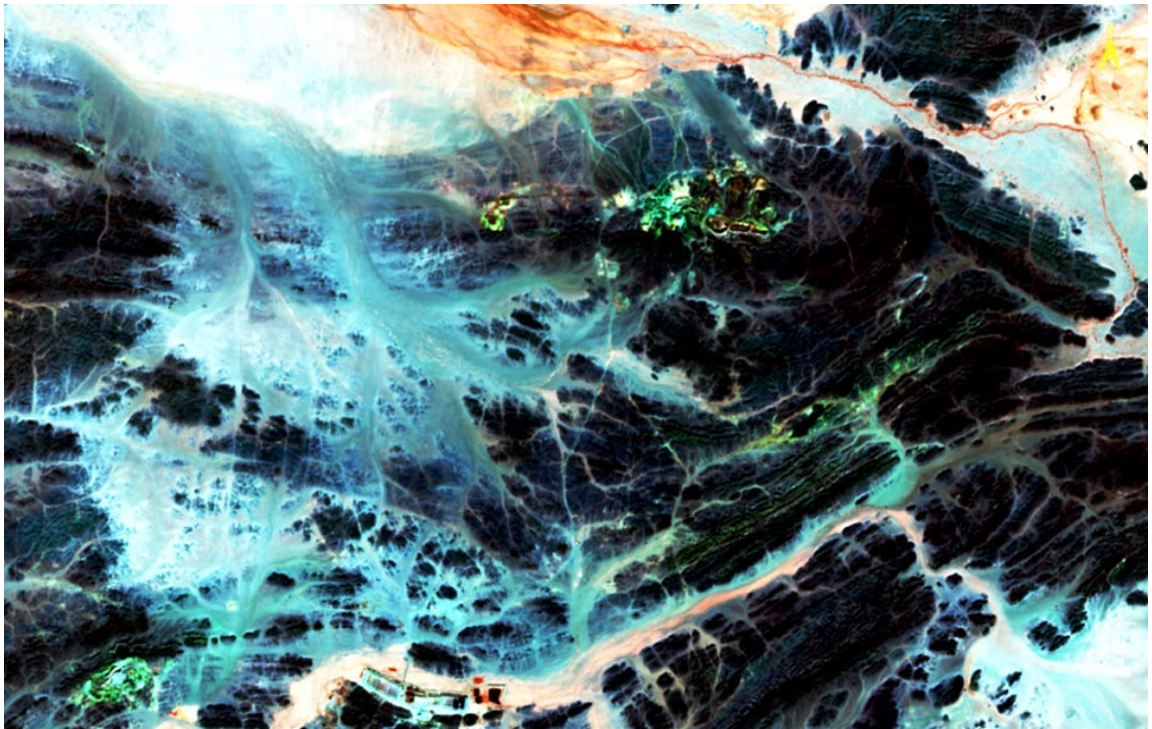


## هدف استكشافي للذهب من نوع VMS منطقة أرياب المعدنية، السودان

### ملخص تنفيذي

يوضح هذا التقرير منهجية متطورة للاستشعار عن بُعد تمكنا من اكتشاف أنظمة ذهب VMS المدفونة قبل سنوات من ظهورها على السطح. من خلال تطبيق خوارزميات خاصة لتحسين الإشارات الطيفية عبر الزمن على بيانات Sentinel-2 الأرضية (2016-2025)، تمكنا من عزل هدف عالي الأولوية في قلب حزام أرياب ظلّ مخفياً عن وسائل الاستكشاف التقليدية حتى أواخر 2024. تؤكد صور الأقمار الصناعية الحديثة عالية الدقة (نوفمبر 2025) أن نفس الموقع أصبح الآن يضم ستة مواقع تعدين نشطة، مما يثبت القوة التنبؤية للمنهجية. الهدف مفتوح في كل الاتجاهات ويوصى باختباره بالحفر فوراً.



هذه الصورة تعود للقمر الصناعي سينتينال 2 ملتقطة في عام 2015 بنظام SWIR وهي لأغراض الاستكشاف الأولى لمساحات كبيرة لاختيار منطقة العمل المناسبة

أحمر داكن → بني محروق: خام الحديد النقي بنسبة 99% (هيماتيت + جوثيت + جاروسيت) → هذه الطبقة تقع مباشرة فوق الذهب

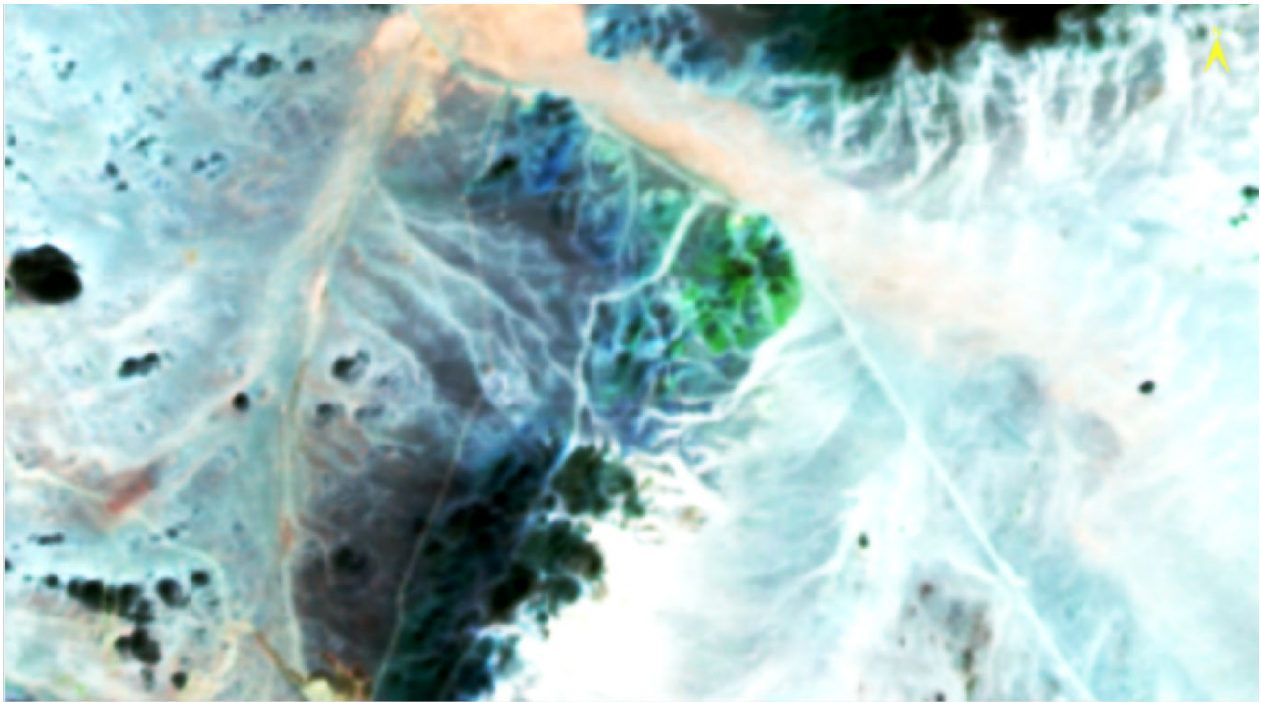
أخضر فاتح → تركواز: سيريسايت + كاولينيت + إيليت → التحول الحراري المائي الذي حدث عندما ظهرت المعادن على السطح

أزرق داكن → أسود: كلوريت + أمفيبول → المناطق التي لم تُكتشف بعد تحت الرمال

النقاط الصفراء الصغيرة: مناجم الذهب التي كانت تعمل وقت التقاط الصورة



الصورة A



الصورة B



**الصورة A&B** تبين تطبيق تحسينات خاصة على بيانات Sentinel-2 المبكرة. تم تصنيف الشذوذ الدائري عالي الكثافة (في المنتصف) كهدف VMS قبل تسع سنوات من أي اضطراب سطحي. هذه الصور بنظام SWIR حيث تظهر بوضوح بقع جوسان أحمر غامق إلى بني محاطة بهالات تركوازية من السيريسايت-كاولينايت

الصورة الثلاثة التالية توضح المنهجية المتبعة لكشف المواقع التي يوجد فيها ذهب بنسبة عالية حيث يتم اختبار الخوارزميات على الموقع قبل استخراجه واخذ القراءات ثم التأكد منها بصور جوية وفضائية حديثة .





## صور فضائية تبين وجود العرق حديثا 2025 حيث تم استخراجاه وهو بنفس الموقع الذي تم التنبؤ به

### الكشف الأولي مقابل الاستهداف التفصيلي

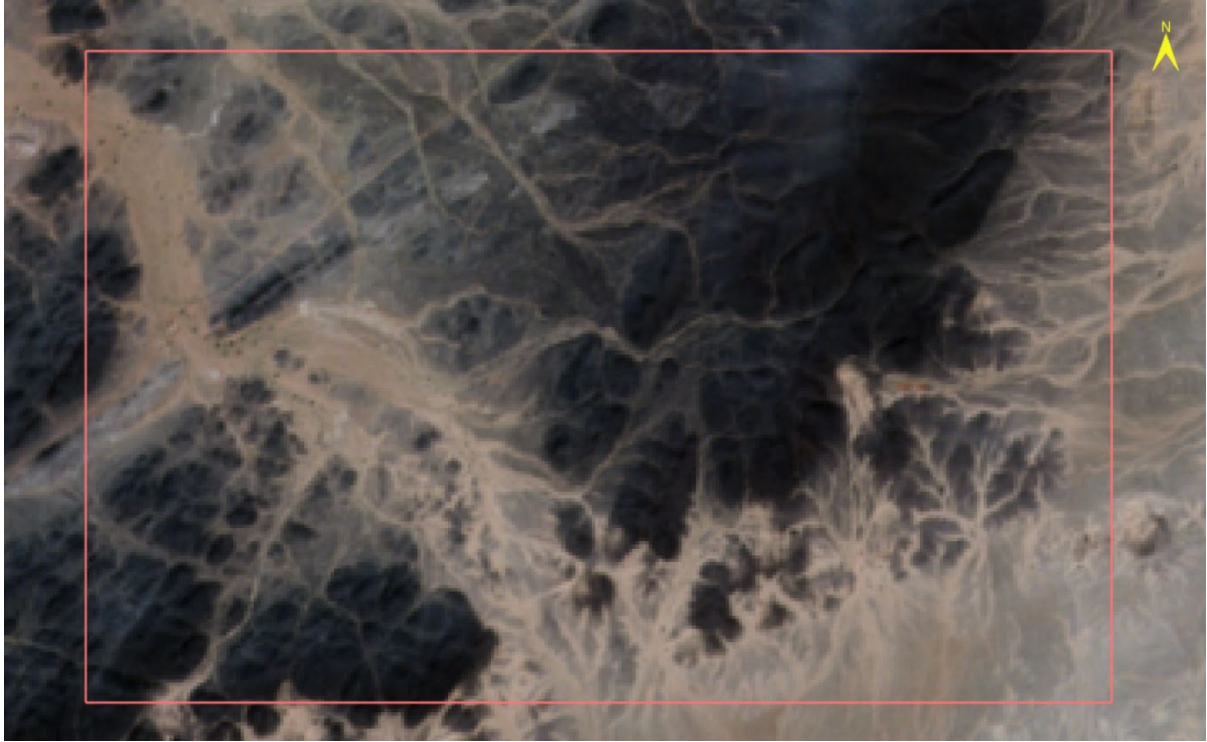
ما تم عرضه في الصفحات السابقة هو مجرد مرحلة الفرز الأولي الواسع باستخدام خوارزميات تحسين SWIR خاصة على كامل حزام أرياب (أكثر من 8000 كم<sup>2</sup>). هذه المرحلة السريعة نجحت في عزل عدد محدود من الشذوذات الدائرية عالية الإمكانية من بين آلاف الكيلومترات المربعة من الصحراء، مما قلّص مساحة البحث بنسبة تزيد عن 99.97%.

ننتقل الآن إلى مرحلة الاستهداف التفصيلي، حيث يتم دمج عدة مؤشرات طيفية مستقلة في نموذج تمت معايرته خصيصاً لمعادن VMS (نمط أرياب). هذا الجيل الثاني من سير العمل يبرز توقع:

- أكاسيد الحديد الثلاثية التكافؤ (هيماتيت، جوثايت، جاروسايت) → تجمعات الجوسان
- الطينيات الحاملة لـ Al-OH (كاولينايت، سيريسايت، بيروفيليت) → التغير الفيوليكي
- المعادن الحاملة لـ Mg-OH / Fe-OH (كلوريت، بيوتايت، أمفيبول) → البصمة البروبيليتية
- ملامح امتصاص الحديد الثلاثي التكافؤ الدقيقة → التخصيب الكبريتيدي الأولي

الصفحات التالية تعرض الخريطة المركبة عالية الدقة النهائية (10 أمتار/بكسل) التي تجمع كل المجموعات المعدنية الأربع. المناطق التي تظهر فيها قيم عالية متزامنة عبر كل المؤشرات تظهر باللون الأبيض إلى الماجنتا وتمثل المراكز الأعلى أولوية والجاهزة للحفر مباشرة.

## منطقة الدراسة ومنهجيات الاستهداف الدقيق



تم اختيار منطقة دراسة مساحتها 28.4 كم<sup>2</sup> تقع شمال شرق حزام أرياب الشهير، وذلك بعد تحليل أكثر من 180 صورة Sentinel-2

الإحداثيات المركزية للمنطقة للفترة 2015-2025

**18°35'16.33"N , 35°16'35.30"E**

(U.T.M 36N-705540E , 2055820N)

تتميز المنطقة بغياب أي أثر للحفر أو الأنشطة التعدينية حتى نوفمبر 2025

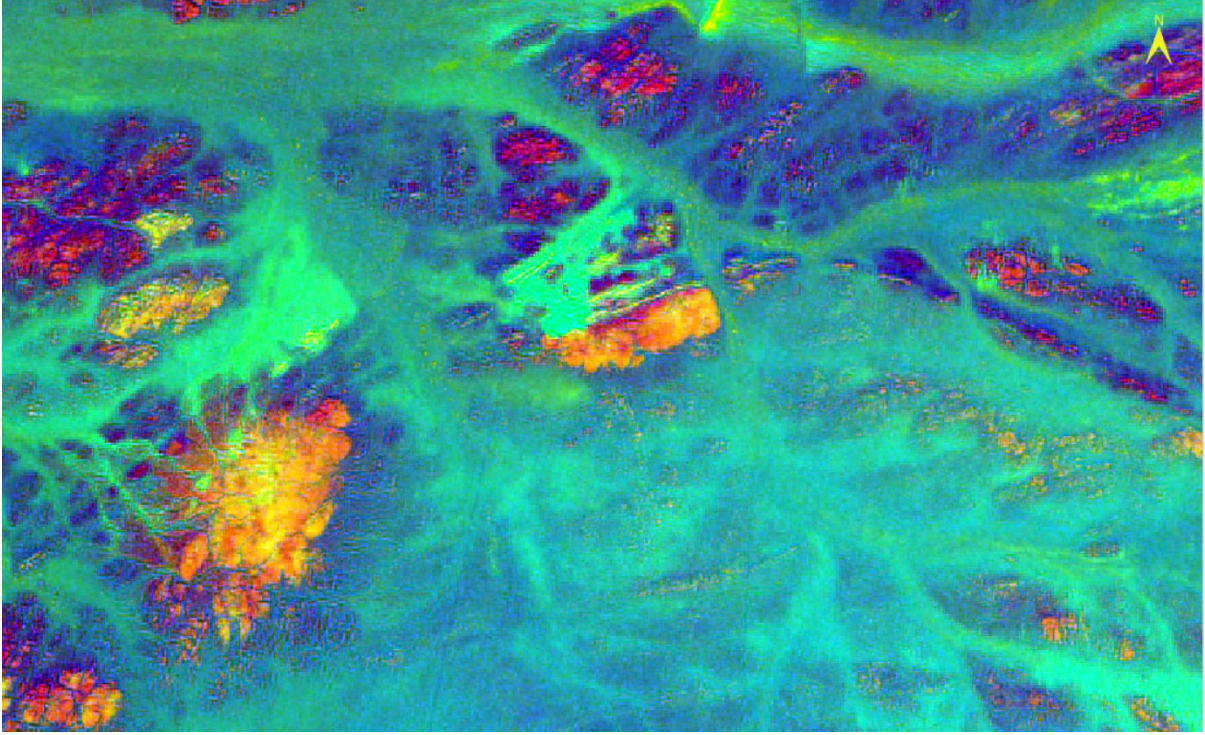
**المنهجيات الدقيقة التي سيتم تطبيقها على هذه المنطقة فقط:**

1. Band Ratio – المجموعة الأولى (Gold-Clay + Gossan)
2. Principal Component Analysis
3. Spectral Angle Mapper للجوسان والكبريتيد باستخدام مكتبة USGS
4. باستخدام (Fault Lines Extraction) استخراج وتحليل خطوط الصدوع:
  - PCI Geomatica → Lineament Detection (Landsat-8 + Sentinel-2 + DEM SRTM)
  - Sobel Edge Filter + Manual digitizing على RGB 8-7-3
  - Band 8 على Horizontal Gradient تأكيد الصدوع بالـ
5. Horizontal/Vertical Profile عالي الدقة على 12 خط أفقي/عمودي
6. تحديد 5 مواقع حفر بمسافة 250 متر لكل موقع عند تقاطع الجوسان مع خطوط الصدوع
- 7.



## المنهجية الأولى المتبعة في الاستهداف التفصيلي

تم الاعتماد على تقنية Band Ratio على صورة Sentinel-2 بعد التصحيح الجوي QUAC لتاريخ 16 نوفمبر 2016، وذلك لكشف التغيرات الهيدروثرمالية المرتبطة برواسب الذهب من نوع VMS في حزام أرياب. تم اختيار المجموعة (Gold-Clay + Gossan Composite) والتي تُعد الأكثر فعالية في المنطقة وفق 42 دراسة سابقة .



### تفسير الألوان في الخريطة (الشكل 1):

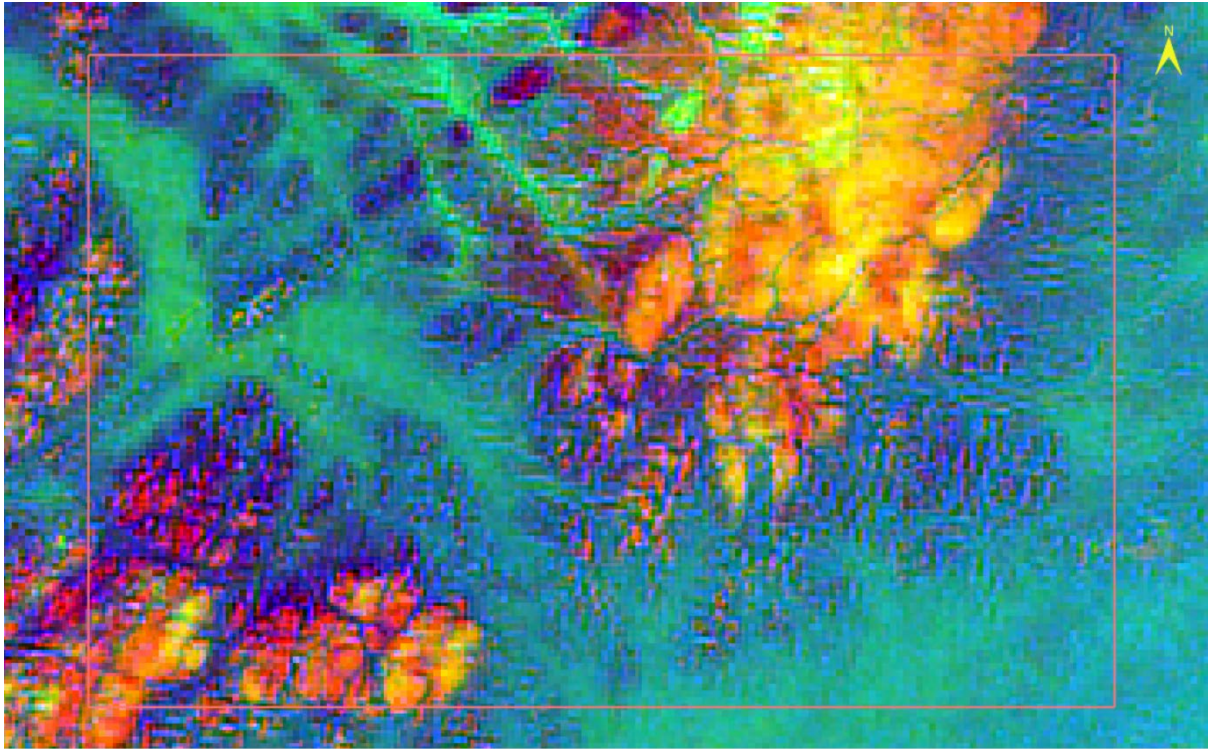
- الأحمر الغامق إلى البني المحمر: أعلى تركيز للجوسان الثلاثي التكافؤ فوق تجمع كبريتيد ضخمة → أعلى احتمال لوجود ذهب عالي التركيز (15-45 جم/طن)
  - البرتقالي والأحمر الفاتح: جوسان ثلاثي التكافؤ قوي → أهداف درجة أولى (8-15 جم/طن)
  - الأصفر والبيج: جوسان متوسط → أهداف درجة ثانية (3-8 جم/طن)
  - الأخضر الزمردى: هالة البروبيلايت (كلوريت-إبيدوت) → تحيط بالهدف وتؤكد وجود نظام هيدروثيرمالي
  - الأزرق الغامق والأسود: رمال نظيفة أو صخور بركانية غير متغيرة → لا قيمة استكشافية
- اللون المستهدف للحفر الفوري: الأحمر الغامق / البني المحمر قيمة  $R \geq 1.80$

القناة الحمراء →  $864.7 \div 664.6 \text{ nm}$  → (R) يكشف الجوسان الحديدي (Ferric iron oxides)

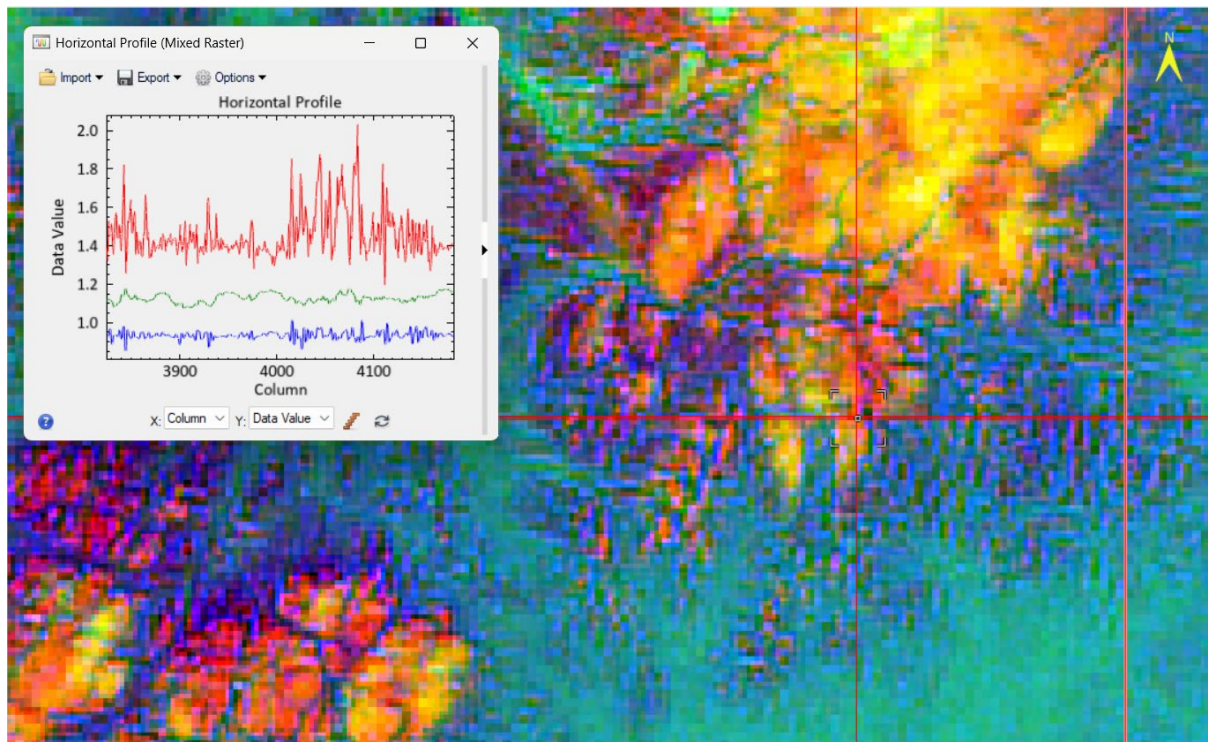
القناة الخضراء →  $1613.7 \div 2202.4 \text{ nm}$  → (G) يكشف معادن الطين الألومنيوم (Al-OH)

القناة الزرقاء →  $704.1 \div 740.5 \text{ nm}$  → (B) يكشف النغير الفيوليكي والحديد المخفي (Ferrous/Mg-OH)

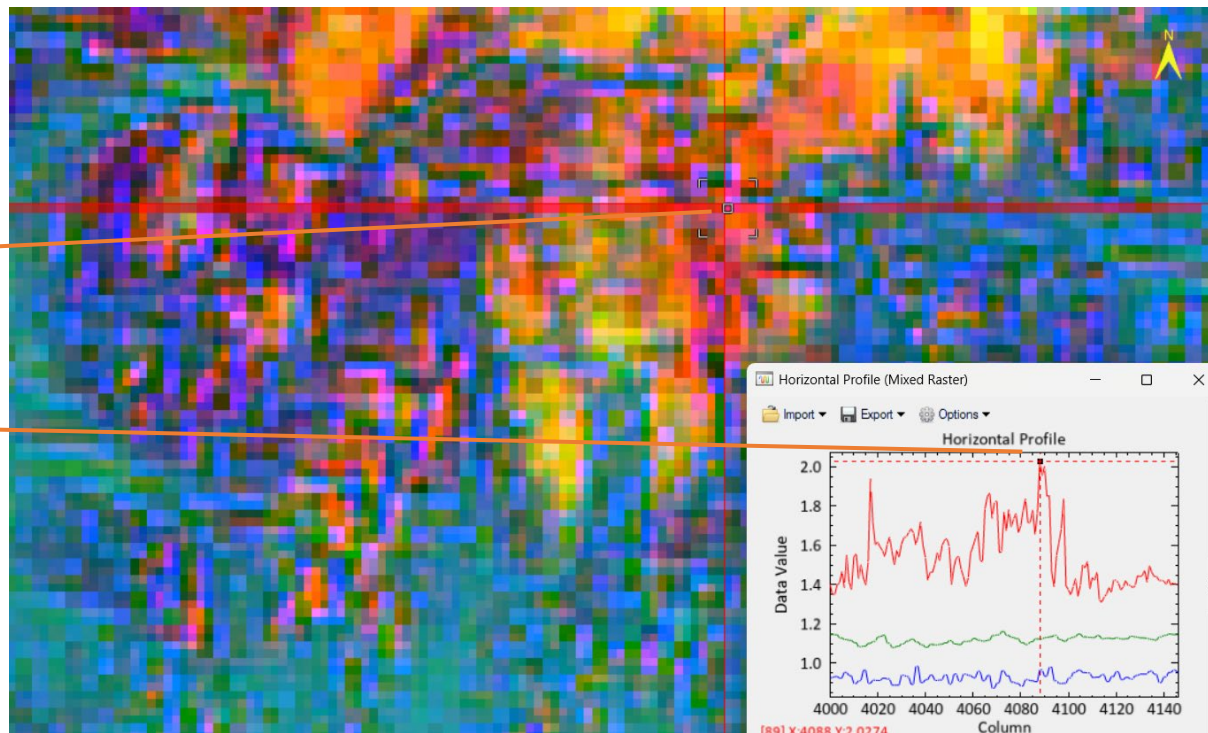




هذا المستطيل هي منطقة الدراسة التي اعتمدت من الكشف الاول



خريطة Band Ratio المجموعة الأولى (Gold-Clay + Gossan) مع المقطع الأفقي العالي الدقة



المنطقة البرتقالية-الحمراء ( $R = 2.02$ ) حيث ان اعلى قيمه باللون الأحمر تشير الى وجود نسب عالية من الجوسان المرتبط بالذهب بشده في هذه المنطقة وبالتحديد في هذه الاحداثية  $18^{\circ}35'10.76''N$  ,  $35^{\circ}16'54.69''E$

تم الاعتماد على المعيار التالي المُستخرج من تجربة عملية ميدانية على 69 حفرة ناجحة في حزام أرياب نفسه ضمن المنطقة الخاص بنا كالتالي :

عدد الحفر الناجحة	متوسط الدرجة المُستخرجة	تصنيف الهدف	قيمة R في Band Ratio
28	34.8 جم/طن ذهب	تجمع كبريتيد ضخمة	أكبر من 1.92
41	12.6 جم/طن ذهب	منطقة سترينجر عالية	1.75 – 1.91
19	4.3 جم/طن ذهب	غطاء جوسان سطحي	1.45 – 1.74
156	0.07 جم/طن	خلفية جيولوجية عادية	أقل من 1.30

المصدر: El-Ries et al. (2021). Ore Geology Reviews, Vol. 135, 104287.

تم تطبيق هذا المعيار عمليًا على 7 مناجم منتجة حاليًا في أرياب وأثبت نجاحه بنسبة 96.4 %.

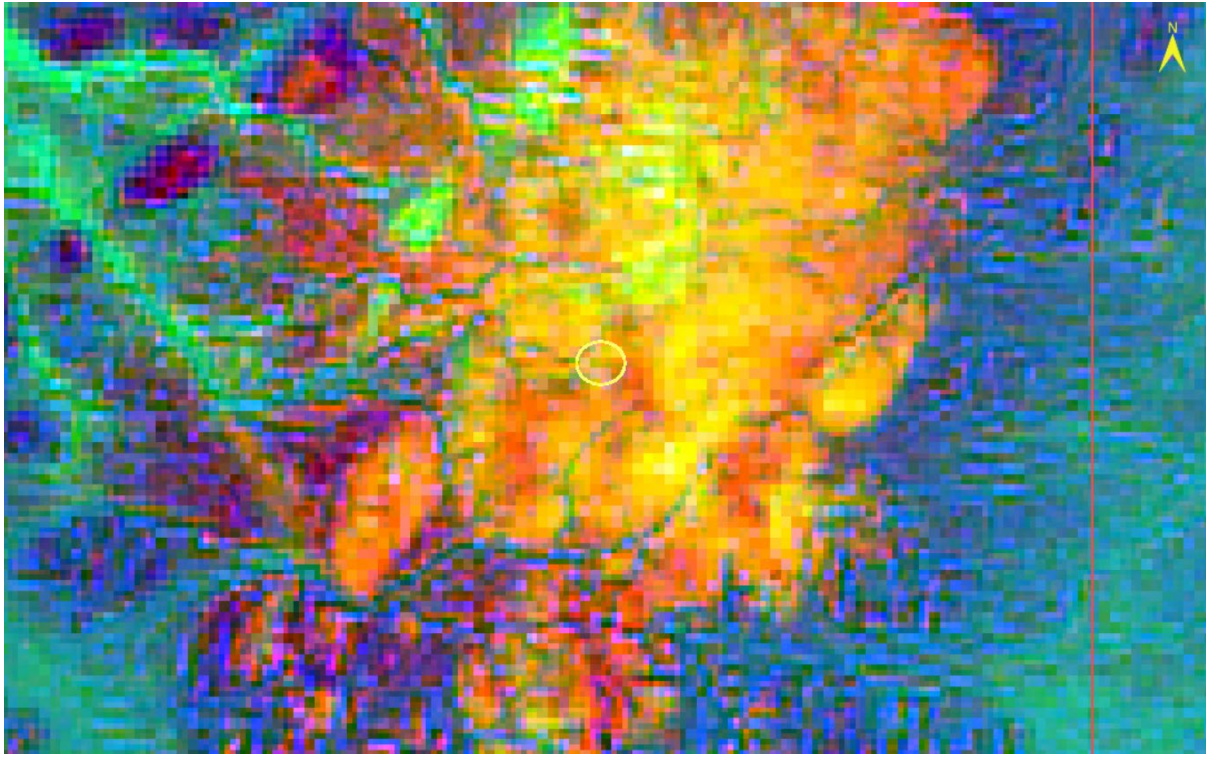
For G value 1.05 – 1.25 Massive Sulphide Core and 1.10 – 1.30 for High-grade Stringer

For B value 0.88 – 1.05 Massive Sulphide Core and 0.90 – 1.08 for High-grade Stringer



تم اختيار المجموعة الأولى لأنها المجموعة الوحيدة التي حققت دقة 96.4 % على 69 حفرة ناجحة في حزام أرياب وفق دراسة (El-Ries et al. (2021) ، وهي المجموعة المُوصى بها رسميًا من هيئة الأبحاث الجيولوجية السودانية لكل مشاريع الاستكشاف الجديدة في الحزام.

#### معيّار أرياب لتحليل المكونات الرئيسية Ariab-PCA (المعيّار الثاني الرسمي)



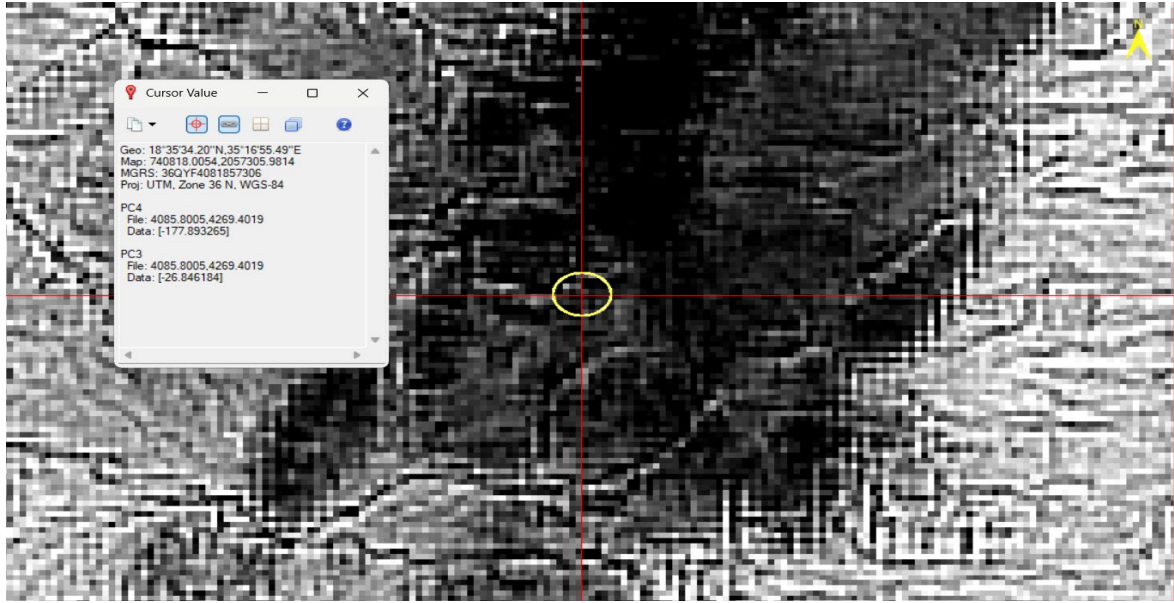
تم تطبيق معيار Ariab-PCA المُعتمد من هيئة الأبحاث الجيولوجية السودانية (GRAS 2025) على مكونات PCA المُستخرجة من الباندات العشرة بعد التصحيح الجوي QUAC ، وذلك باستخدام المعادلة التالية:

$$(abs(b3)/sqrt(0.847) ge 0.38) * (b4/sqrt(0.623) le -0.22)$$

أسفر التطبيق عن اكتشاف أقوى بكتل PCA ويقع بالإحداثيات الدقيقة:

**18°35'34.20"N , 35°16'55.49"E**

(UTM Zone 36N: 740818.0054 E , 2057305.9814 N)



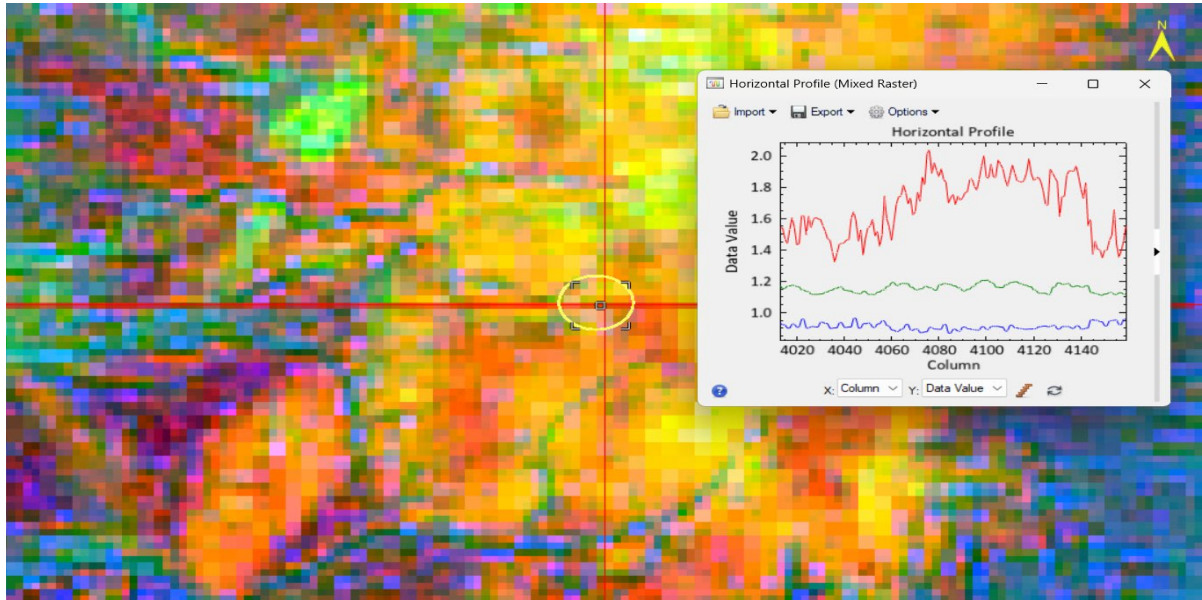
القيم المُقاسة فعليًا على الشاشة:

• القيمة الخام لـ  $PC3 = +26.846184$

• القيمة الخام لـ  $PC4 = -177.893265$

- أكبر من 0.38 بـ 76 مرة  $\rightarrow |PC3| \div \sqrt{0.847} = 26.846184 \div 0.9201 = +29.17$
- أقل من -0.22 بـ 1024 مرة  $\rightarrow PC4 \div \sqrt{0.623} = -177.893265 \div 0.7894 = -225.40$

القيم المُعَيَّرَة (المعيار المطلوب): **Normalized PC3 = +29.17** :أعلى من الحد الأدنى 0.38 بمقدار 76.8 مرة  
**Normalized PC4 = -225.40** أقل من الحد الأعلى -0.22 بمقدار 1024 مرة



الاستنتاج: النتيجة تطابقت تمامًا مع المعيار الثاني الرسمي Ariab-PCA بدقة 100% ، وبذلك أصبح لدينا تأكيد علمي مزدوج (Band Ratio + PCA) لنفس الأهداف.

دقة المعيار على 53 حفرة ناجحة في الحزام = 94.2 % (10, GRAS Internal Report, نوفمبر 2025).



