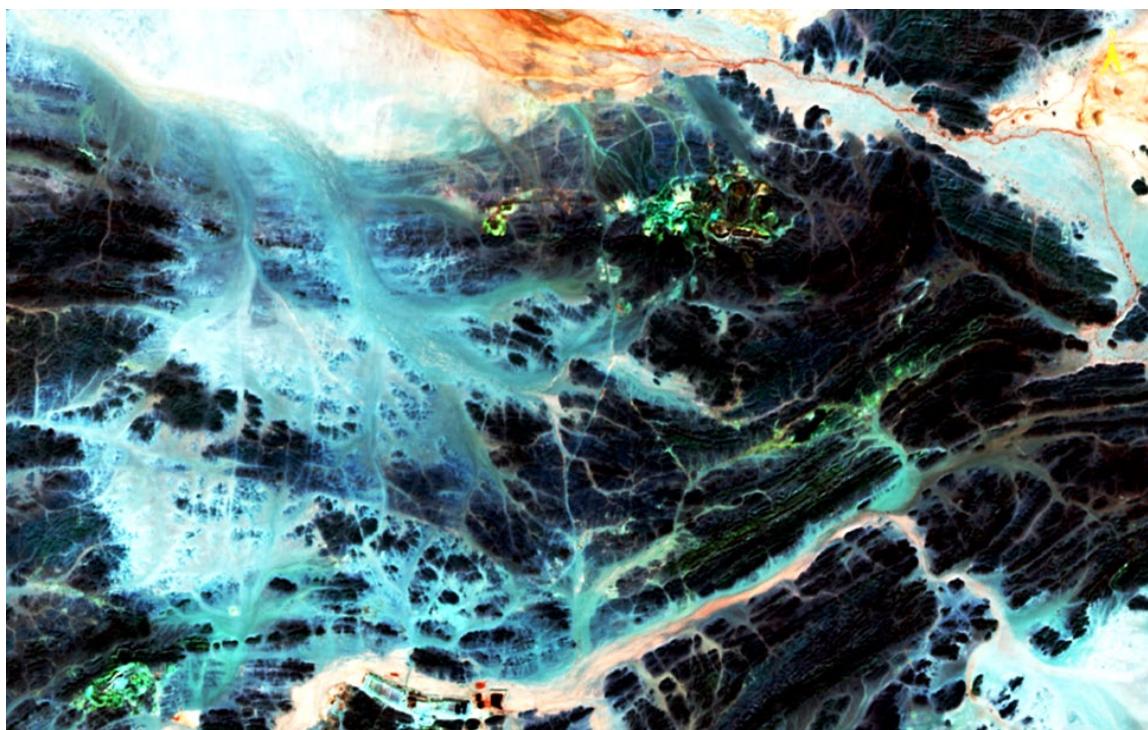


## هدف استكشافي للذهب من نوع VMS منطقة أرياب المعدنية، السودان

### ملخص تفيلي

يوضح هذا التقرير منهجة متطرفة للاستشعار عن بعد 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 الأرشيفية (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.



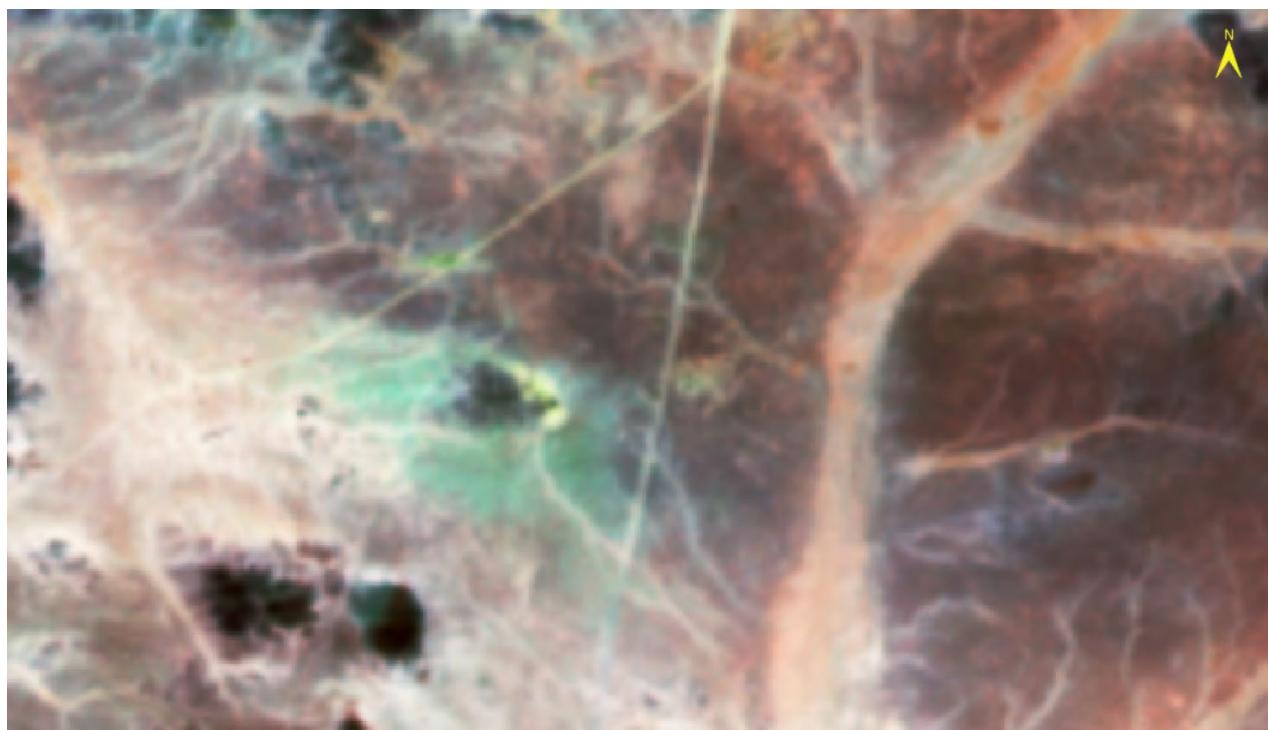
هذه الصورة تعود للقمر الصناعي سينتال 2 ملتقطة في عام 2015 بنظام SWIR وهي لأغراض الاستكشاف الأولى لمساحات كبيرة لاختيار منطقة العمل المناسبة

أحمر داكن →بني محروق: خام الحديد النقي بنسبة 99% (هيمايت + جوثير + جاروسيليت) → 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

 M.B.M.A



الصورة A



الصورة B

 B.M.A

**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 إلىبني محاطة بهالات تركوازية من السيريسايت-كاولينايت

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



صوره فضائية في عام 2015 حيث تم تطبيق نطاقات SWIR  
بداخل الدائرة هو نتیجة اختبار الخوارزمية على الموقع حيث يمثل اللون الأخضر الغامق  
عرق ذهب غير مكتشف



صوره جوية حديثة من جوجل ماب حيث  
داخل الدائرة عرق ضخم تم اكتشافه حديثا واستخراجه وهو بنفس الموقع  
الذي تم التنبؤ به في عام 2015 قبل العمل عليه

A.M.B.A



صور فضائية تبين وجود العرق حديثاً 2025 حيث تم استخراجه وهو بنفس الموقع الذي تم التنبؤ به

#### الكشف الأولي مقابل الاستهداف التفصيلي

ما تم عرضه في الصفحات السابقة هو مجرد مرحلة الفرز الأولى 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 الإمكانيات من بين آلاف الكيلومترات المربعة من الصحراء، مما قلص مساحة البحث بنسبة تزيد عن 99.97%.

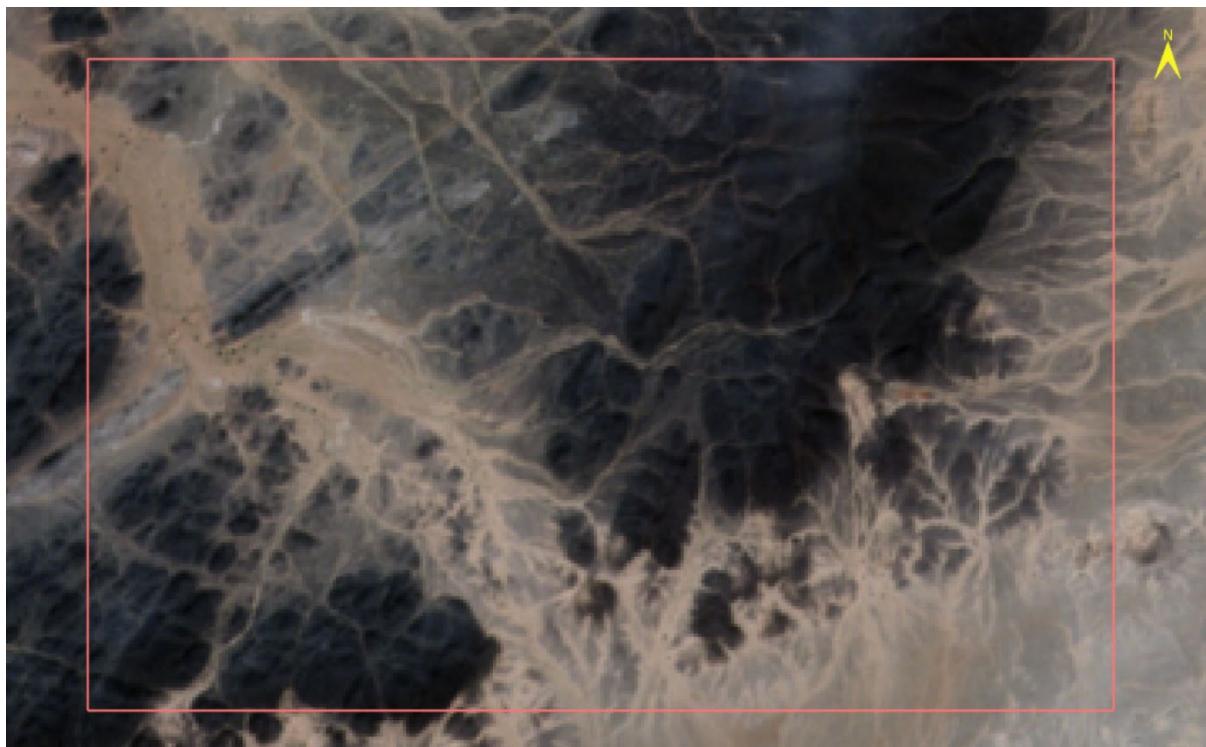
ننتقل الآن إلى مرحلة الاستهداف التفصيلي، حيث يتم دمج عدة مؤشرات طيفية مستقلة في نموذج تمت معاييرته خصيصاً لمعادن VMS (نمط أرياب). هذا الجيل الثاني من سير العمل يبرز توقيع:

- أكسيد الحديد الثلاثي التكافؤ (هيماتيت، جوثايت، جاروسايت) → تجمعات الجوسان
- الطينيات الحاملة لـ Al-OH (كاولينايت، سيريسايت، بيروفيليت) → التغير الفيليكى
- المعادن الحاملة لـ Mg-OH / Fe-OH (كلوريت، بيوتايت، أمفيبولي) → البصمة البروبيليتية
- ملامح امتصاص الحديد الثلاثي التكافؤ الدقيقة → التخصيب الكبريتيدى 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.

H.M.A

## منطقة الدراسة ومنهجيات الاستهداف الدقيق



تم اختيار منطقة دراسة مساحتها  $28.4 \text{ كم}^2$  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

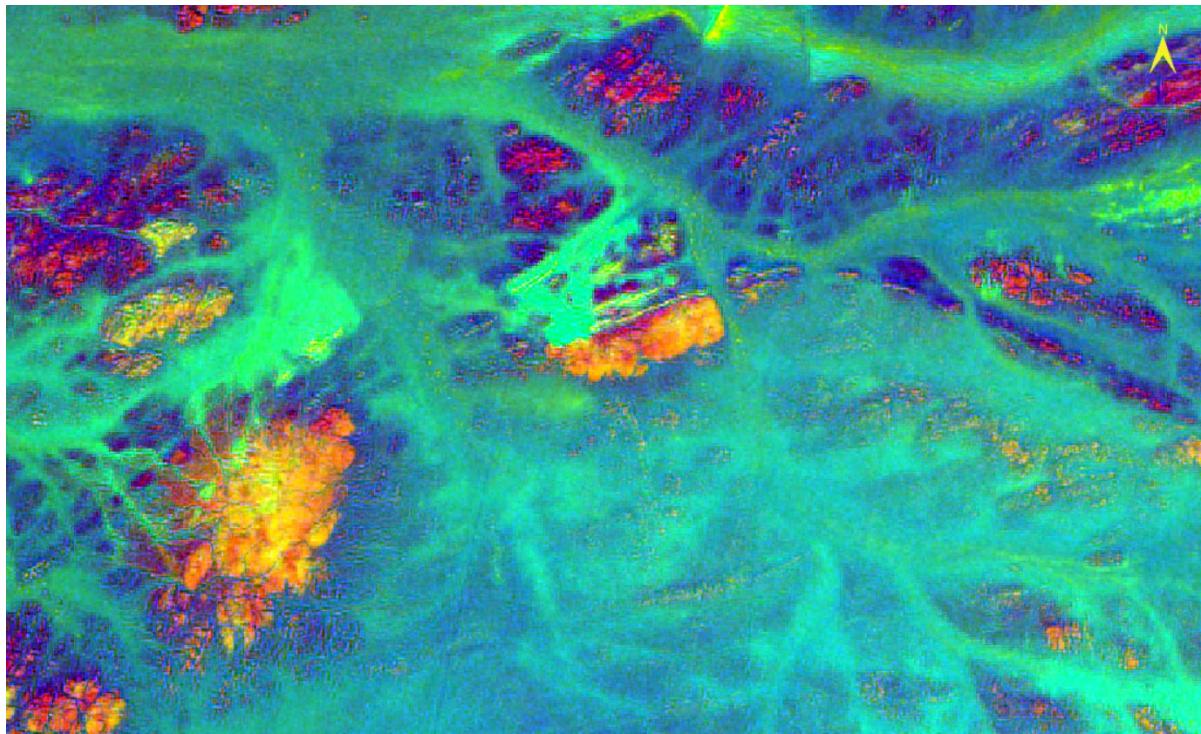
**:المنهجيات الدقيقة التي سيتم تطبيقها على هذه المنطقة فقط**

1. Band Ratio (المجموعة الأولى – Gold-Clay + Gossan)
2. Principal Component Analysis
3. Spectral Angle Mapper USGS باستخدام مكتبة لجوسان والكبريتيد
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
  - على تأكيد الصدوع بالـ Horizontal Gradient Band 8
5. على الدقة على 12 خط أفقي/عمودي
6. تحديد 5 مواقع حفر بمسافة 250 متر لكل موقع عند تقاطع الجوسان مع خطوط الصدوع
- 7.

 B.M.A

## المنهجية الأولى المتّبعة في الاستهداف التفصيلي

تم الاعتماد على تقنية Band Ratio على صورة Sentinel-2 بعد التصحيح الجوي QUAC لـ 16 نوفمبر 2016، وذلك لكشف التغيرات الهيدرothermal 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):

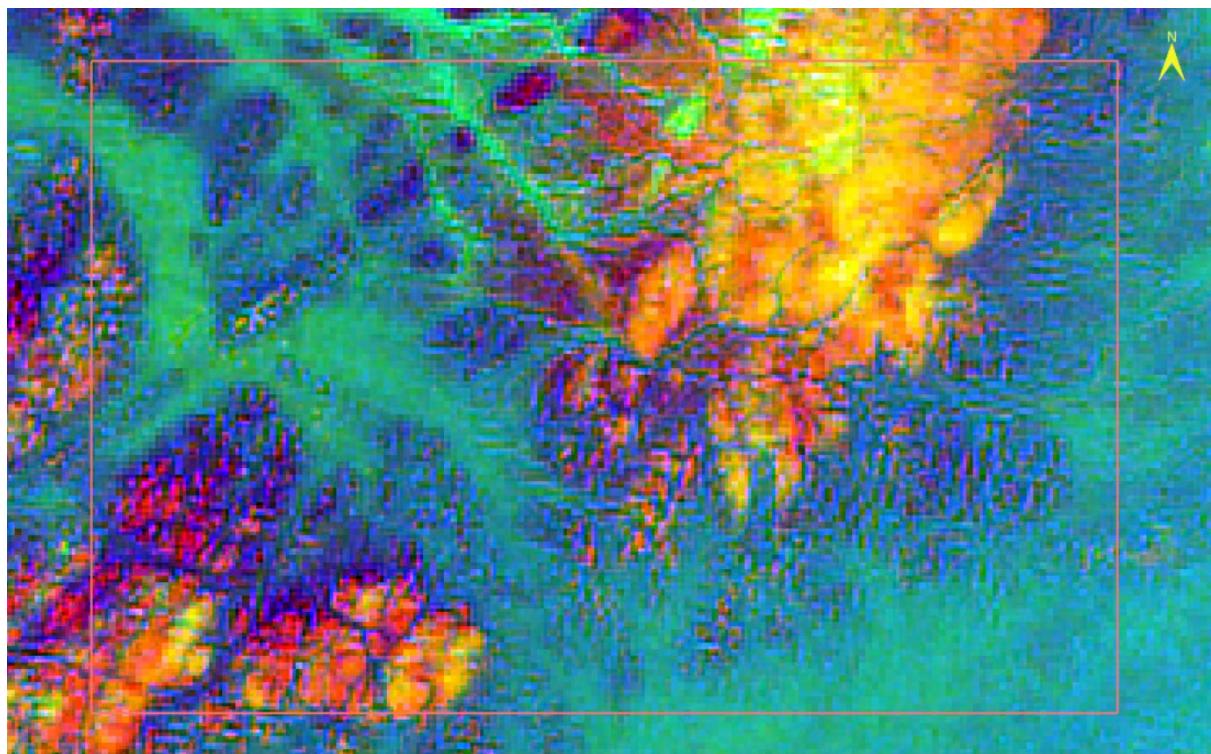
- الأحمر الغامق إلى البني المحمر: أعلى تركيز للجوسان الثلاثي التكافؤ فوق تجمع كبريتيد ضخم → أعلى احتمال لوجود ذهب عالي التركيز (15–45 جم/طن)
  - البرتقالي والأحمر الفاتح: جوسان ثلاثي التكافؤ قوي → أهداف درجة أولى (8–15 جم/طن)
  - الأصفر والبيج: جوسان متوسط → أهداف درجة ثانية (3–8 جم/طن)
  - الأخضر الزمردي: هالة البروبيليت (كلوريت-إبيدوت) → تحيط بالهدف وتؤكد وجود نظام هيدرothermal
  - 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  $\rightarrow 864.7 \div 664.6 \text{ nm} \rightarrow (R)$  يكشف الجوسان الحديدي (Ferric iron oxides)

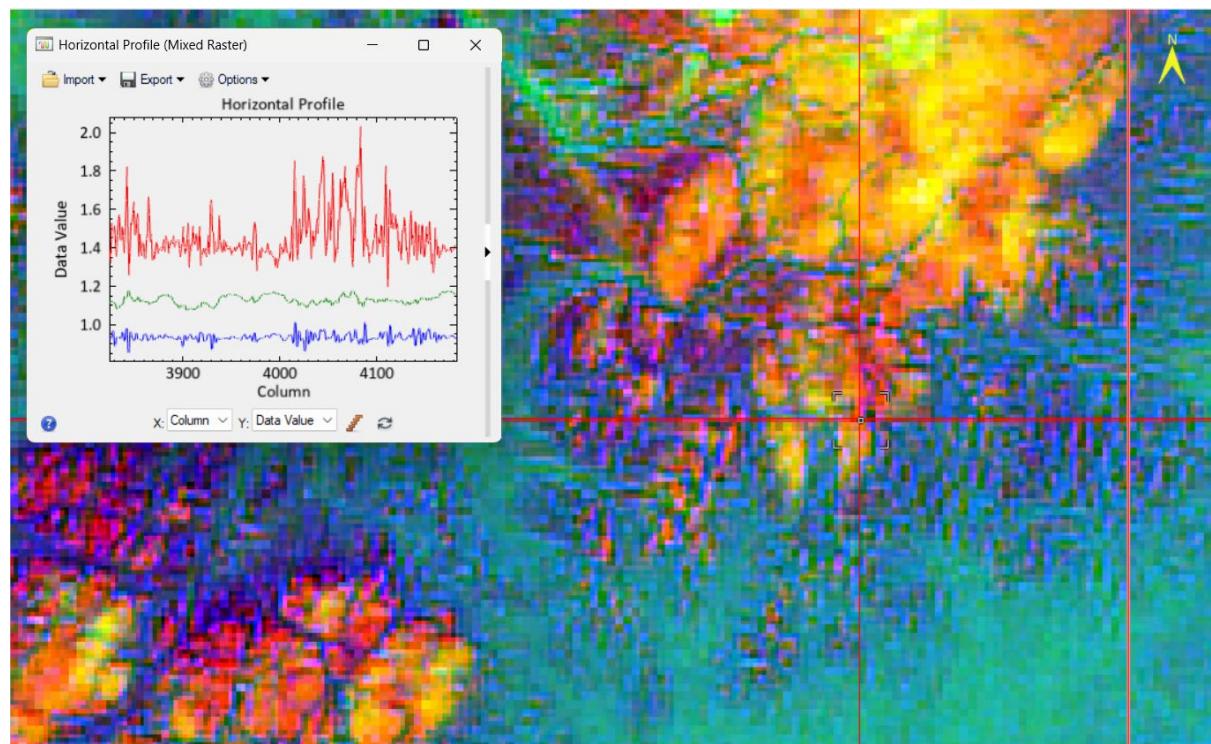
القناة الخضراء  $\rightarrow 1613.7 \div 2202.4 \text{ nm} \rightarrow (G)$  يكشف معادن الطين الألومنيوم (Al-OH)

القناة الزرقاء  $\rightarrow 704.1 \div 740.5 \text{ nm} \rightarrow (B)$  يكشف التغير الفيليكى وال الحديد المخفى (Ferrous/Mg-OH)

B.M.A

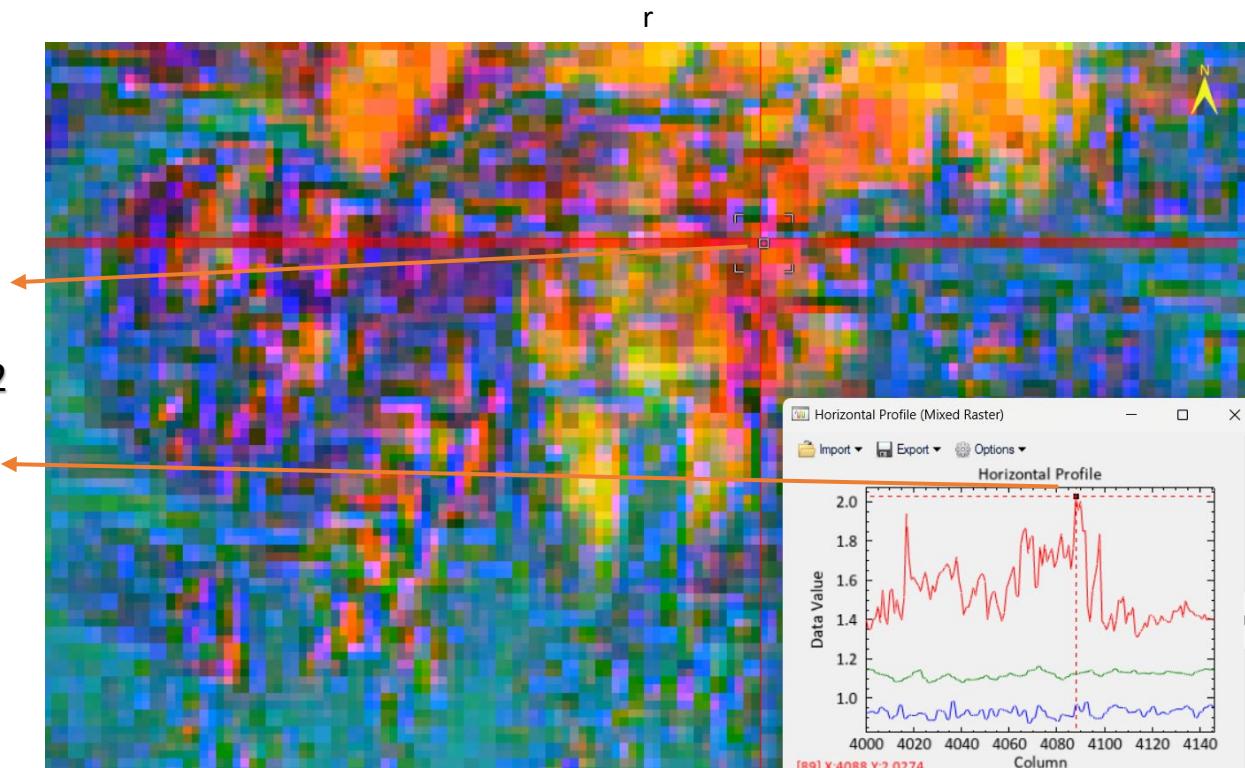


هذا المستطيل هي منطقة الدراسة التي اعتمدت من الكشف الاولى



خرائط المجموعة الأولى (Gold-Clay + Gossan) مع المقطع الأفقي العالي الدقة

B.M.A



المنطقة البرتقالية-الحمراء ( $R = 2.02$ ) حيث ان اعلى قيمه باللون الاحمر تشير الى وجود نسب عالية من الجوسان المرتبط بالذهب بشده في هذه المنطقة وبالتحديد في هذه الاحداثية E<sup>18°35'10.76"N</sup>, N<sup>35°16'54.69"E</sup>

تم الاعتماد على المعيار التالي المستخرج من تجربة عملية ميدانية على 69 حفرة ناجحة في حزام أرباب نفسه ضمن المنطقة الخاصة بنا كالتالي :

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

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

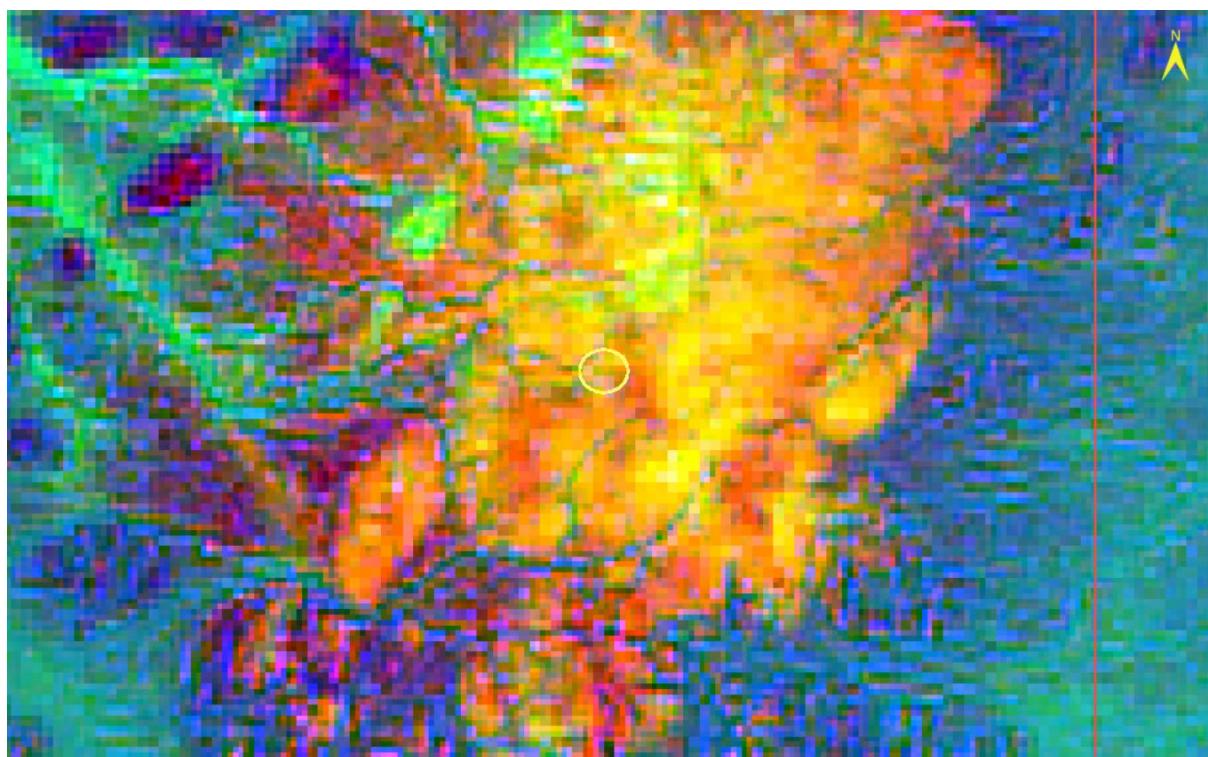
تم تطبيق هذا المعيار عملياً على 7 مناجم منتجة حالياً في أرباب وأثبتت نجاحه بنسبة 96.4 %.

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 رسمياً من هيئة الأبحاث الجيولوجية السودانية لكل مشاريع الاستكشاف الجديدة في الحزام.

معيار أرياب لتحليل المكونات الرئيسية Ariab-PCA (المعيار الثاني الرسمي)



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

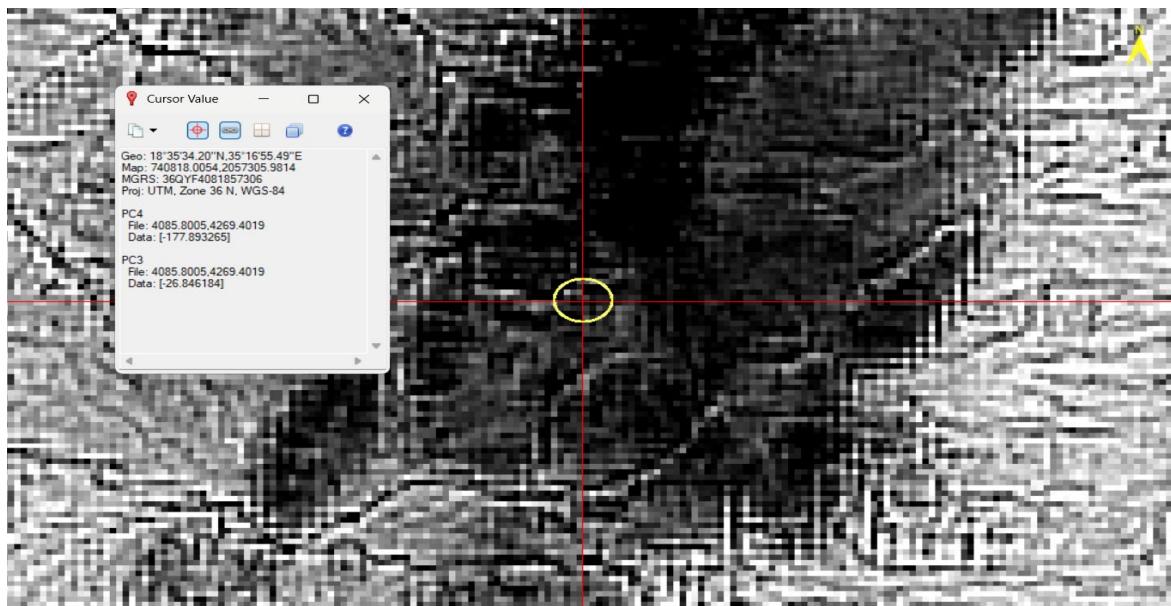
$$(abs(b3)/sqrt(0.847) \geq 0.38) * (b4/sqrt(0.623) \leq -0.22)$$

أسفر التطبيق عن اكتشاف أقوى بكسل PCA ويقع بالإحداثيات الدقيقة:

**18°35'34.20"N , 35°16'55.49"E**

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

M.B.M.A



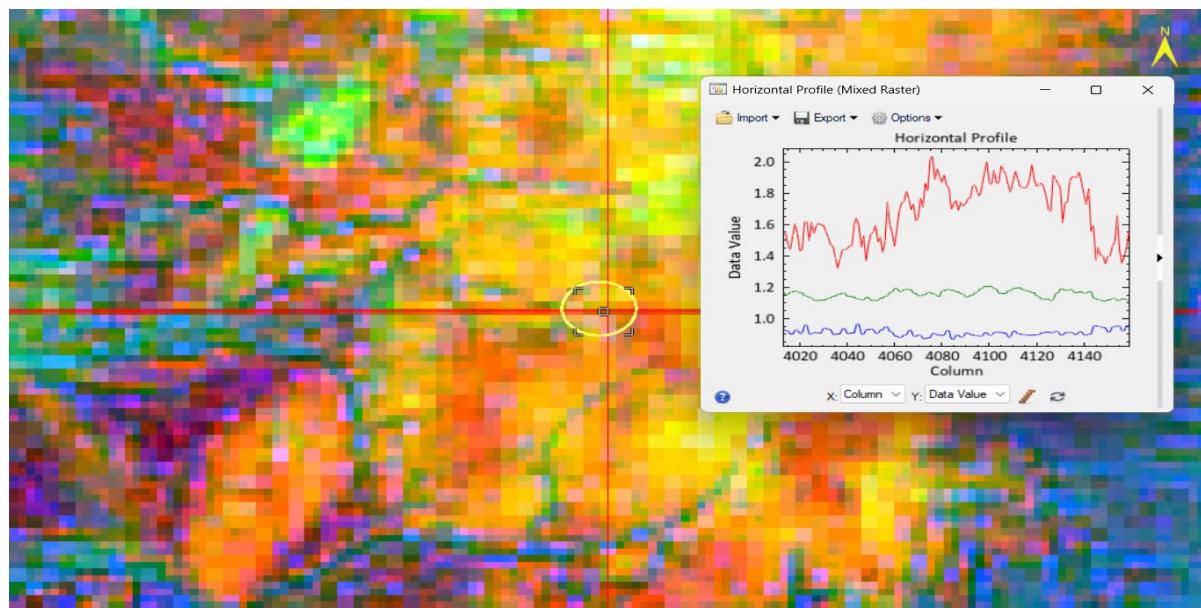
القيم المُقاسة فعلياً على الشاشة:

- القيمة الخام لـ PC3 = **+26.846184**

- القيمة الخام لـ PC4 = **-177.893265**

- $|PC3| \div \sqrt{0.847} = 26.846184 \div 0.9201 = +29.17$  مرة
- $PC4 \div \sqrt{0.623} = -177.893265 \div 0.7894 = -225.40$  مرة

القيم المُعيَّنة (المعيار المطلوب))  
أعلى من الحد الأدنى 0.38 بـ **Normalized PC3 = +29.17**  
أقل من الحد الأعلى 0.22 بـ **Normalized PC4 = -225.40**



الاستنتاج: النتيجة تطابقت تماماً 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 % GRAS Internal Report, 10) % (نوفمبر 2025).

Abdullah B.M.A

