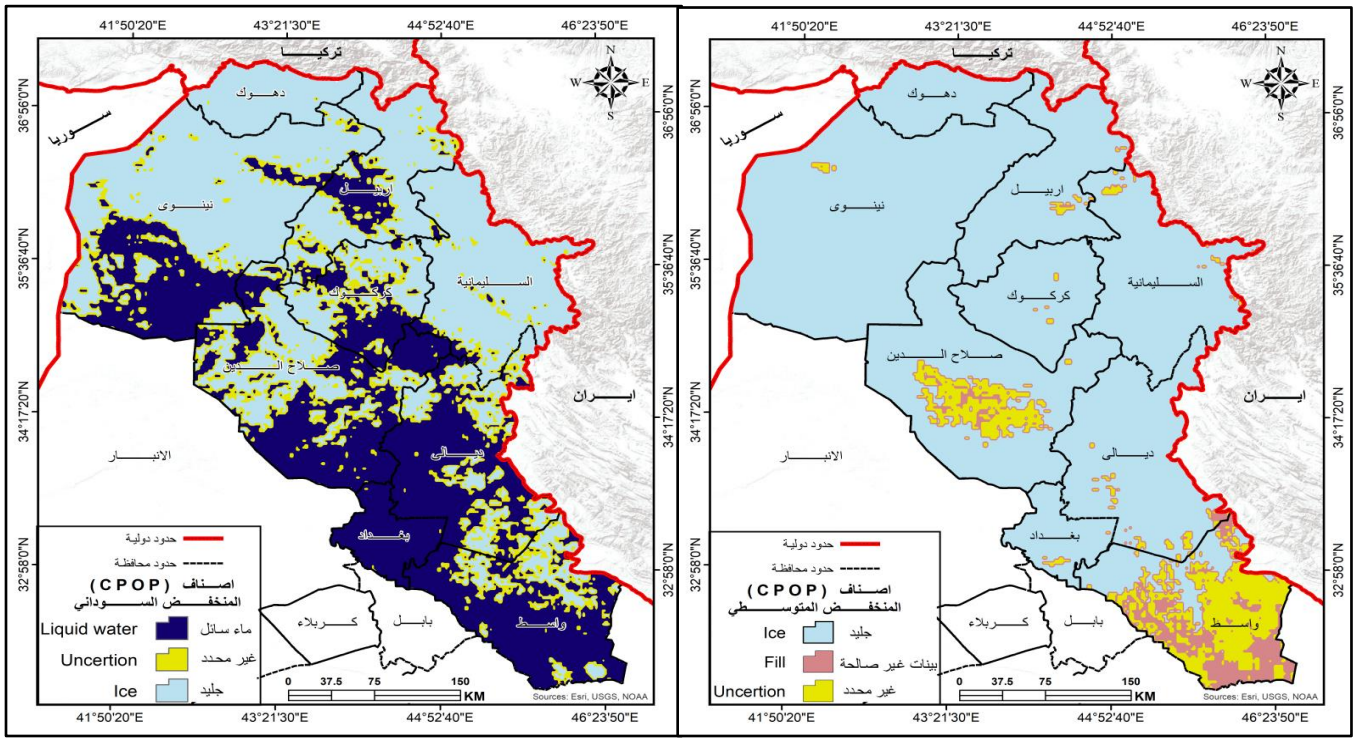
٣-١ **خصائص الطور البصري للسحابة(CPOP)**: يتبين من خلال خريطة (٢) وجدول (١) وشكل (١) أن السحب ذات الطور البصري (بينات غير صالحة) تركزت بشكل رئيسي في محافظات وسط وجنوب العراق تحت تأثير المنخفض السوداني، حيث سجلت محافظة (واسط) أعلى مساحة تقدر بـ (٢٩٨٣.٣٨ كم²)، تليها (صلاح الدين) و(ديالى) بمساحات أقل، بينما غابت هذه الفئة تقريباً عن المحافظات الشمالية مثل (دهوك) و(كركوك) تحت تأثير المنخفض المتوسطي، حيث كانت المساحات (٠.٠٠ كم²). يشير ذلك إلى أن الطور غير الصالح للبنية عادة مرتبط بتطورات محلية ضعيفة للسحب، ويمثل مناطق انتقالية بين الطور السائل والجليدي.

بالنسبة للسحب ذات الطور (جليد)، يظهر أن تأثير المنخفض المتوسطي أعطى مساحات كبيرة في شمال العراق، حيث بلغت أعلى قيمة في (نينوى) بـ (٣٧٨٠٥.٢٥ كم²)، تليها (السليمانية) بـ (١٧١٥٨.٦١ كم²) و(أربيل) بـ (١٤١٩٦.١٨ كم²)، بينما تحت تأثير المنخفض السوداني انخفضت المساحات بشكل ملحوظ لتستقر بين (٣٤٥٣.٩٦ كم²) في (صلاح الدين) و(٦٥٨٣.٧٥ كم²) في (دهوك). ويعود سبب سيادة الطور الجليدي في المنخفض المتوسطي إلى انخفاض درجات الحرارة في طبقات الجو العليا وارتفاع سرعة الصعود الهوائي، ما يعزز تكوين بلورات الثلج وتجمد قطرات الماء (Eleni Marinou, et al, 2021)، خصوصاً في المناطق الشمالية الأعلى ارتفاعاً.

أما السحب ذات الطور (ماء سائل)، فتظهر زيادة واضحة في مناطق الوسط والجنوب تحت تأثير المنخفض السوداني، حيث سجلت (صلاح الدين) (١٣٦٣٩.٤٦ كم²)، (واسط) (١٢٠١٧.٥١ كم²) و(ديالى)

(١١٢٧١.٤٨ كم²)، بينما تحت تأثير المنخفض المتوسطي كانت هذه الفئة محدودة للغاية تقريباً، حيث لم تتجاوز (٢٩٤٠.٣٥ كم²) في (أربيل)، كما في خريطة (٢)، يعود ذلك إلى أن المنخفض السوداني يجلب رطوبة دافئة من المناطق الاستوائية، مما يؤدي إلى ارتفاع درجات حرارة الطبقات السفلى من الغلاف الجوي(كاظم ، وحسين، ٢٠١٨) مما يعزز سيادة الطور المائي على الطور الجليدي في معظم السحب، خاصة في المناطق الوسطى والجنوبية.

خريطة (٢) خصائص الطور البصري للسحابة (CPOP) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



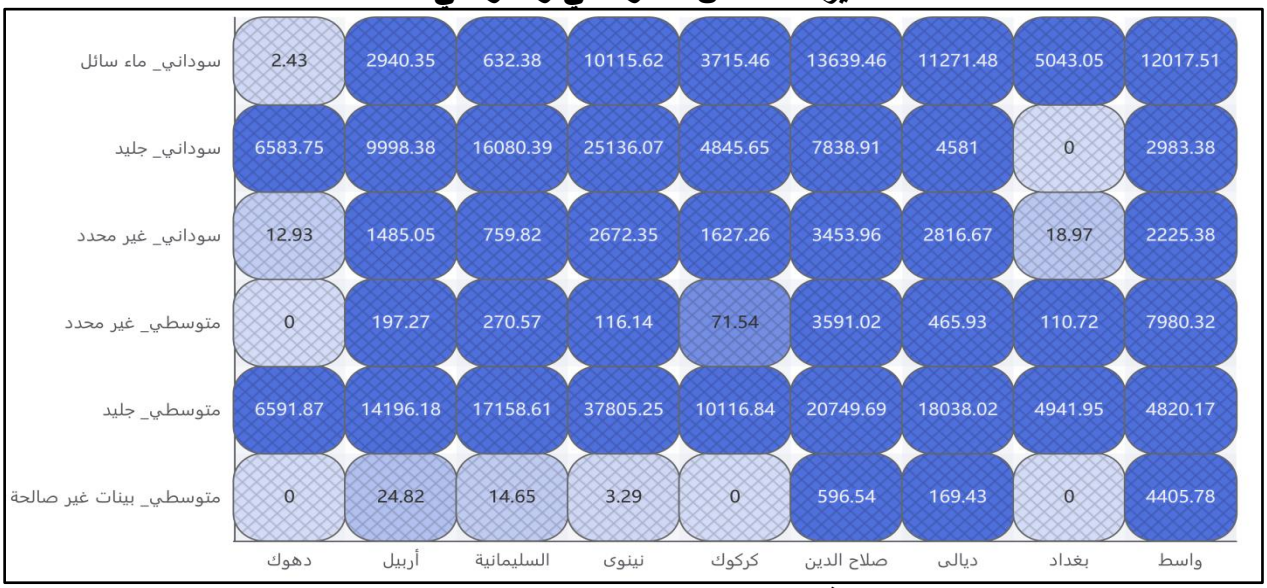
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على مؤشر (CPOP)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

جدول (١) مقارنة مساحة أنواع الطور البصري للسحب في منطقة الدراسة تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني

المنخفض	المتوسطي_ كم^2			السوداني _ كم^2		
المحافظة	بينات غير صالحة	جليد	غير محدد	غير محدد	جليد	ماء سائل
دهوك	0.00	6591.87	0.00	12.93	6583.75	2.43
أربيل	24.82	14196.18	197.27	1485.05	9998.38	2940.35
السليمانية	14.65	17158.61	270.57	759.82	16080.39	632.38
نينوى	3.29	37805.25	116.14	2672.35	25136.07	10115.62
كركوك	0.00	10116.84	71.54	1627.26	4845.65	3715.46
صلاح الدين	596.54	20749.69	3591.02	3453.96	7838.91	13639.46
ديالى	169.43	18038.02	465.93	2816.67	4581.00	11271.48
بغداد	0.00	4941.95	110.72	18.97	0.00	5043.05
واسط	4405.78	4820.17	7980.32	2225.38	2983.38	12017.51

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة(٢).

شكل (١) مخطط الحرارة (Heatmap) للخصائص الطور البصري للسحابة (CPOP) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



٣-٢ محتوى الماء للسحابة (CWP): يتبين من خلال خريطة (٣) وتحليل جدول (٢) وشكل (٢) هناك تباين كبير في محتوى المائي للسحب تحت تأثير المنخفضين، بالنسبة لطور الجليد، يظهر أن المنخفض المتوسطي يهيمن عليه بشكل واضح في شمال العراق، حيث سجلت محافظة (نينوى) أكبر مساحة لمحتوى الجليد المتوسط (٢٠٠ غرام/م^2) بـ (١٣٢٥٢.٧٢ كم^2)،

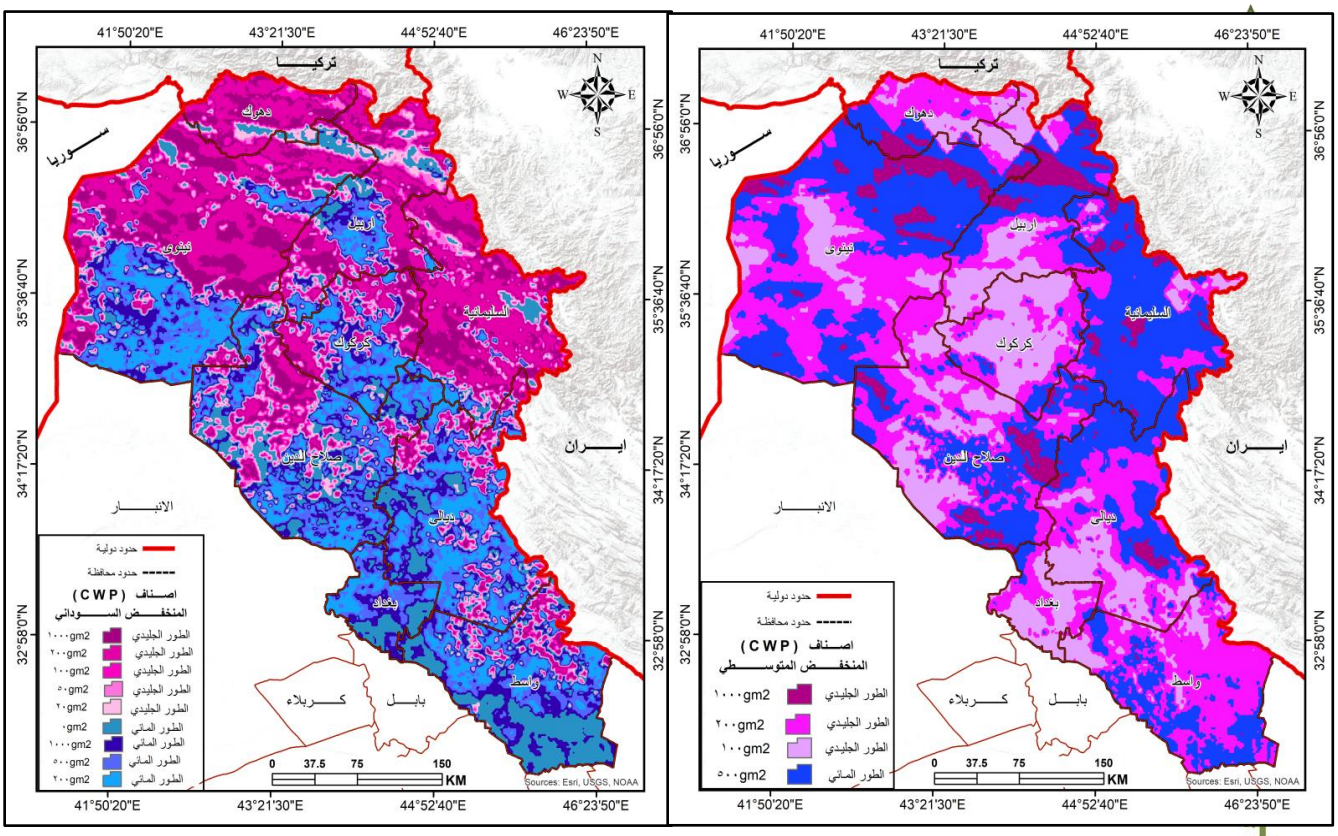
تلتها (أربيل) (٣١٧٧.٢٤ كم²) و(السليمانية) (٣٠٤٤.٥١ كم²)، بينما المحتوى العالي جداً (١٠٠٠ غرام/م²) كان أقل انتشاراً، مثل (نينوى) (٣٥١٩.٦٠ كم²) و(أربيل) (٢٠٧٠.٦٦ كم²). ويرجع سبب سيادة الجليد إلى انخفاض درجات الحرارة في الطبقات العليا للغلاف الجوي وارتفاع الصعود الهوائي، مما يعزز تحويل بخار الماء إلى بلورات ثلجية ويحد من تكوين الماء السائل (Rosenfeld, & Woodley, 2003)، بينما تظهر محتويات منخفضة (٥٠-٠ غرام/م²) شبه معدومة، ما يدل على أن المنخفض المتوسطي يركز تكوين الجليد بكميات متوسطة إلى عالية.

أما تحت تأثير المنخفض السوداني، فيظهر محتوى الجليد أقل تركيزاً، حيث بلغت المساحات للمحتوى العالي (١٠٠٠ غرام/م²) في (نينوى) (٨٥٧٢.١٧ كم²) و(أربيل) (٢٧٢٥.٠٨ كم²)، بينما في الوسط والجنوب كانت المساحات منخفضة جداً، مثل (واسط) (٥٥٧.٦٠ كم²) و(بغداد) (٠.٠٠ كم²). ويعود ذلك إلى دخول رطوبة دافئة من المناطق الاستوائية وارتفاع درجات الحرارة، مما يقلل من تكوين بلورات الثلج ويزيد من احتمال تحول الجليد إلى الماء السائل.

بالنسبة لطور الماء السائل، يظهر المنخفض المتوسطي الماء السائل بمحتوى متوسط (٥٠٠ غرام/م²) بشكل محدود في الشمال، مثل (نينوى) (١٦٥٨٠.٨٨ كم²) و(السليمانية) (١٢١٣٧.٧٧ كم²)، بينما غاب المحتوى العالي جداً (١٠٠٠ غرام/م²) تماماً (٠.٠٠ كم²)، بسبب برودة الجو ونقص الرطوبة الكافية التي تمنع تراكم الماء السائل بكميات كبيرة.

أما تحت المنخفض السوداني، فيسيطر الطور السائل في الوسط والجنوب بشكل واضح، حيث سجلت مساحات كبيرة للمحتوى العالي (١٠٠٠ غرام/م²) مثل (ديالى) (٤٠٢٥.٢٣ كم²)، (واسط) (٣٧٥٦.٤٤ كم²) و(صلاح الدين) (٣٣٧٨.٦٥ كم²)، بينما في الشمال كانت القيم أقل مثل (دهوك) (٤.٧٧ كم²) و(أربيل) (١٠٦٠.١٨ كم²). ويعود السبب إلى الرطوبة العالية والهواء الدافئ المصاحب للمنخفض السوداني، ما يعزز تراكم الماء في الطور السائل ويحد من تكوين الجليد.

خريطة (٣) خصائص محتوى الماء للسحابة (CWP) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



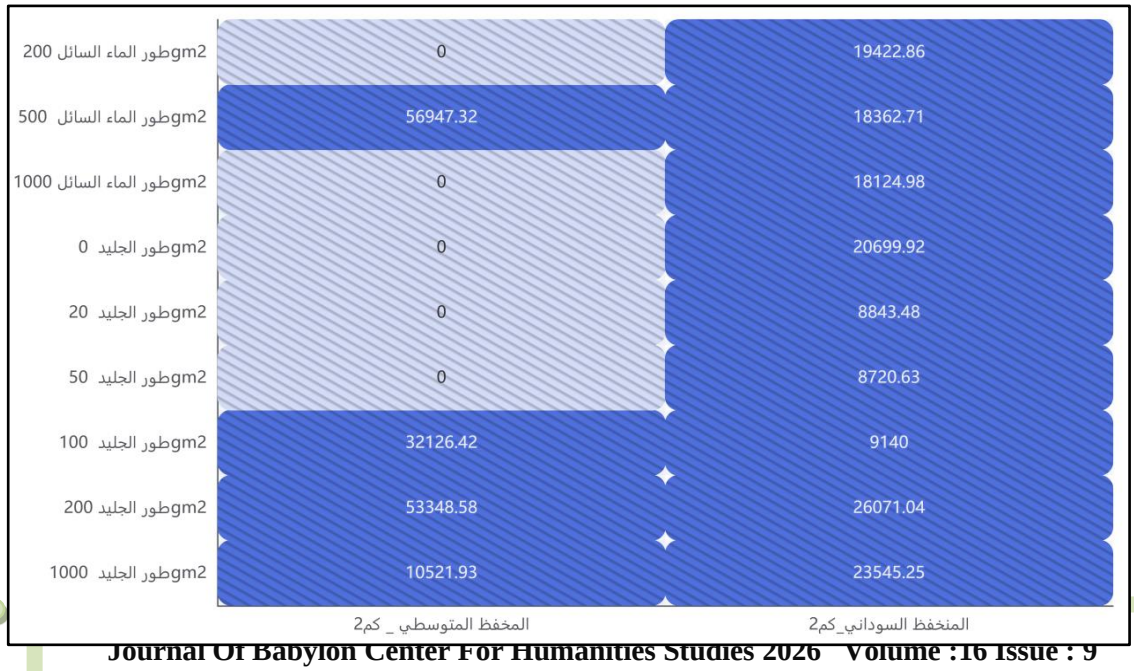
جدول (٢) التباين المكاني لمساحة أنواع محتوى الماء للسحابة (CWP) في منطقة الدراسة تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني

المنخفض	طور السحابة	محتوى الماء (غرام/م²)	المساحة – كم²								
			دهوك	أربيل	السليمانية	نينوى	كركوك	صلاح الدين	ديالى	بغداد	واسط
المتوسطي	طور الجليد (Ice Phase)	1000gm2	671.52	2070.66	1496.97	3519.60	46.13	2106.79	539.62	10.92	30.62
		200gm2	3017.14	3177.24	3044.51	13252.72	3020.03	9210.43	6713.59	1960.78	9853.47
		100gm2	1431.46	4345.36	807.84	4573.76	6201.68	5563.48	4412.74	2666.60	2049.74
		50gm2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		20gm2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		0gm2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	طور الماء السائل (Water Phase)	1000gm2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
		500gm2	1489.33	4852.95	12137.77	16580.88	920.54	8056.79	7012.26	423.72	5335.01
		200gm2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

557.60	0.00	854.16	2185.30	1617.88	8572.17	4871.25	2725.08	2112.23	1000gm2	طور الجليد (Ice Phase)	السوداني
324.05	0.00	559.36	1121.46	1458.26	9624.64	7128.42	3113.81	2676.88	200gm2		
600.75	0.00	846.89	1440.73	674.77	2184.10	1338.58	1364.14	670.97	100gm2		
675.09	4.96	1087.22	1570.47	666.49	1748.84	1329.96	1280.39	333.54	50gm2		
670.13	0.00	1191.43	1894.45	657.08	1811.23	866.12	1311.01	416.32	20gm2		
5659.81	1291.18	2641.81	4478.91	916.39	2659.57	1048.66	1544.35	390.51	0gm2		
3756.44	1421.11	3378.65	4025.23	1331.09	2823.13	284.02	1060.18	4.77	1000gm2	طور الماء السائل (Water Phase)	
2674.76	1337.17	3819.68	4202.22	1292.67	3606.24	264.05	1127.60	0.00	500gm2		
2338.27	1006.90	4291.93	4013.04	1573.75	4880.95	354.41	917.52	0.00	200gm2		

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة(٣).

شكل (٢) مخطط الحرارة (Heatmap) لمحتوى الماء في السحب (CWP) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني

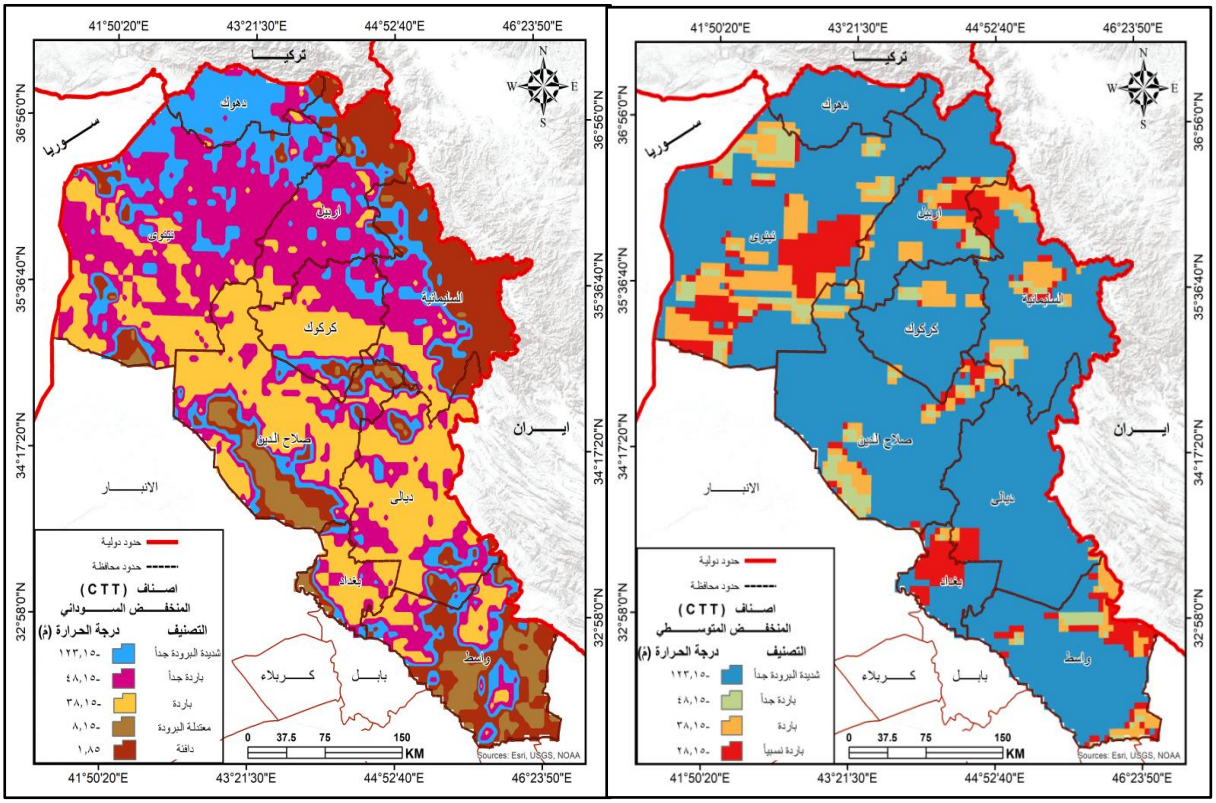


المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على جدول (٢).

٣-٣ **درجة حرارة قمة السحابة (CTT)**: يتبين من خلال خريطة (٤) وجدول (٣) وشكل (٣) وجود تباين واضح في الخصائص الحرارية ونوع السحب تحت تأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني في منطقة الدراسة ما يعكس اختلاف ديناميكيات الغلاف الجوي والخصائص الفيزيائية للسحب، بالنسبة للمنخفض المتوسطي، تظهر درجات حرارة قمم السحب منخفضة جداً في شمال العراق، حيث سجلت (دهوك) نحو (-١٢٣.١٥م°)، و(أربيل) (-٤٨.١٥م°)، و(نينوى) (-٣٨.١٥ م°)، ما أدى إلى تصنيف حراري للسحب على أنها شديدة البرودة جداً في الشمال، وباردة أو باردة نسبياً في الوسط، مثل (كركوك) (-٣٨.١٥م°) و(ديالى) (-٢٨.١٥م°). ويرتبط هذا الانخفاض الكبير في درجات الحرارة بانتشار السحب الركامية المزنية (Cumulonimbus) في الشمال، مثل (دهوك) بمساحة (٦٤١٠.٧٨ كم²)، و(أربيل) (١١١٢٣.٦١ كم²)، و(نينوى) (٢١٨٢٢.٩٣ كم²)، بينما تقل المساحات في الوسط والجنوب، حيث تظهر أنواع مختلطة من السحب الطبقية والمتوسطة. ويعزى ذلك إلى ارتفاع الصعود الهوائي الشديد والبرودة القوية للغلاف الجوي العلوي، ما يعزز تكوين السحب الركامية المزنية الكبيرة في الشمال مع قدرة محدودة لتشكل السحب المتوسطة في المناطق الأدنى ارتفاعاً.

أما المنخفض السوداني، فيلاحظ ارتفاع درجات الحرارة مقارنة بالمتوسطي، حيث تراوحت القيم بين (-١٢٣.١٥م°) في الشمال البارد مثل (دهوك) و(١.٨٥م°) في الجنوب مثل (واسط)، مع تصنيفات حرارية تمتد من شديدة البرودة جداً في الشمال إلى دافئة في الجنوب. وبناءً على ذلك، يظهر تحول واضح في نوع السحب، حيث يغلب طور السحب الركامية المزنية في الشمال والوسط، مثل (نينوى) (١٩٢٣٤.٦٩ كم²) و(صلاح الدين) (١٢٤١٣.٧٥ كم²)، بينما في الجنوب والوسط تظهر السحب الطبقية والركامية الطبقية (Stratocumulus و Stratus) مثل (واسط) (٥٤٩٩.٠٣ كم²) و(بغداد) (٣٣٦.٣١ كم²). ويعود السبب في ذلك إلى دخول رطوبة دافئة من المناطق الاستوائية وارتفاع درجات الحرارة في الطبقات السفلى للغلاف الجوي، ما يعزز تكوين السحب المتوسطة والمعتدلة البرودة ويقلل سيطرة الطور البارد جداً مقارنة بالمنخفض المتوسطي.

خريطة (٤) خصائص درجة حرارة قمة السحابة (CTT) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني

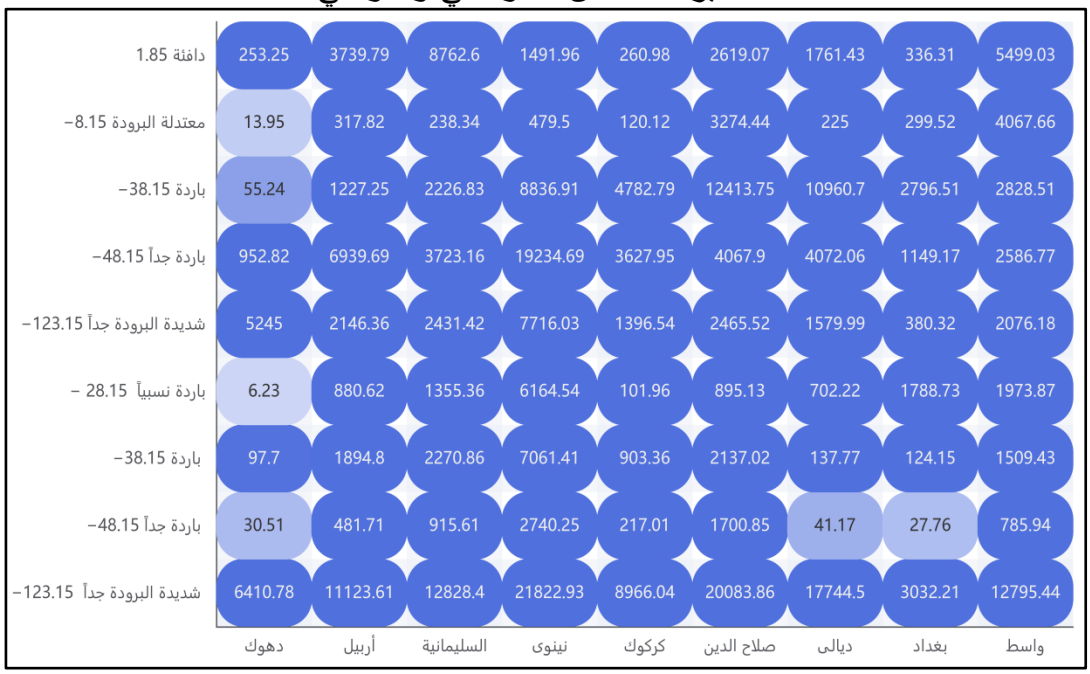


جدول (٣) التباين المكاني لمساحة درجة حرارة قمة السحابة (CTT) في منطقة الدراسة تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني

المنخفض	المتوسطي_ كم٢				السوداني _ كم٢				
درجة الحرارة (°م)	-١٢٣.١٥	-٤٨.١٥	-٣٨.١٥	-٢٨.١٥	-١٢٣.١٥	-٤٨.١٥	-٣٨.١٥	-٨.١٥	١.٨٥
التصنيف الحراري للسحب	شديدة البرودة جداً	باردة جداً	باردة	باردة نسبياً	شديدة البرودة جداً	باردة جداً	باردة	معتدلة البرودة	دافئة
نوع السحابة	Cumulonimbus السحب الركامية المزنية	Cumulonimbus السحب الركامية المزنية	Altostratus السحب الطبقية المتوسطة	Altocumulus السحب الركامية المتوسطة	Cumulonimbus السحب الركامية المزنية	Cumulonimbus السحب الركامية المزنية	Altostratus السحب الطبقية المتوسطة	Stratocumulus السحب الركامية الطبقية	Stratus السحب الطبقية
دهوك	٦٤١٠.٧٨	٣٠.٥١	٩٧.٧٠	٦.٢٣	٥٢٤٥.٠٠	٩٥٢.٨٢	٥٥.٢٤	١٣.٩٥	٢٥٣.٢٥
أربيل	١١١٢٣.٦١	٤٨١.٧١	١٨٩٤.٨٠	٨٨٠.٦٢	٢١٤٦.٣٦	٦٩٣٩.٦٩	١٢٢٧.٢٥	٣١٧.٨٢	٣٧٣٩.٧٩
السليمانية	١٢٨٢٨.٤٠	٩١٥.٦١	٢٢٧٠.٨٦	١٣٥٥.٣٦	٢٤٣١.٤٢	٣٧٢٣.١٦	٢٢٢٦.٨٣	٢٣٨.٣٤	٨٧٦٢.٦٠
نينوى	٢١٨٢٢.٩٣	٢٧٤٠.٢٥	٧٠٦١.٤١	٦١٦٤.٥٤	٧٧١٦.٠٣	١٩٢٣٤.٦٩	٨٨٣٦.٩١	٤٧٩.٥٠	١٤٩١.٩٦
كركوك	٨٩٦٦.٠٤	٢١٧.٠١	٩٠٣.٣٦	١٠١.٩٦	١٣٩٦.٥٤	٣٦٢٧.٩٥	٤٧٨٢.٧٩	١٢٠.١٢	٢٦٠.٩٨
صلاح الدين	٢٠٠٨٣.٨٦	١٧٠٠.٨٥	٢١٣٧.٠٢	٨٩٥.١٣	٢٤٦٥.٥٢	٤٠٦٧.٩٠	١٢٤١٣.٧٥	٣٢٧٤.٤٤	٢٦١٩.٠٧
ديالى	١٧٧٤٤.٥٠	٤١.١٧	١٣٧.٧٧	٧٠٢.٢٢	١٥٧٩.٩٩	٤٠٧٢.٠٦	١٠٩٦٠.٧٠	٢٢٥.٠٠	١٧٦١.٤٣
بغداد	٣٠٣٢.٢١	٢٧.٧٦	١٢٤.١٥	١٧٨٨.٧٣	٣٨٠.٣٢	١١٤٩.١٧	٢٧٩٦.٥١	٢٩٩.٥٢	٣٣٦.٣١
واسط	١٢٧٩٥.٤٤	٧٨٥.٩٤	١٥٠٩.٤٣	١٩٧٣.٨٧	٢٠٧٦.١٨	٢٥٨٦.٧٧	٢٨٢٨.٥١	٤٠٦٧.٦٦	٥٤٩٩.٠٣

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة(٤).

شكل (٣) مخطط الحرارة (Heatmap) لدرجة حرارة قمة السحابة (CTT) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



٤-٣ **ارتفاع قمة السحابة (CTH)**: يتبين من خلال خريطة (٥) وتحليل جدول (٤) وشكل (٤) أن ارتفاع قمم السحب (CTH) يمثل مؤشراً رئيسياً على شدة التطور الرأسي للسحب واختلاف البنية الحرارية بين المنخفضين المتوسطي والسوداني، إذ يمكن تفسير التباين المكاني اعتماداً على مستويات الارتفاع المختلفة. فعند الارتفاعات العالية جداً (أكثر من ١١٠٠٠ م)، يظهر المنخفض المتوسطي سيطرة واضحة، حيث سجلت مساحات ملحوظة عند الارتفاع (١١٥٢٠ م) و(١١٠٤٠ م)، مثل محافظة نينوى نحو (٥٧٥٤.٤٧ كم²) و(٤٥٦٨.٩٦ كم²)، ومحافظة أربيل نحو (١٧٥٦.٨٨ كم²) و(٣٢٦٥.٦٥ كم²)، إضافة إلى محافظة السليمانية نحو (٧٨٧.٦٣ كم²) و(٢٦٨٢.٧٤ كم²). كما تظهر قيم كبيرة عند (١٠٥٦٠ م)، مثل محافظة نينوى نحو (٩٨٣١.٧٦ كم²) ومحافظة صلاح الدين نحو (١١٩٧٤.٦٨ كم²). ويعكس ذلك وجود سحب عميقة رأسياً (Deep Convective Clouds) ناتجة عن قوة الصعود الهوائي والتبريد الشديد في الطبقات العليا، ما يسمح بامتداد قمم السحب إلى مستويات عالية جداً. في المقابل، تكون هذه الارتفاعات محدودة تحت المنخفض السوداني، حيث سجلت قيم أقل بكثير عند (١٢٠٠٠ م)، مثل محافظة دهوك نحو (٥٦٣.٢٣ كم²) ومحافظة نينوى نحو (٢٧٢.٢٣ كم²)، مع شبه انعدامها في بقية المناطق، مما يدل على ضعف الامتداد الرأسي الشديد.

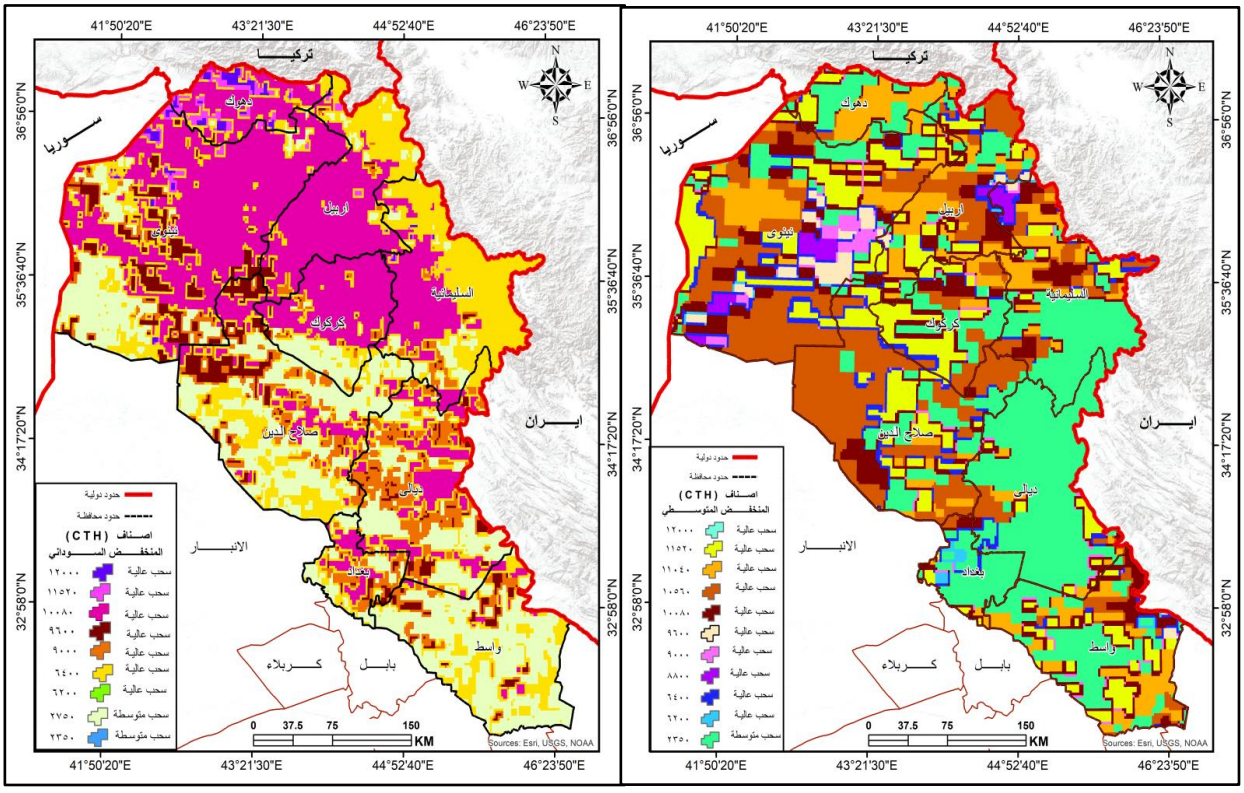
أما عند الارتفاعات المتوسطة العليا (١٠٠٨٠–٩٠٠٠ م)، فيظهر تباين واضح بين المنخفضين، إذ يستمر المنخفض المتوسطي في تسجيل مساحات كبيرة مثل محافظة نينوى نحو (٦٢١٣.٨٧ كم²) عند (١٠٠٨٠ م)، ومحافظة أربيل نحو (٢٨٧٠.٦٨ كم²)، بينما يسجل المنخفض السوداني ذروة انتشاره في هذه الفئة، حيث بلغت محافظة نينوى نحو (١٩٠٤١.٥٦ كم²) ومحافظة أربيل نحو (٨٧١٣.٣٥ كم²) ومحافظة السليمانية نحو (٥٤٦٧.٥٩ كم²) عند (١٠٠٨٠ م). ويشير ذلك إلى أن المنخفض السوداني يركز تطور السحب في هذه

المستويات نتيجة رطوبة وفيرة ولكن مع صعود هوائي أقل شدة، مما يحد من وصول السحب إلى ارتفاعات أعلى.

وعند الارتفاعات المتوسطة (٦٤٠٠–٦٢٠٠ م)، يتضح تفوق المنخفض السوداني بشكل أكبر، حيث سجلت مساحات واسعة مثل محافظة السليمانية نحو (٩٨١٧.٤٩ كم²) ومحافظة صلاح الدين نحو (٦٤٧٢.٨١ كم²) ومحافظة نينوى نحو (٦٦٩٥.٦٥ كم²) عند (٦٤٠٠ م)، بينما كانت القيم أقل نسبياً تحت المنخفض المتوسطي مثل محافظة نينوى نحو (٣٠١٧.٢٦ كم²) ومحافظة أربيل نحو (٦٧٨.٩٢ كم²). ويعكس ذلك سيادة السحب المتوسطة الارتفاع (Mid–level Clouds) المرتبطة بظروف جوية أكثر دفئاً واستقراراً نسبياً مقارنة بالمتوسطي.

أما عند الارتفاعات المنخفضة نسبياً (٢٧٥٠–٢٣٥٠ م)، فتظهر السحب المتوسطة بشكل واضح تحت المنخفض السوداني، حيث سجلت محافظة واسط نحو (١٠٧٣٠.٠٩ كم²) ومحافظة صلاح الدين نحو (١٠١٥٦.١٦ كم²) ومحافظة ديالى نحو (٥٢٨٢.١٨ كم²) عند الارتفاع (٢٧٥٠ م)، في حين كانت هذه الفئة أقل انتشاراً تحت المنخفض المتوسطي باستثناء بعض القيم مثل محافظة ديالى نحو (١٥٠٢٣.٨١ كم²) ومحافظة واسط نحو (٦٠٦٦.٢٤ كم²) عند الارتفاع (٢٣٥٠ م). ويعزى ذلك إلى ارتفاع درجات الحرارة في الطبقات السفلى وزيادة الرطوبة، مما يؤدي إلى تكوين سحب أقل ارتفاعاً وأكثر امتداداً أفقياً.

خريطة (٥) خصائص ارتفاع قمم السحب (CTH) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



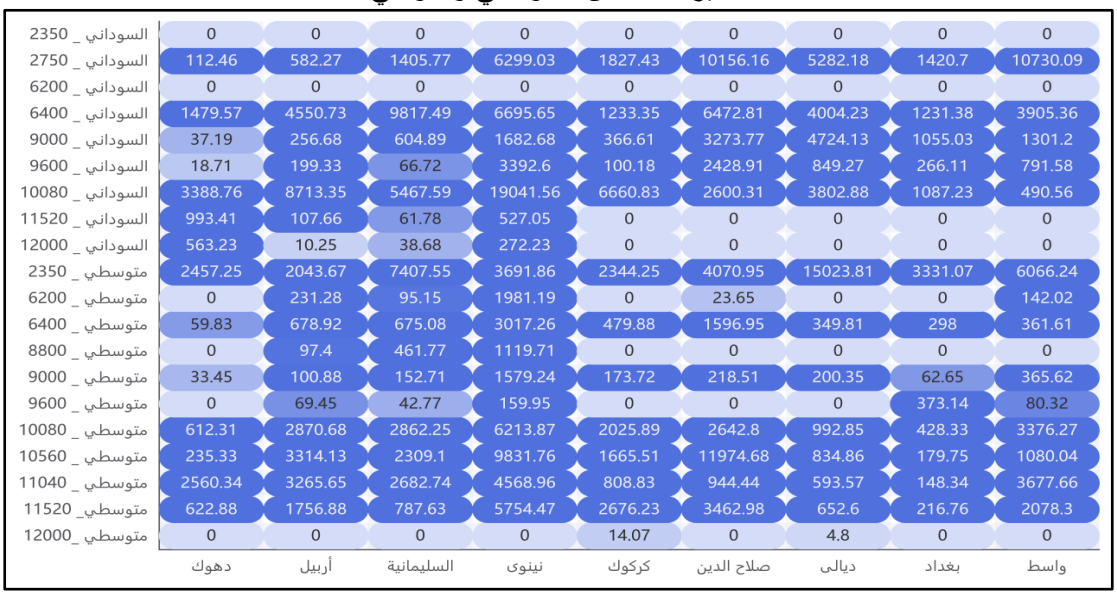
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على مؤشر (CTH)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

جدول (٤) التباين المكاني لمساحات ارتفاع قمم السحب (CTH) في منطقة الدراسة تحت تأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني

المنخفض	ارتفاع السحب	التصنيف	دهوك	أربيل	السليمانية	نينوى	كركوك	صلاح الدين	ديالى	بغداد	واسط
المتوسطي_ كم٢	12000	سحب عالية	0.00	0.00	0.00	0.00	14.07	0.00	4.80	0.00	0.00
	11520	سحب عالية	622.88	1756.88	787.63	5754.47	2676.23	3462.98	652.60	216.76	2078.30
	11040	سحب عالية	2560.34	3265.65	2682.74	4568.96	808.83	944.44	593.57	148.34	3677.66
	10560	سحب عالية	235.33	3314.13	2309.10	9831.76	1665.51	11974.68	834.86	179.75	1080.04
	10080	سحب عالية	612.31	2870.68	2862.25	6213.87	2025.89	2642.80	992.85	428.33	3376.27
	9600	سحب عالية	0.00	69.45	42.77	159.95	0.00	0.00	0.00	373.14	80.32
	9000	سحب عالية	33.45	100.88	152.71	1579.24	173.72	218.51	200.35	62.65	365.62
	8800	سحب عالية	0.00	97.40	461.77	1119.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	6400	سحب عالية	59.83	678.92	675.08	3017.26	479.88	1596.95	349.81	298.00	361.61
	6200	سحب عالية	0.00	231.28	95.15	1981.19	0.00	23.65	0.00	0.00	142.02
	2350	سحب متوسطة	2457.25	2043.67	7407.55	3691.86	2344.25	4070.95	15023.81	3331.07	6066.24
السوداني _ كم٢	12000	سحب عالية	563.23	10.25	38.68	272.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	11520	سحب عالية	993.41	107.66	61.78	527.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	10080	سحب عالية	3388.76	8713.35	5467.59	19041.56	6660.83	2600.31	3802.88	1087.23	490.56
	9600	سحب عالية	18.71	199.33	66.72	3392.60	100.18	2428.91	849.27	266.11	791.58
	9000	سحب عالية	37.19	256.68	604.89	1682.68	366.61	3273.77	4724.13	1055.03	1301.20
	6400	سحب عالية	1479.57	4550.73	9817.49	6695.65	1233.35	6472.81	4004.23	1231.38	3905.36
	6200	سحب عالية	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2750	سحب متوسطة	112.46	582.27	1405.77	6299.03	1827.43	10156.16	5282.18	1420.70	10730.09
	2350	سحب متوسطة	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة(٥).

شكل (٤) مخطط الحرارة (Heatmap) لارتفاع قمم السحب (CTH)
تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على جدول (٤).

٣-٥ نصف قطر الفعال للسحب (Re): يتبين من خلال خريطة (٦) وجدول (٥) و شكل (٥) وجود تباين مكاني واضح في نصف القطر الفعال للسحب (Re) بين المنخفضين المتوسطي والسوداني، ويعكس ذلك اختلاف الخصائص الميكروفيزيائية للسحب وقدرتها على إنتاج الهطول تبعاً لطبيعة كل منخفض، بالنسبة للمنخفض المتوسطي، يظهر أن الطور الجليدي يتسم بسيادة الأقطار المتوسطة إلى الكبيرة، حيث سجلت فئة (٣٠ ميكرومتر) مساحات واسعة مثل محافظة نينوى نحو (١١٧٢١.٠٤ كم²) ومحافظة أربيل نحو (٥٠٩٥.٩٦ كم²) ومحافظة السليمانية نحو (٤٦٣٠.١٥ كم²)، وهي تمثل سحباً نامية مع احتمال بدء الهطول. كما تظهر فئة (٣٥ ميكرومتر) ذات القطر الكبير بقيم ملحوظة، مثل محافظة نينوى نحو (٦٦١٧.٣٣ كم²) ومحافظة صلاح الدين نحو (٣٧٤٠.٩٢ كم²)، ما يدل على وجود سحب متطورة ذات قدرة عالية على إنتاج الهطول الثلجي. في المقابل، تظهر الفئات الصغيرة مثل (١٥ ميكرومتر) في مناطق مثل محافظة كركوك نحو (٥٨٤٨.٦٢ كم²) ومحافظة السليمانية نحو (٣٧٥١.٢٠ كم²)، مما يشير إلى وجود سحب حديثة التكوين وضعيفة الهطول في بعض المناطق.

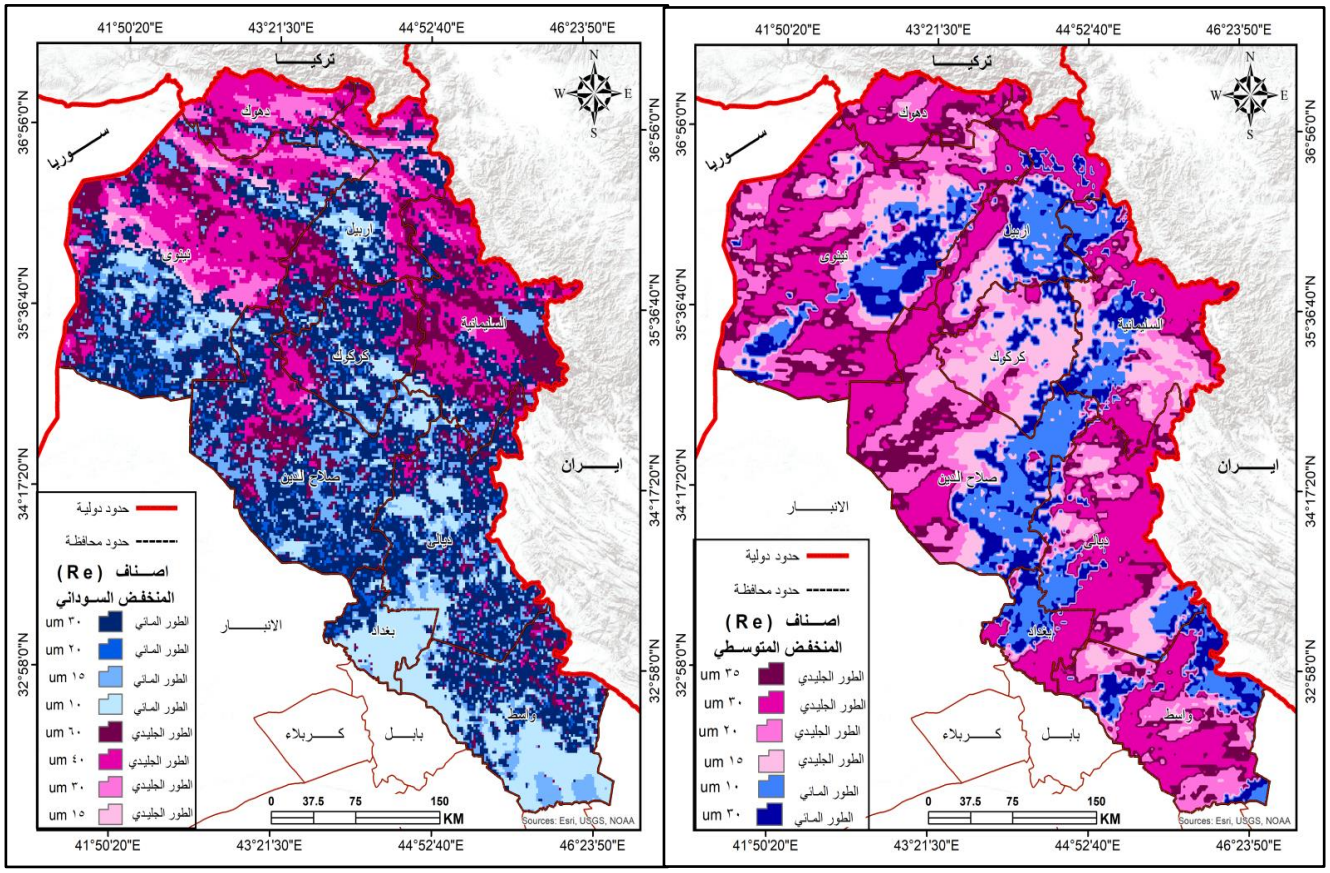
أما في طور الماء السائل تحت المنخفض المتوسطي، فتظهر الأقطار المتوسطة (٣٠ ميكرومتر) بشكل محدود نسبياً، مثل محافظة نينوى نحو (٤٢٣٥.٨٤ كم²) ومحافظة أربيل نحو (٢٦٠٣.٣٤ كم²)، بينما تسود الأقطار الصغيرة (١٠ ميكرومتر) في عدة مناطق مثل محافظة صلاح الدين نحو (٤٧٢٨.٠٦ كم²) ومحافظة السليمانية نحو (٢٢٤٨.٢٢ كم²)، وهو ما يعكس ضعف نمو القطرات المائية بسبب انخفاض درجات الحرارة، وبالتالي انخفاض كفاءة الهطول السائل مقارنة بالطور الجليدي.

أما تحت تأثير المنخفض السوداني، فيظهر اختلاف واضح، حيث يزداد حجم نصف القطر الفعال في الطور الجليدي، إذ سجلت فئة (٦٠ ميكرومتر) (كبير جداً) مساحات ملحوظة مثل محافظة السليمانية نحو

(٦١٤٢.٨٧ كم²) ومحافظة نينوى نحو (٥١٦٧.٧٠ كم²)، ما يدل على وجود سحب عميقة جداً قد ترتبط بعواصف قوية. كما تظهر فئة (٤٠ ميكرومتر) بقيم كبيرة مثل محافظة نينوى نحو (٨٩٣٦.٩٥ كم²) ومحافظة السليمانية نحو (٦٠٦٣.٩٦ كم²)، مما يشير إلى تطور واضح في بنية السحب الجليدية. ومع ذلك، تتناقص المساحات تدريجياً نحو الفئات الأصغر مثل (١٥ ميكرومتر)، ما يدل على وجود سحب جليدية ضعيفة التطور في بعض المناطق.

في طور الماء السائل، يبرز تأثير المنخفض السوداني بشكل أكبر، حيث تسود الأقطار المتوسطة إلى الكبيرة، إذ سجلت فئة (٣٠ ميكرومتر) مساحات واسعة مثل محافظة صلاح الدين نحو (١١٩٢٩.٦٦ كم²) ومحافظة ديالى نحو (٩٢٨٠.٩١ كم²) ومحافظة نينوى نحو (١٠٣٢٦.٦٨ كم²)، مما يعكس توفر رطوبة عالية ودرجات حرارة مناسبة لنمو قطرات الماء. كما تظهر الفئات الصغيرة (١٥–١٠ ميكرومتر) في معظم المحافظات مثل محافظة واسط نحو (٦٢٨٤.٢٢ كم²) ومحافظة بغداد نحو (٣٢٧٤.٩٤ كم²)، ما يشير إلى وجود سحب مائية رقيقة في مراحل نمو مختلفة.

خريطة (٦) خصائص نصف قطر الفعال للسحب (Re) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني

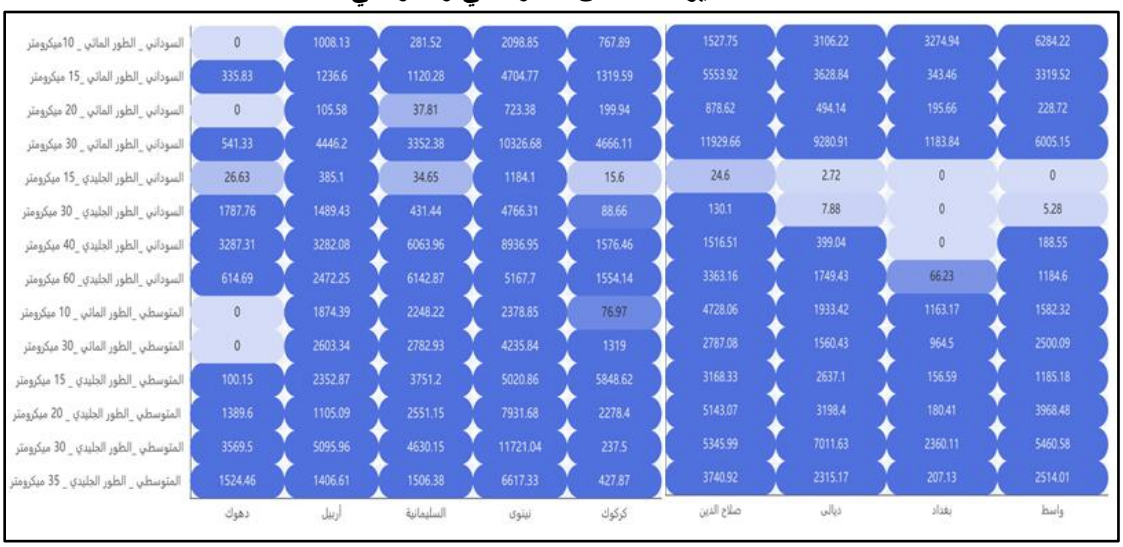


جدول (٥) التباين المكاني لمساحات نصف قطر الفعال للسحب (Re) في منطقة الدراسة تحت تأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني

المنخفض	طـــور السحابة	محتوى الماء (غرام/م^2)	التصنيف	دهوك	أربيل	السليمانية	نينوى	كركوك	صلاح الدين	ديالى	بغداد	واسط
المتوسطي_ كم^2	الطـــور الجليدي	٣٥ ميكرومتر	كبير	1524.46	1406.61	1506.38	6617.33	427.87	3740.92	2315.17	207.13	2514.01
		٣٠ ميكرومتر	متوسط	3569.50	5095.96	4630.15	11721.04	237.50	5345.99	7011.63	2360.11	5460.58
		٢٠ ميكرومتر	متوسط	1389.60	1105.09	2551.15	7931.68	2278.40	5143.07	3198.40	180.41	3968.48
		١٥ ميكرومتر	صغير	100.15	2352.87	3751.20	5020.86	5848.62	3168.33	2637.10	156.59	1185.18
	الطـــور المياه	٣٠ ميكرومتر	متوسط	0.00	2603.34	2782.93	4235.84	1319.00	2787.08	1560.43	964.50	2500.09
		١٠ ميكرومتر	صغير	0.00	1874.39	2248.22	2378.85	76.97	4728.06	1933.42	1163.17	1582.32
السوداني _ كم^2	الطـــور الجليد	٦٠ ميكرومتر	كبير جداً	614.69	2472.25	6142.87	5167.70	1554.14	3363.16	1749.43	66.23	1184.60
		٤٠ ميكرومتر	كبير	3287.31	3282.08	6063.96	8936.95	1576.46	1516.51	399.04	0.00	188.55
		٣٠ ميكرومتر	متوسط	1787.76	1489.43	431.44	4766.31	88.66	130.10	7.88	0.00	5.28
		١٥ ميكرومتر	صغير	26.63	385.10	34.65	1184.10	15.60	24.60	2.72	0.00	0.00
	الطـــور المياه	٣٠ ميكرومتر	متوسط	541.33	4446.20	3352.38	10326.68	4666.11	11929.66	9280.91	1183.84	6005.15
		٢٠ ميكرومتر	متوسط	0.00	105.58	37.81	723.38	199.94	878.62	494.14	195.66	228.72
		١٥ ميكرومتر	صغير	335.83	1236.60	1120.28	4704.77	1319.59	5553.92	3628.84	343.46	3319.52
		١٠ ميكرومتر	صغير	0.00	1008.13	281.52	2098.85	767.89	1527.75	3106.22	3274.94	6284.22

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة(٦).

شكل (٥) مخطط الحرارة (Heatmap) لنصف قطر الفعال للسحب (Re) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



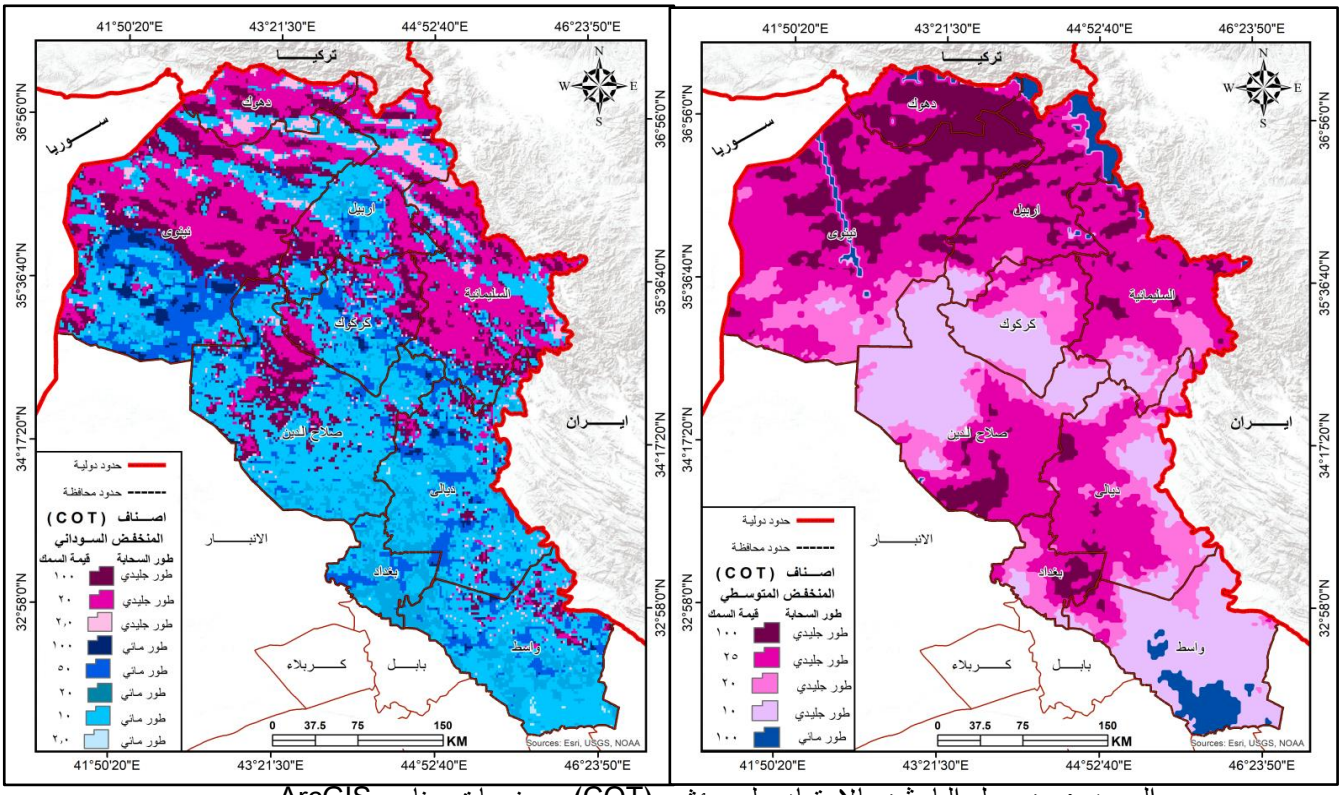
٣-٦ سمك البصري للسحب (COT): يتبين من خلال تحليل خريطة (٧) وجدول (٦) وشكل (٦) أن تباين السمك البصري للسحب بين المنخفضين المتوسطي والسوداني يرتبط مباشرة بالقيم المسجلة داخل كل فئة، والتي تعكس بدورها الخصائص الميكروفيزيائية للسحب. ففي المنخفض المتوسطي، تشير القيم المرتفعة للسحب الجليدية الكثيفة جداً (١٠٠) مثل محافظة نينوى نحو (١٠٩٠٦.٤ كم²) ودهوك نحو (٤٤٥٨.٦١ كم²) وأربيل نحو (٣٦٢١.١٢ كم²) إلى وجود سحب ذات سمك بصري كبير، ويعود ذلك إلى انخفاض درجات الحرارة في الطبقات العليا وزيادة محتوى الجليد، مما يؤدي إلى زيادة عدد البلورات الثلجية وكثافتها داخل السحابة، وبالتالي ارتفاع قدرتها على امتصاص وتشتيت الإشعاع. كما أن القيم الكبيرة لفئة (٢٥) مثل نينوى نحو (١٩٢٧٨.٥٩ كم²) والسليمانية نحو (١١٢٥١.٨٣ كم²) تعكس مرحلة تطور سحابي نشط ناتج عن قوة الصعود الهوائي، حيث تزداد سماكة السحب تدريجياً مع استمرار التغذية الرطوبية من الطبقات السفلى. في المقابل، تظهر القيم الأقل مثل فئة (٢٠) و(١٠)، خاصة في صلاح الدين نحو (١١٣٩٨.٠٧ كم²) وواسط نحو (١١٨٢٤.١٣ كم²)، نتيجة ضعف الصعود الهوائي أو ارتفاع درجة الحرارة نسبياً، مما يؤدي إلى تشتت البلورات وانخفاض كثافة السحب، وبالتالي انخفاض السمك البصري. كما أن محدودية القيم في الطور المائي مثل واسط نحو (٢٥٢٢.٦٦ كم²) تعود إلى سيطرة البيئة الباردة التي تحد من بقاء القطرات في الحالة السائلة وتحولها إلى جليد.

أما في المنخفض السوداني، فتظهر القيم توزيعاً مختلفاً، حيث إن انخفاض القيم في السحب الجليدية الكثيفة جداً (١٠٠) مثل نينوى نحو (٧٢٧٠.٧٠ كم²) مقارنة بالمتوسطي، يعود إلى ارتفاع درجات الحرارة النسبية التي تقلل من تراكم البلورات الجليدية. في حين أن القيم المرتفعة لفئة السحب الجليدية المتوسطة (٢٠) مثل نينوى نحو (١١٨٦٠.٣٢ كم²) والسليمانية نحو (٩٢٧٨.٩٣ كم²) تشير إلى وجود سحب جليدية أقل كثافة نتيجة ضعف التبريد العلوي مقارنة بالمتوسطي.

ويبرز تأثير القيم بشكل أوضح في الطور المائي، حيث تعكس القيم العالية للسحب المائية الكثيفة جداً (١٠٠) مثل نينوى نحو (١٠١٣٢.٢٩ كم²) توفر رطوبة عالية وتغذية مستمرة ببخار الماء، مما يؤدي إلى زيادة عدد القطرات وكبر حجمها وبالتالي زيادة السمك البصري. كما أن الانتشار الواسع للقيم في الفئة (١٠) مثل صلاح

الدين نحو (١٥٠٤٧.٨٥ كم²) وديالى نحو (١٠٨٤٧.٤٠ كم²) يعكس انتشار سحب مائية رقيقة ناتجة عن استقرار نسبي أو ضعف في التيارات الصاعدة، مما يؤدي إلى توزيع القطرات على مساحة واسعة دون زيادة كبيرة في الكثافة.

خريطة (٧) خصائص سمك البصري للسحب (COT) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



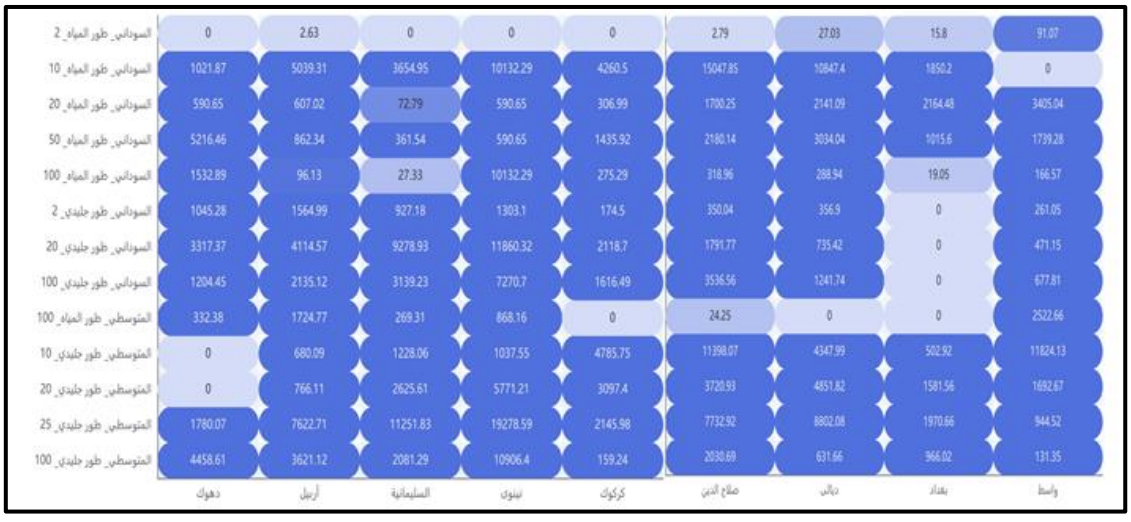
المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على مؤشر (COT)، ومخرجات برنامج ArcGIS.

جدول (٦) التباين المكاني لمساحات سمك البصري للسحب (COT) في منطقة الدراسة تحت تأثير المنخفضين المتوسطي والسوداني

المنخفض	طور السحابة	القيمة	تصنيف السمك البصري	دهوك	أربيل	السليمانية	نينوى	كركوك	صلاح الدين	ديالى	بغداد	واسط
المتوسطي_ كم٢	الطور الجليد	100	سحابة جليدية كثيفة جداً	4458.61	3621.12	2081.29	10906.4	159.24	2030.69	631.66	966.02	131.35
		25	سحابة جليدية كثيفة	1780.07	7622.71	11251.83	19278.59	2145.98	7732.92	8802.08	1970.66	944.52
		20	سحابة جليدية متوسطة	0	766.11	2625.61	5771.21	3097.4	3720.93	4851.82	1581.56	1692.67
		10	سحابة جليدية رقيقة	0	680.09	1228.06	1037.55	4785.75	11398.07	4347.99	502.92	11824.13
	الطور المياه	100	سحابة مائية كثيفة جداً	332.38	1724.77	269.31	868.16	0	24.25	0	0	2522.66
السوداني _ كم٢	الطور الجليدي	100	سحابة جليدية كثيفة جداً	1204.45	2135.12	3139.23	7270.70	1616.49	3536.56	1241.74	0.00	677.81
		20	سحابة جليدية متوسطة	3317.37	4114.57	9278.93	11860.32	2118.70	1791.77	735.42	0.00	471.15
		2	سحابة جليدية رقيقة جداً	1045.28	1564.99	927.18	1303.10	174.50	350.04	356.90	0.00	261.05
	الطور المياه	100	سحابة مائية كثيفة جداً	1532.89	96.13	27.33	10132.29	275.29	318.96	288.94	19.05	166.57
		50	سحابة مائية كثيفة معتدلة	5216.46	862.34	361.54	590.65	1435.92	2180.14	3034.04	1015.6	1739.28
		20	سحابة مائية متوسطة	590.65	607.02	72.79	590.65	306.99	1700.25	2141.09	2164.48	3405.04
		10	سحابة مائية رقيقة	1021.87	5039.31	3654.95	10132.29	4260.5	15047.85	10847.4	1850.2	0
		2	سحابة مائية رقيقة جداً	0.00	2.63	0.00	0.00	0.00	2.79	27.03	15.8	91.07

المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على خريطة(٧).

شكل (٦) مخطط الحرارة (Heatmap) لسمك البصري للسحب (COT) تحت تأثير المنخفض المتوسطي والسوداني



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على جدول (٦).

النتائج:

١-أظهرت نتائج الدراسة كفاءة متحسس MODIS على القمر الصناعي Aqua في رصد وتحليل الخصائص الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب بدقة مكانية وزمانية مناسبة

٢-أظهرت نتائج تحليل الطور البصري للسحب (CPOP) سيادة السحب الجليدية في المنخفض المتوسطي خاصة في شمال العراق نتيجة انخفاض درجات الحرارة وقوة الرفع الديناميكي، في حين يعزز المنخفض السوداني انتشار السحب ذات الطور السائل بفعل الرطوبة والدفء المصاحبين له، مما يجعل المحافظات الشمالية أقل تأثراً بالسحب السائلة مقارنة بالوسط والجنوب.

٣-بين تحليل محتوى الماء في السحب (CWP) أن السحب المرتبطة بالمنخفض المتوسطي يغلب عليها الطور الجليدي في المناطق الشمالية بسبب تأثير الكتل الهوائية الباردة، بينما يؤدي المنخفض السوداني إلى زيادة الطور السائل في الوسط والجنوب نتيجة ارتفاع الرطوبة والظروف الحرارية الدافئة.

٤-أظهر تحليل درجة حرارة قمم السحب (CTT) أن المنخفض المتوسطي يتميز بقمم سحب أكثر برودة وانتشار السحب الركامية المزنية في الشمال، في حين يترافق المنخفض السوداني مع تباين حراري أكبر وتحول نحو السحب الطبقية والركامية الطبقية في الوسط والجنوب.

٥-أوضح تحليل ارتفاع قمم السحب (CTH) أن المنخفض المتوسطي يرتبط بسحب عالية القمم تتجاوز (١٠٠٠٠ م) نتيجة التبريد القوي والحركات الصاعدة، بينما يتركز تأثير المنخفض السوداني في السحب ذات الارتفاعات المتوسطة (٢٧٥٠-١٠٠٨٠ م)، مما يعكس اختلاف البنية الرأسية للسحب بين النظامين.

٦-بينت نتائج نصف القطر الفعال للسحب (Re) سيادة البلورات الجليدية ذات الأقطار المتوسطة إلى الكبيرة تحت تأثير المنخفض المتوسطي، في حين يسهم المنخفض السوداني في زيادة أحجام القطرات خاصة في الطور السائل نتيجة الرطوبة الدافئة وارتفاع درجات الحرارة.

٧-أظهر تحليل السمك البصري للسحب (COT) سيادة السحب الجليدية ذات السمك البصري العالي في المنخفض المتوسطي نتيجة البرودة الشديدة والصعود الهوائي القوي، بينما يتسم المنخفض السوداني بانتشار السحب المائية ذات سماكات مختلفة من الكثيفة إلى الرقيقة نتيجة الرطوبة الدافئة والاستقرار النسبي في الطبقات العليا.

المقترحات:

١-توصي الدراسة التوسيع باستخدام بيانات مستشعر MODIS على القمر الصناعي Aqua في الدراسات المناخية والسينوبتية، لما يوفره من قدرة عالية على رصد الخصائص الفيزيائية والميكروفيزيائية للسحب وتحليل تباينها المكاني والزماني.

٢-دمج بيانات الاستشعار عن بعد مع بيانات الرصد الأرضي والنماذج العددية للطقس بهدف تحسين دقة تفسير ديناميكيات السحب وتطور الأنظمة الضغطية المؤثرة في العراق.

٣-اعتماد مؤشرات السحب المستخرجة من الأقمار الاصطناعية مثل السمك البصري للسحب (COT) ونصف القطر الفعال (Re) ومحتوى الماء في السحب (CWP) في دراسات التنبؤ بالهطول المطري والعواصف الرعدية.

٤-تطوير نماذج مكانية باستخدام نظم المعلومات الجغرافية لربط خصائص السحب بعناصر المناخ المختلفة مثل درجة الحرارة والرطوبة والضغط الجوي.

٥-تعزيز استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي لتحليل كميات البيانات الكبيرة الناتجة من الأقمار الاصطناعية وتحسين الكشف المبكر عن الظواهر الجوية المتطرفة.

المصادر:

Platnick, S., M.D. King, S.A. Ackerman, W.P. Menzel, B.A. Baum, J.C. Riédi, and R.A. Frey (2003), The MODIS cloud products: Algorithms and examples From Terra, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 41, 459-473, DOI: 10.1109/TGRS.2002.808301.

King, M.D., S. Platnick, W.P. Menzel, S.A. Ackerman, and P.A. Hubanks (2013), Spatial and Temporal Distribution of Clouds Observed by MODIS Onboard the Terra and Aqua Satellites, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., 51, 3826-3852, DOI: 10.1109/TGRS.2012.2227333.

Halimi, Mansor, et al., Association between cloudiness and rainfall over Fars province in Iran, Russian Meteorology and Hydrology, Vol. 42, No. 10 (2017). DOI:10.3103/S1068373917100077.

Eleni Marinou, et al, (2021), Geometrical and Microphysical Properties of Clouds Formed in the Presence of Dust above the Eastern Mediterranean, Remote Sens. 2021, 13(24), 5001; https://doi.org/10.3390/rs13245001.

كاظم، فليح حسن ، حسين، نيران علي ، العلاقة بين تكرار المنخفض السوداني وكمية الامطار الساقطة على العراق لجميع الفصول خلال المدة (٢٠٠٦ – ٢٠١٤)، مجلة ديالى، العدد الخامس والسبعون،٢٠١٨.

Rosenfeld, D., & Woodley, W. L. (2003). Cloud microphysical properties, processes, and rainfall outcomes. Atmospheric Research, 66(1–2), 87–109. DOI: 10.1175/0065-9401(2003)030<0237:CMPPAR>2.0.CO;2