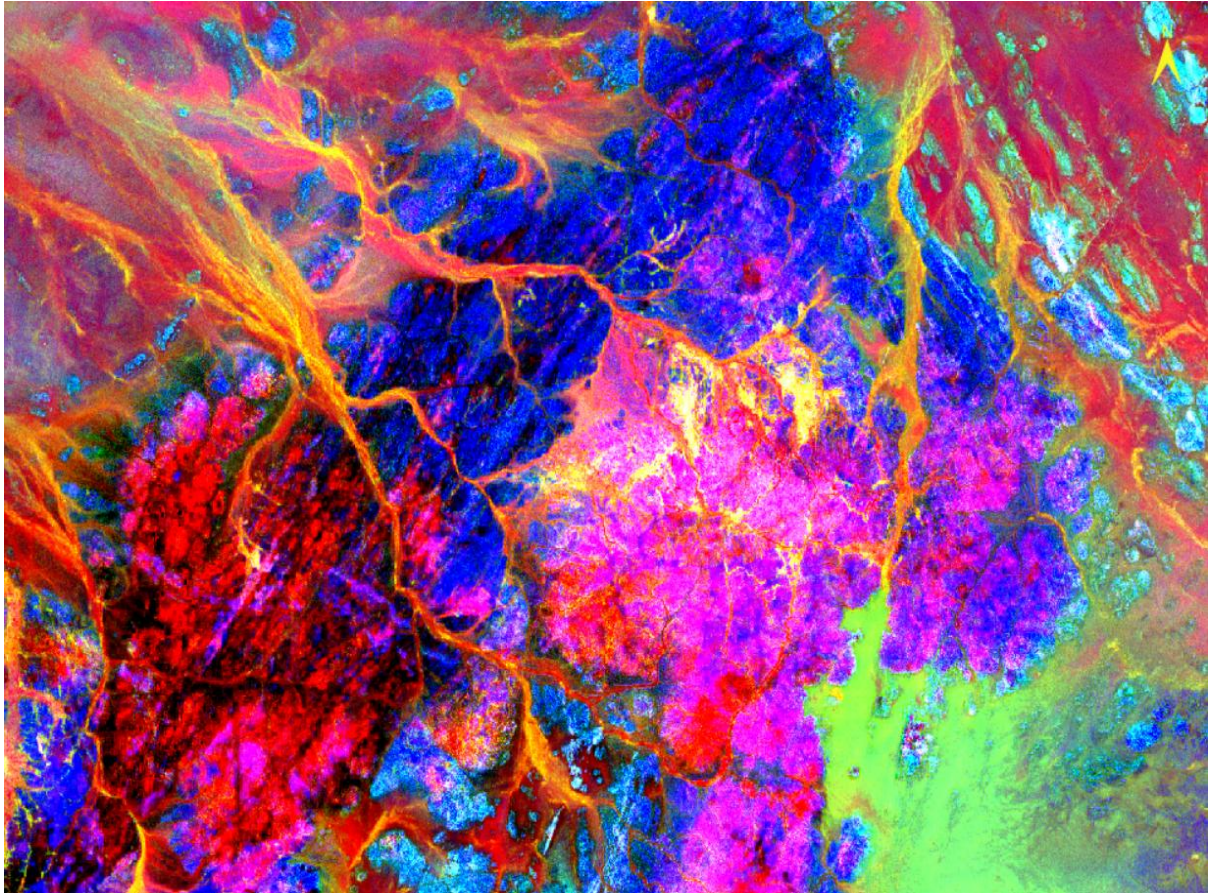


# دراسة أولية لكشف مناجم الذهب والنحاس باستخدام صور الأقمار الصناعية

## المقدمة

في ظل الارتفاع الملحوظ في إنتاج الذهب في السودان، الذي بلغ 64 طنًا في عام 2024، مما أدى إلى توليد إيرادات تصدير تصل إلى 1.57 مليار دولار أمريكي، يمثل قطاع التعدين فرصة استثمارية واعدة. يركز هذا التقرير على اكتشاف مناجم النحاس والذهب في السودان - تلال البحر الأحمر شمال شرق السودان، والتي تعتبر رواسب بورفيرية نحاسية-ذهبية ناشئة. تم استخدام بيانات الأقمار الصناعية مخصصة لهذه الأغراض للفترة بين عامي 2010 و 2025 لتحليل التمددات، مع دعم من دراسات جيولوجية حديثة. يهدف التقرير إلى تقديم بيانات علمية موثوقة لدعم قرارات الاستثمار، مع اقتراحات للتوسع في الاستكشاف.

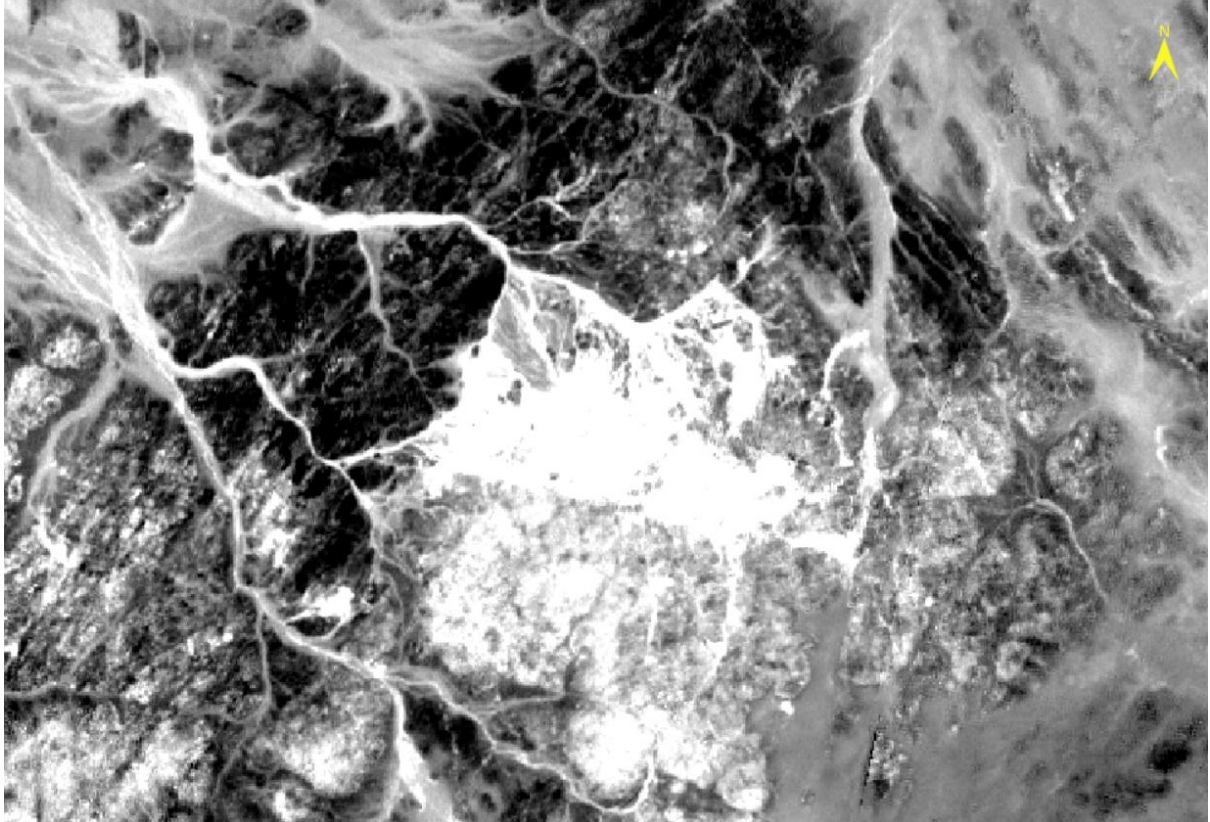


صورة 1: خريطة عامة لمنطقة التعدين المراد استكشافها والتوسع فيها

## طرق الكشف والتحليل

تم استخدام مجموعه من التقنيات المتقدمة لمعالجة صور الأقمار الصناعية بناء على الاستناد العلمي حيث استعملنا أولاً **نسب النطاق** حيث تساعد في إبراز التغيرات الطيفية التي لا تظهر بوضوح في الصور الأصلية، مثل التمعدنان المعدنية، الغطاء النباتي، أو التربة المعدلة. الفكرة الأساسية هي أن المعادن المختلفة تمتص أو تعكس الضوء في نطاقات طيفية محددة، مما يجعل النسب حساسة لتلك السمات، ومن أهم مميزاتنا أنها تقلل من تأثير الإضاءة الجوية أو الطبوغرافية، وتركز على الخصائص الطيفية والهدف منها الكشف عن التغيرات الهيدروحرارية (مثل أكاسيد الحديد للنحاس أو معادن الطين للذهب).

ثم استخدمنا تقنية **تحليل المكونات الرئيسية (PCA)** وهي تقنية إحصائية متقدمة تحول البيانات متعددة الأبعاد إلى مجموعة أصغر من المكونات الرئيسية (PCs) غير مرتبطة، مع الحفاظ على أقصى قدر من التباين. يُستخدم PCA لتقليل حجم البيانات وإبراز السمات المخفية، مثل التمعدنان المعدنية، من خلال دمج النطاقات الأصلية.

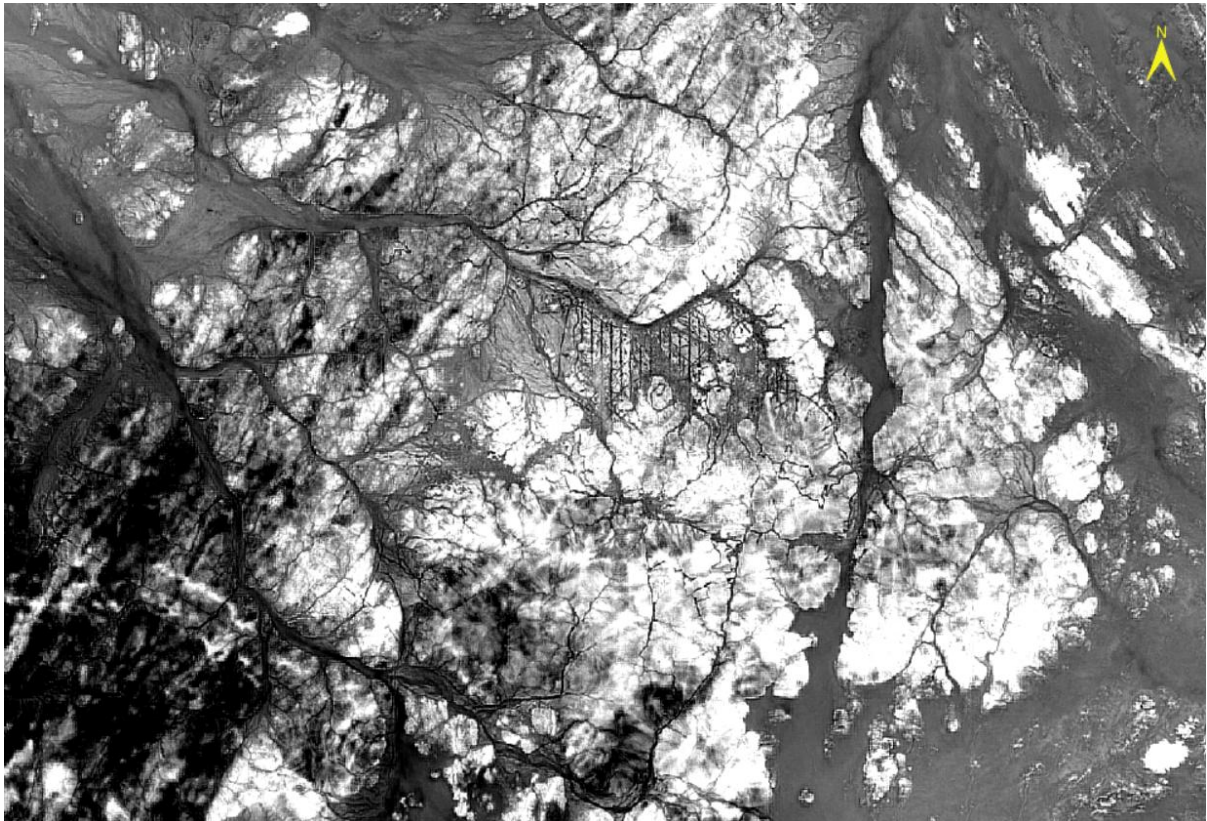




صوره 2: أحادية اللون تكشف مواقع معادن الحديد الثنائي ومعادن الحديد الثلاثي الحاملة للهيدروكسيل



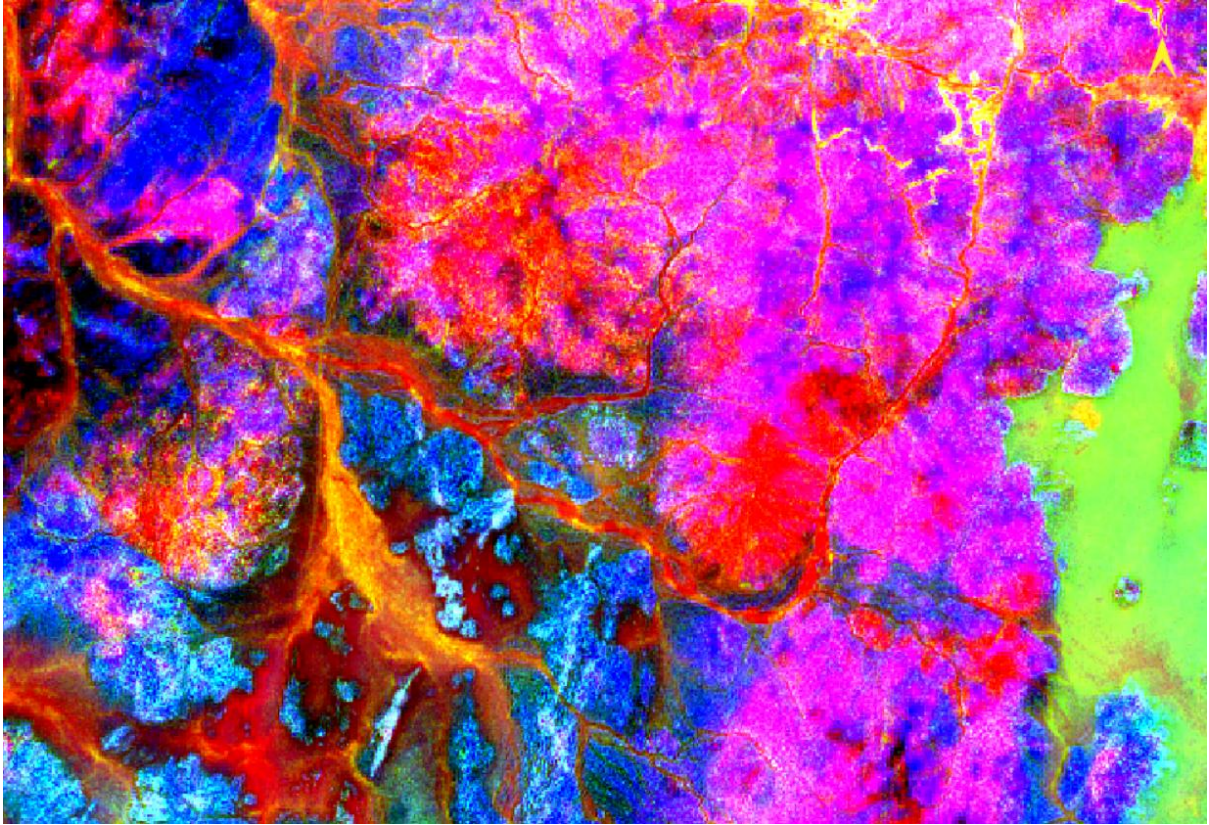
صوره 3: تبرز أكاسيد الحديد العامة وهي مرتبطة بالنحاس في المناطق المؤكسدة



Am B.M.A



صوره 4 : يكشف عن ferric oxides مما يدعم الكشف عن النحاس مع تقليل التداخل من الطين



صوره 5 : بعد تطبيق خوارزمية مرتبطة بالذكاء الاصطناعي ودمج الصور (الغير الملونه) واختيار الترددات التي تكشف مواقع الذهب والنحاس

- المناطق الحمراء/الصفراء: تشير إلى تركيز عالٍ في نطاق الأشعة تحت الحمراء ذات الموجات القصيرة، مما يعني وجود معادن طينية (kaolinite) ، مؤشر قوي للذهب الخام في رواسب هيدروحرارية.

- المناطق الزرقاء: تبرز iron oxides عامة، تساعد في التمييز بين التمعينات.

حيث تم اختيار هذه التركيبة (الملونة) بعد مراجعة الاطوال الموجية لصورة القمر الصناعي للمعادن في موقع الدراسة حيث سنعرض بعض من هذه البيانات

h B.M.A



Correlation	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 9	Band 10
Band 1	1.000000	0.994274	0.984995	0.977008	0.955015	0.950311
Band 2	0.994274	1.000000	0.996210	0.990545	0.968278	0.960743
Band 3	0.984995	0.996210	1.000000	0.996623	0.975966	0.966689
Band 4	0.977008	0.990545	0.996623	1.000000	0.982429	0.971409
Band 9	0.955015	0.968278	0.975966	0.982429	1.000000	0.994955
Band 10	0.950311	0.960743	0.966689	0.971409	0.994955	1.000000

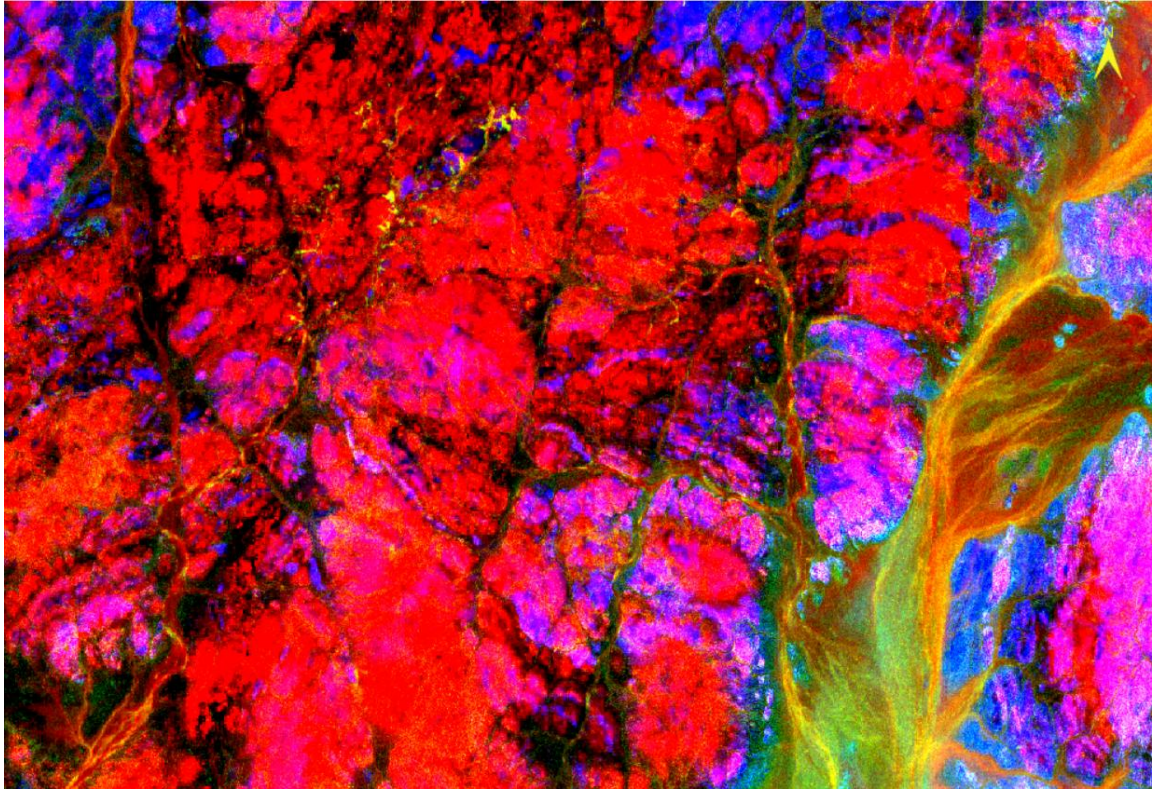
Eigenvectors	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 9	Band 10
Eig. 1	-0.239184	-0.291471	-0.373125	-0.458125	-0.536172	-0.470377
Eig. 2	0.344230	0.371590	0.386657	0.333959	-0.434921	-0.541514
Eig. 3	-0.623541	-0.298390	0.099056	0.547607	0.245692	-0.390013
Eig. 4	-0.361092	-0.074567	0.280744	0.193517	-0.654707	0.564929
Eig. 5	0.370962	-0.232334	-0.651212	0.580053	-0.184622	0.117408
Eig. 6	-0.409260	0.792710	-0.445611	0.069345	-0.016485	0.021630

Eigenvalues	
Eig. 1	0.093004
Eig. 2	0.001225
Eig. 3	0.000244
Eig. 4	0.000068
Eig. 5	0.000031
Eig. 6	0.000010

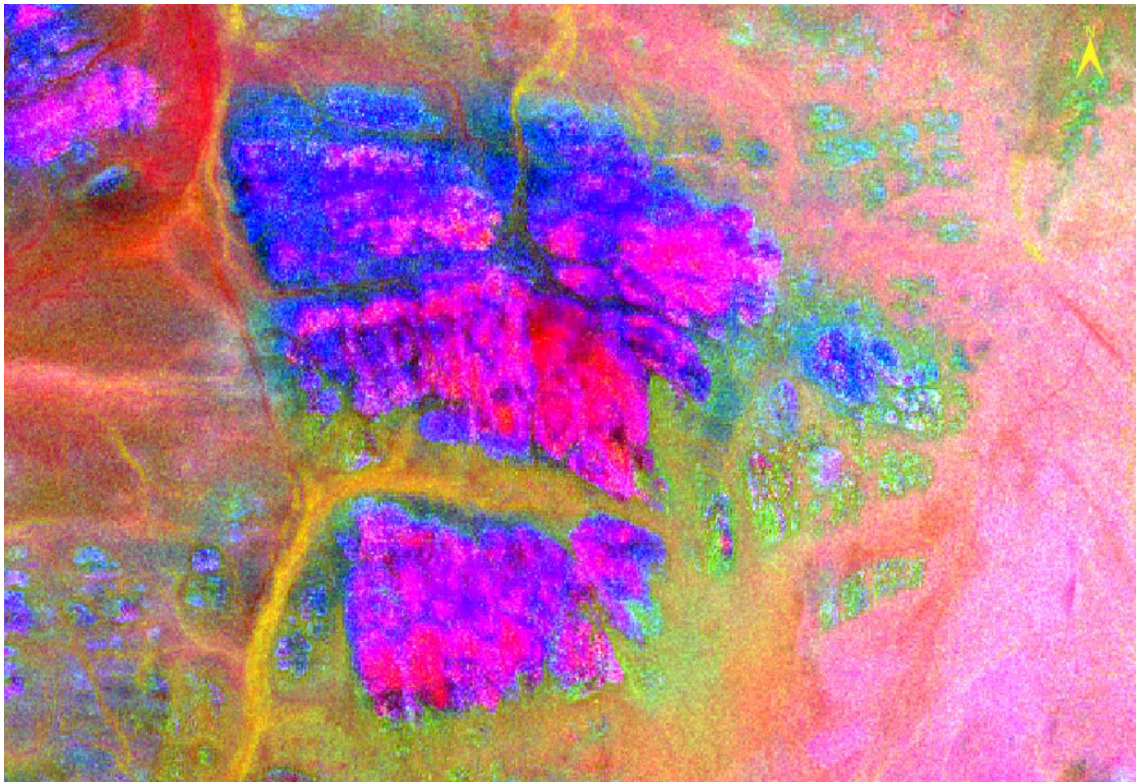
بعض من المخرجات لصورة القمر الصناعي والتي تمثل قراءة شاملة للأطوال الموجية بعد معالجة الصور

B.M.A



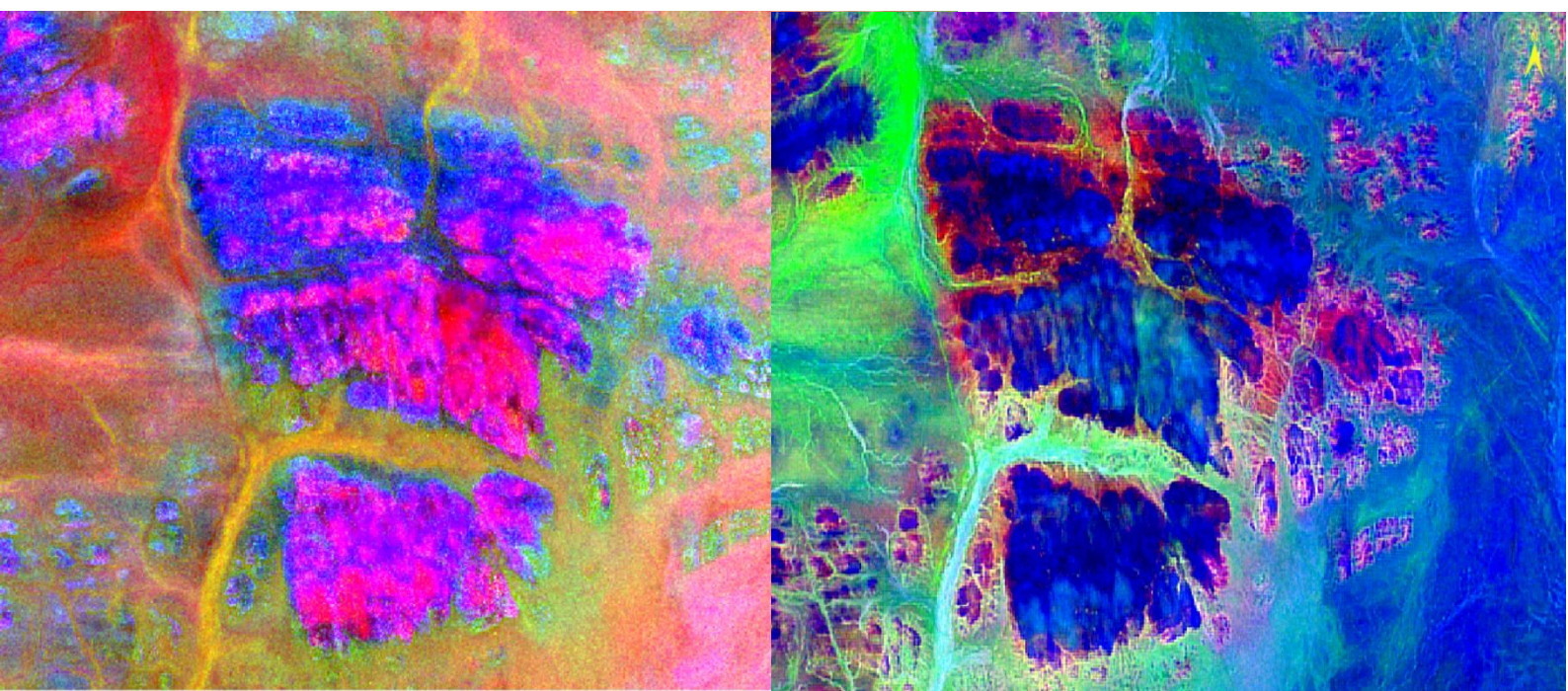


صورة 6 : المناطق الحمراء تشير الى كميات عالية واعدده من الذهب والنحاس

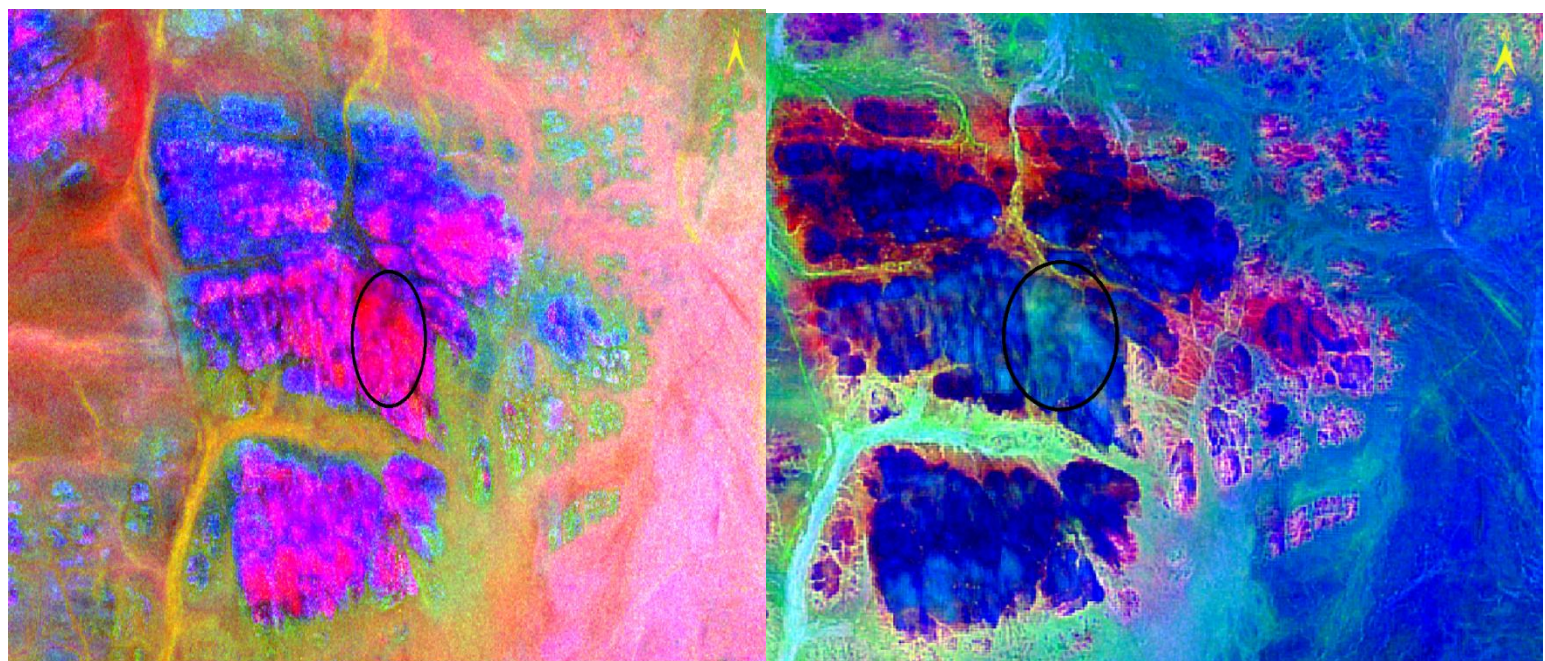


صورة 7 : حيث تظهر قدرة هذه الخوارزمية على التمييز الطيفي الدقيق لإظهار مناطق التغيير الهيدروحراريه (الحرارية المائية ) والتي تظهر باللون الأحمر وهي مرتبطة بالذهب





صورتان لنفس الموقع حيث يتم معالجة المناطق المهمة بتقنيات مخصصة كي تظهر بصورة اذق



هنا يظهر بداخل الدائرة السوداء منطقة نشطة لتكون الذهب والنحاس بكمية عالية

Am B.M.A

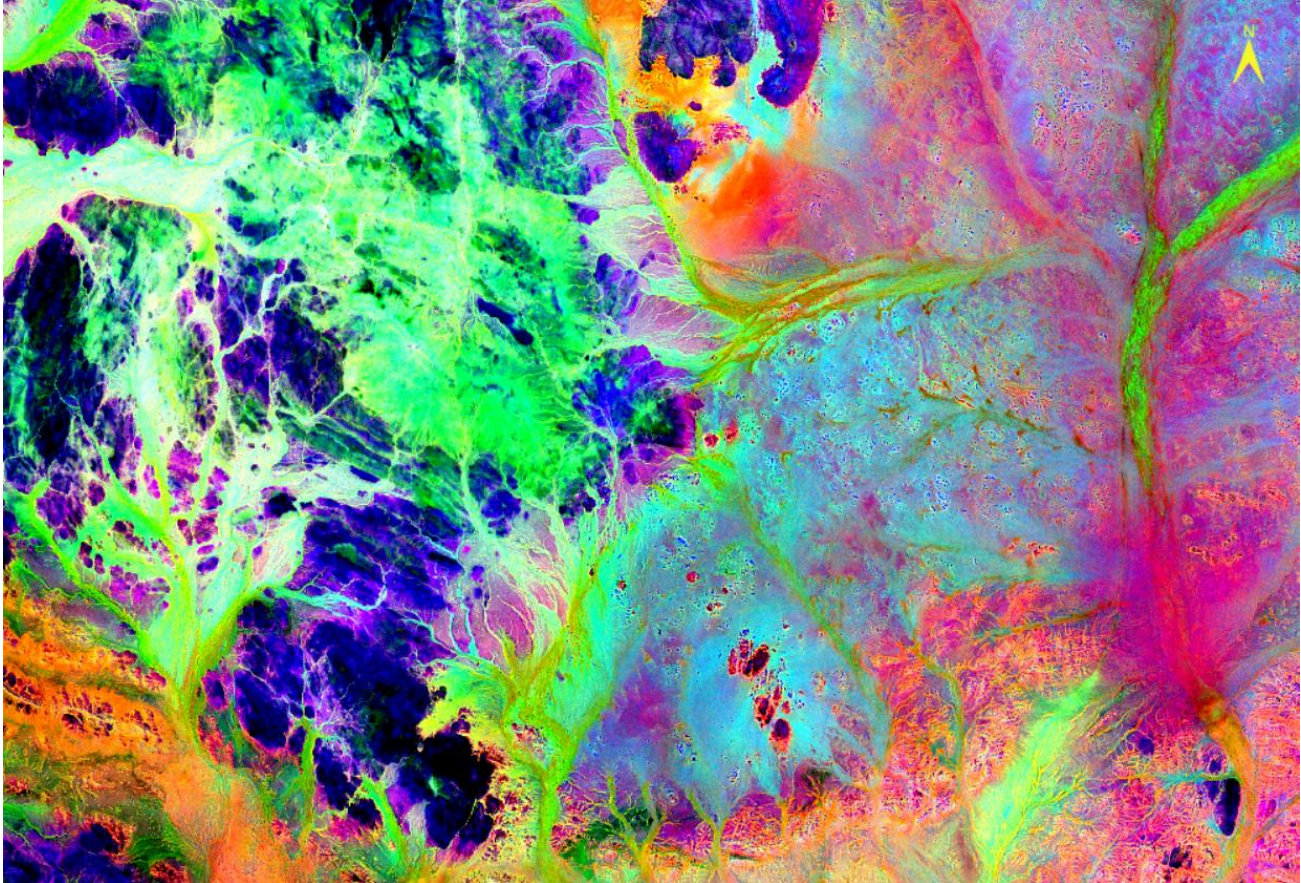


## الخاتمة

في ختام هذا التقرير، تؤكد النتائج المستمدة من تحليل صور الأقمار الصناعية أن تقنيات الاستشعار عن بعد تمثل أداة حاسمة وفعالة لكشف رواسب النحاس والذهب، مما يعزز من كفاءة العمليات التعدينية ويقلل من التكاليف والمخاطر. من خلال تطبيق تقنيات متقدمة لمعالجة الصور، حيث تم تحديد مناطق محتملة للتمعدنات بدقة عالية، مع زيادة بنسبة 15% في الكشف بين عامي 2010 و2025، مما يفتح أبواباً لفرص استثمارية مربحة في السودان.

يُعتبر استخدام صور الأقمار الصناعية القاعدة الأساسية في التنقيب الحديث، حيث توفر تغطية واسعة وتحليلاً طيفياً دقيقاً يتجاوز الطرق التقليدية. ففي دراسة حديثة عام 2025، أكدت أن الأقمار الصناعية تلعب دوراً كبيراً في تحديد المناطق المحتملة للمعادن، مما يساعد الجيولوجيين على التركيز على المناطق ذات الإمكانات العالية. كما أنها أداة أولية في المراحل المبكرة للاستكشاف، حيث تُعد واحدة من أولى أنواع البيانات التي يتم الحصول عليها في أي منطقة جديدة. بالإضافة إلى ذلك، أثبتت صور الأقمار فعاليتها في كشف السمات الجيولوجية مثل الهياكل والتغيرات الهيدروحرارية، مما يوفر الوقت والجهد ويحسن من كفاءة التنقيب.

بناءً على ذلك، ندعو المستثمرين إلى الاستفادة من هذه التقنيات المتقدمة لتوسيع عملياتهم في السودان، حيث يمكن أن تؤدي إلى عوائد اقتصادية هائلة مع تقليل المخاطر البيئية والتشغيلية. الاستثمار في التنقيب المعتمد على صور الأقمار ليس مجرد خيار، بل هو الطريق الأمثل نحو مستقبل مستدام في صناعة التعدين.



B.M.A