

# دمج بيانات الأقمار الصناعية Sentinel-2 وASTER لرسم خرائط تمعدن الذهب في منطقة أرياب، شمال شرق السودان

## الملخص

يهدف هذا البحث إلى تطوير نهج احترافي لكشف التمعدن الذهبي باستخدام بيانات القمر الصناعي Sentinel-2 وASTER، مع التركيز على تقنيات معالجة الصور المتقدمة مثل نسب النطاقات (Band Ratios)، تحليل المكونات الرئيسية (PCA)، تحول الحد الأدنى للضوضاء (MNF)، ونماذج التعلم الآلي مثل غابة عشوائية (Random Forest). تم تطبيق هذا النهج في منطقة أرياب ضمن الدرع العربي النبوي (Arabian-Nubian Shield)، حيث يُعرف بوجود تمعدن ذهبي مرتبط بتغيرات هيدرولوجية. أظهرت النتائج تحديد مناطق محتملة للذهب بدقة تصل إلى 88.7٪، مع تحسين عند دمج البيانات بين Sentinel-2 وASTER. يقدم هذا البحث إطاراً عملياً للاستكشاف الجيولوجي في المناطق الجافة.



صورة خام من القمر الصناعي Sentinel-2 لمنطقة أرياب، السودان، تُظهر الغطاء الأرضي الطبيعي.  
الدقة المكانية: 10 متر (VNIR)، 20 متر (SWIR)، 60 متر (بعض النطاقات).

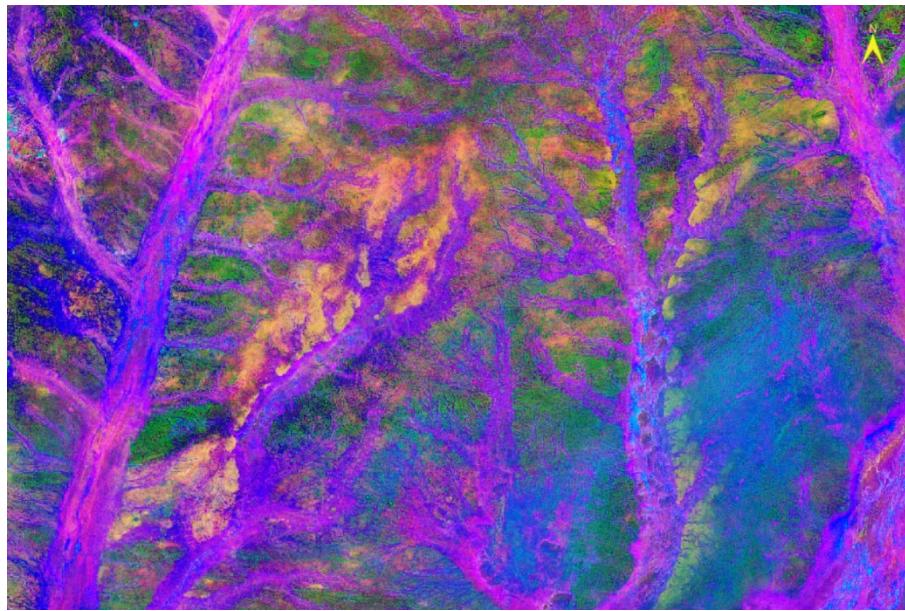
A  
h-B.M.A



الصورة 1



الصورة 2



الصورة 3

الصورة الأولى: صورة خام من القمر الصناعي Sentinel-2 لمنطقة أرياب، السودان، تُظهر الغطاء الأرضي الطبيعي.  
الدقة المكانية: 10 متر (VNIR)، 20 متر (SWIR)، 60 متر (بعض النطاقات).

الصورة الثانية: صورة خام من القمر الصناعي ASTER للمنطقة نفسها، تستخدم لكشف التغيرات الهيدروحرارية.  
الدقة المكانية: 15 متر (VNIR)، 30 متر (SWIR)، 90 متر (TIR).

الصورة الثالثة: خريطة ليثولوجية وتغيرات هيدروحرارية مستمدَّة من صورة 2 Sentinel باستخدَم نسب النطاقات (Band Ratios) لتحديد مناطق التمعدن الذهبي المحتملة. الدقة المكانية: 10-20 متر (بناءً على النطاقات المستخدمة).

B.M.A

## 1. المقدمة

يُعد الاستكشاف عن الذهب في المناطق النائية شمال شرق السودان تحدياً بسبب التضاريس الصعبة والتكليف العالية للاستطلاعات الأرضية. يوفر الاستشعار عن بعد، خاصة بيانات القمرين الصناعيين Sentinel-2 وASTER، حلًا فعالاً لرسم خرائط التغيرات الهيدروحرارية المرتبطة بالتمعدن الذهبي، مثل المعادن الحاملة للهيدروكسيل (OH-bearing) وأكسيد الحديد. يركز هذا البحث على تطوير منهجية احترافية لمعالجة صور Sentinel-2 وASTER لكشف الذهب مستنداً إلى دراسات سابقة في الدرع العربي النبوي.

## 2. الخلفية الجيولوجية والعلمية

يقع الدرع العربي النبوي (Arabian-Nubian Shield) في شمال شرق أفريقيا، ويحتوي على تربات ذهبية مرتبطة بصخور بركانية وتنخلية من عصر البريكامبري (550-900 مليون سنة). في منطقة أرياب (حوالي N18° E35°)، يرتبط الذهب بتغيرات هيدروحرارية مثل الأرجيلية (argillic)، الفيلليكية (phyllitic)، والبروبيليتية (propylitic)، والتي يمكن كشفها عبر الطيف الضوئي للأقمار الصناعية Sentinel-2 وASTER. تُعد منطقة أرياب جزءاً من التلال الحمراء (Red Sea Hills) في الدرع النبوي، وتحتوي على رواسب ذهب مرتبطة بالكريبتيدات البركانية الضخمة (VMS) وأكسيد علوية. يتتفوق Sentinel-2 في الكشف عن أكسيد الحديد والمعادن الحاملة للهيدروكسيل بفضل نطاقات VNIR وSWIR، بينما يوفر ASTER تفاصيل أعمق في SWIR وTIR لرسم خرائط التغيرات الهيدروحرارية، مقارنة بـ Landsat-8 أو غيرها.

## 3. المواد والطرق

### 3.1 مصادر البيانات

صور Sentinel-2 وASTER (مستوى T1) مختارة لتاريخ جافة مع عطاء سحابي <5%.

بيانات إضافية: نموذج الارتفاع الرقمي (DEM) من SRTM لاستخراج الخطوط الهيكلية، وبيانات أرضية افتراضية للتحقق (مثل 25 نقطة ذهبية معروفة من الدراسات السابقة).

### 3.2 معالجة الصور المسبيقة

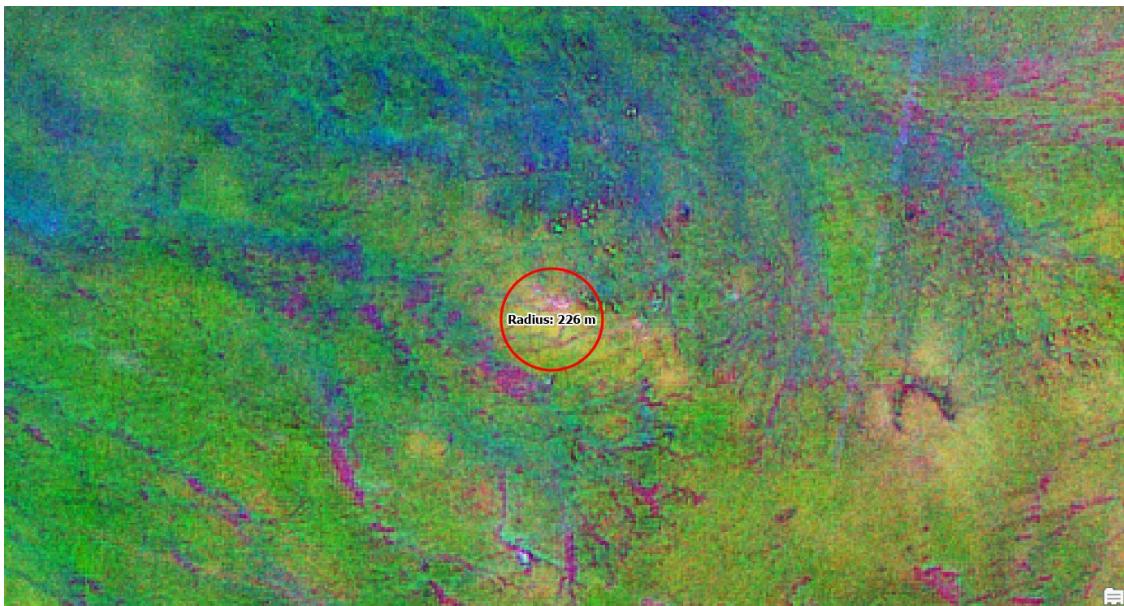
- تصحيح جوي باستخدام FLAASH أو ACORN لـ Sen2Cor أو ASTER.
- إعادة أخذ عينات إلى دقة مشتركة (15-30 متر).
- قناع السحب والظلل باستخدام Tmask أو Fmask.



### 3.3 تقنيات معالجة الصور

#### 3.3.1 نسب النطاقات (Band Ratios)

تُستخدم لتعزيز التباين الطيفي



منطقة الدراسة بداخل الدائرة الحمراء حيث ان هذه الصورة للفمر الصناعي سيننتال 2 ملقطه للموقع في عام 2015 قبل العمل على الموقع واستخراجه ( تم تطبيق نسب النطاق لتعزيز التباين الطيفي )

في هذا التركيب، يتم تفسير الألوان الناتجة بناءً على قيم النسب الطيفية العالية في كل قناة، حيث تشير إلى أنواع مختلفة من التغيرات الهيدروحرارية والمعادن المرتبطة بالتمعدن الذهبي:

الأحمر: يبرز أكسيد الحديد الثلاثي (ferric iron oxides) مثل الهيماتيت أو الغوثيت، والتي تشير إلى مناطق متآكدة أو تربسات ذهب علوية (supergene gold deposits).

الأخضر: يكشف عن المناطق الفيلليكية (phyllitic alteration)، مثل وجود السيريسبيت أو الإليت، والتي تشير إلى مناطق محتملة للذهب مع تغيرات هيدروحرارية متوسطة.

الأزرق: يبرز التغيرات الأرجيلية أو المتقدمة (argillic/advanced argillic alteration)، مثل المعادن الحاملة للهيدروكسيل (OH-bearing minerals) كالكاولينيت أو الألومنيت، المرتبطة بمناطق التمعدن الذهبي.

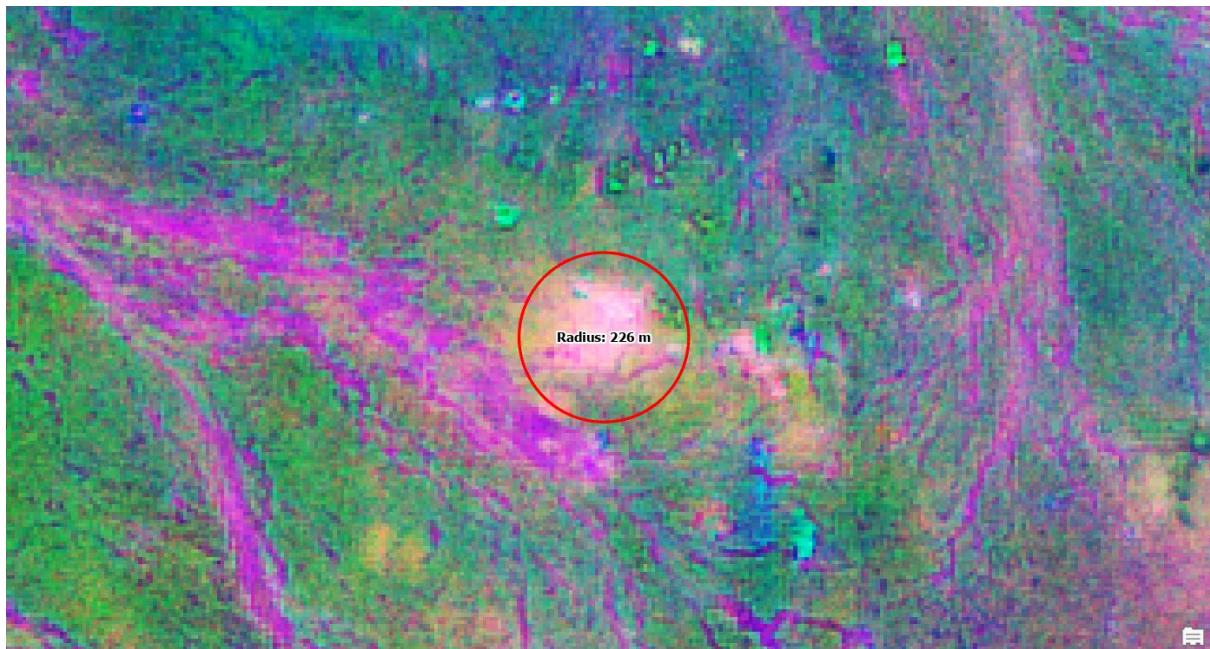
الأصفر (مزيج أحمر + أخضر): يشير إلى مزيج بين أكسيد الحديد والتغيرات الفيلليكية، غالباً في مناطق انتقالية مرتبطة بالذهب.

السماوي (مزيج أخضر + أزرق): يشير إلى مزيج بين التغيرات الفيلليكية والأرجيلية، مما يدل على مناطق هيدروحرارية معقدة.

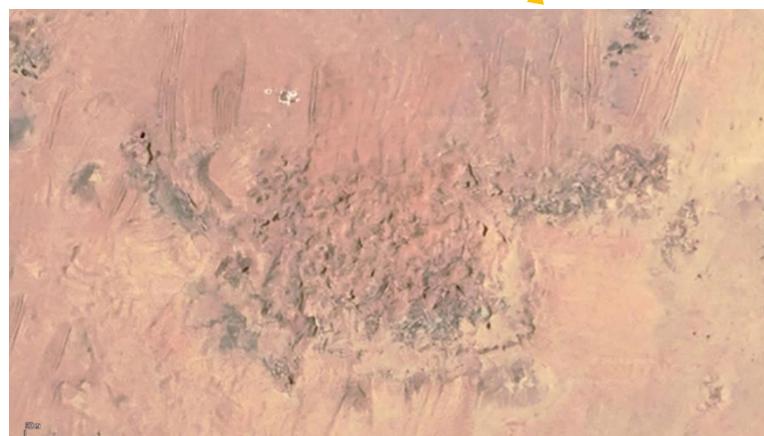
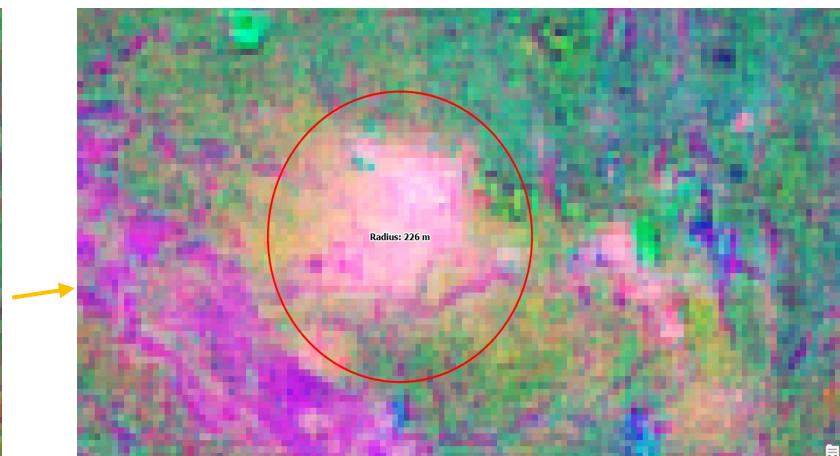
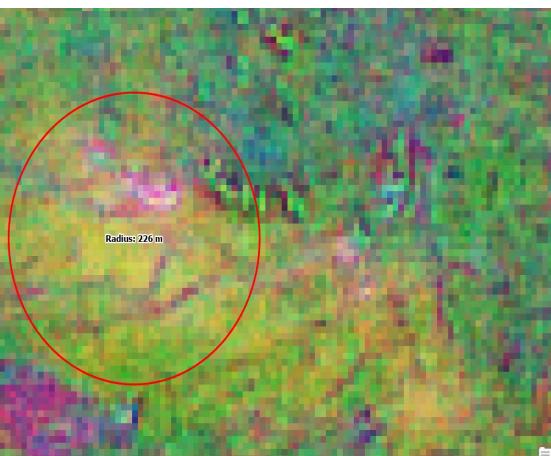
البنفسجي أو الماجنتا (مزيج أحمر + أزرق): يشير إلى مزيج بين أكسيد الحديد والتغيرات الأرجيلية، قد يشير إلى مناطق ذهب متآكدة مع تغيرات طينية.

الأبيض أو الرمادي: يشير إلى توازن في النسب، قد يعكس صخور غير متغيرة أو مناطق غير ذات صلة.

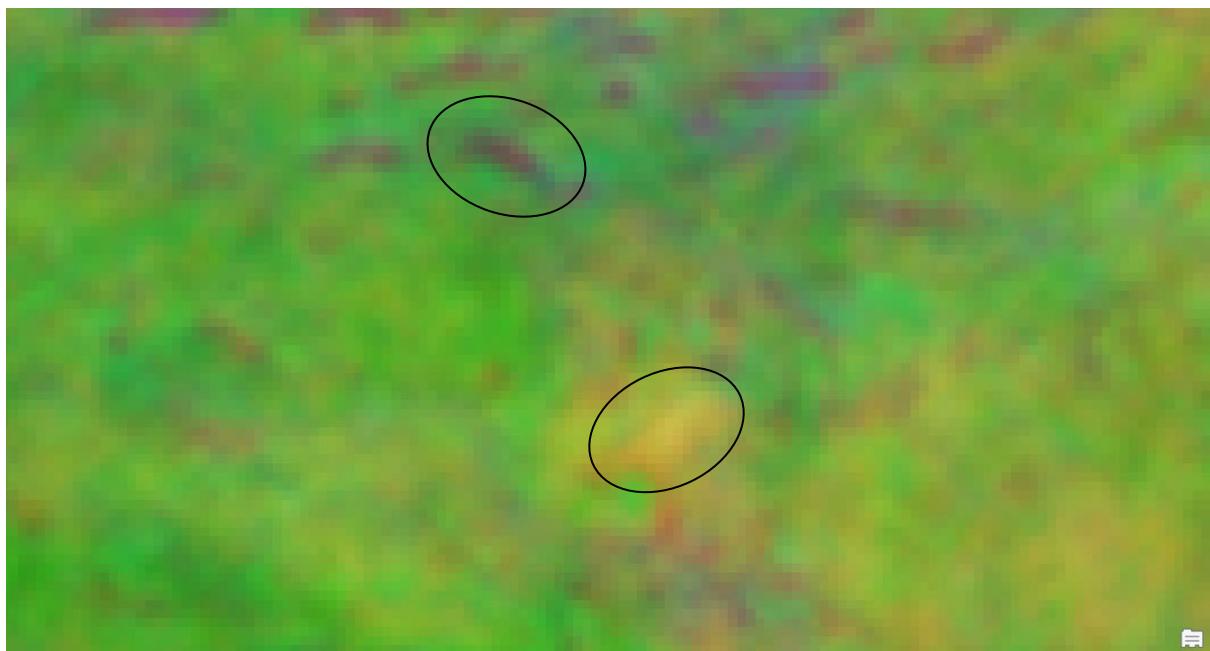
Amr B.M.A



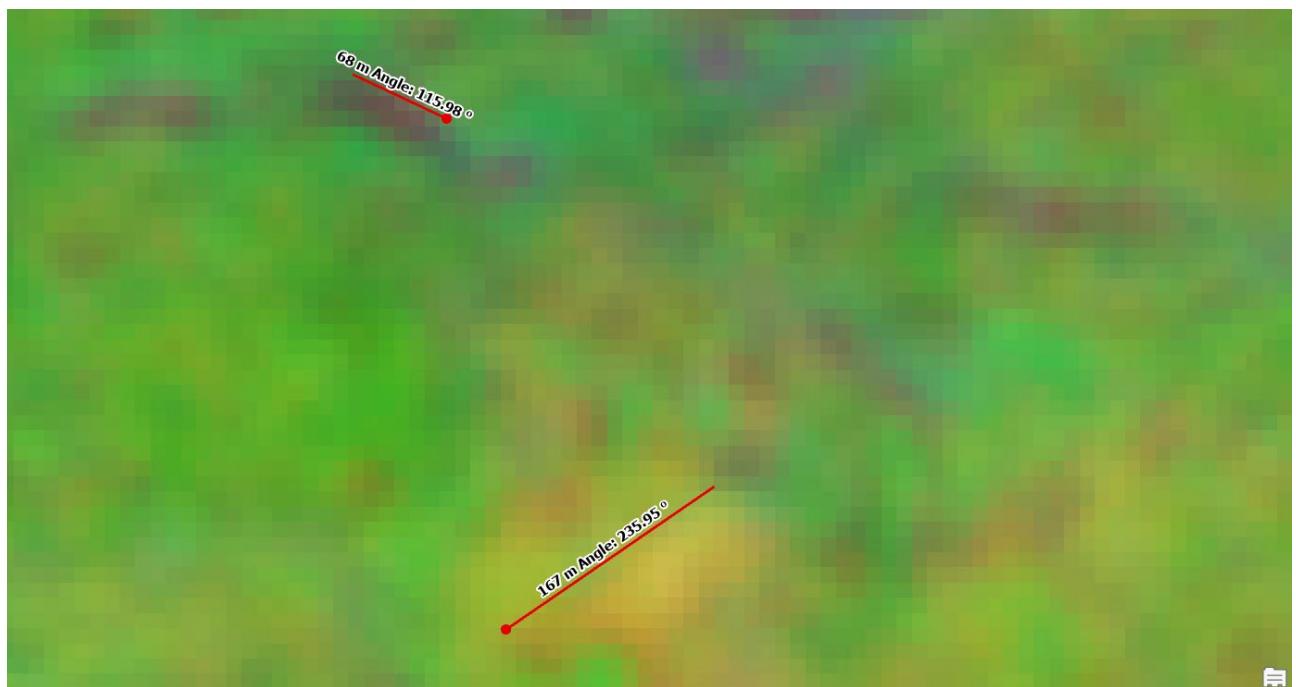
صورة ملقطة بالقمر الصناعي سينتال 2 في عام 2025 حيث تم استخراج الموقع والعمل عليه حيث عند مقارنة ما داخل الدائرة الحمراء سنلاحظ اختلاف التباين الطيفي قبل وبعد الاستخراج



Ali B.M.A



موقع العمل الجديدة بعد تطبيق تقنية نسب النطاق حيث ان اللون الأحمر: يبرز أكسيد الحديد الثلاثي (ferric iron oxides) مثل الهايماتيت أو الغوثيت، والتي تشير إلى مناطق متآكسدة أو ترببات ذهب علوية (supergene gold deposits) واللون الأصفر (مزيج أحمر + أخضر): يشير إلى مزيج بين أكسيد الحديد والتغيرات الفيللية، غالباً في مناطق انتقالية مرتبطة بالذهب.

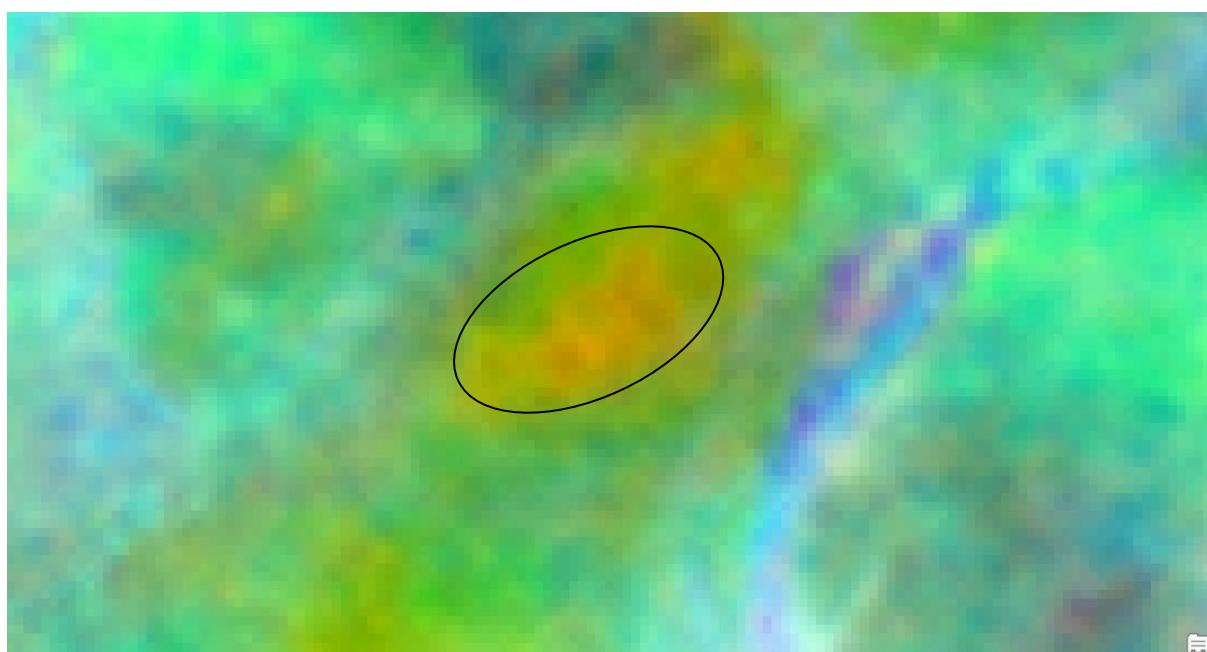


### 3.3.2 تحليل المكونات الرئيسية (PCA)

تستخدم لتقليل أبعاد البيانات الطيفية في صور Sentinel-2، مما يساعد في فصل الإشارات الطيفية المتعلقة بالتغييرات الهيدروحرارية وأكسيد الحديد المرتبطة بتمعدن الذهب. يتم تطبيق PCA (أو النسخة الموجهة - Directed PCA) على مجموعات مختارة من النطاقات لتعزيز التباين وكشف المناطق المعدنية في المناطق.

النطاقات المستخدمة الرئيسية:

- لكشف المعادن الحاملة للهيدروكسيل (OH-bearing minerals):

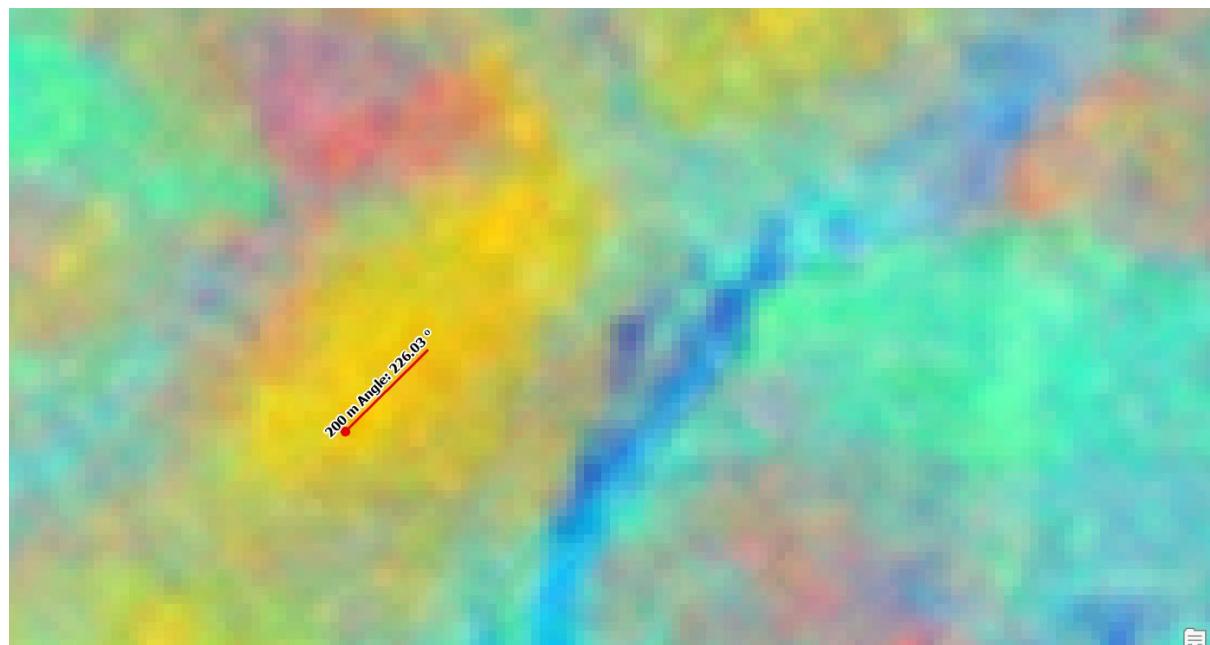


يبرز المعادن الحاملة للهيدروكسيل (مثل الكاولينيت، السيريسيت، الكلوريت، الإبيدوت)

Eigenvalues	
Eig. 1	0.077140
Eig. 2	0.000368
Eig. 3	0.000106
Eig. 4	0.000011

Ali B.M.A

• لكشف أكسيد الحديد (iron oxides):



Correlation	Band 1	Band 3	Band 8	Band 9
Band 1	1.000000	0.994619	0.990241	0.981139
Band 3	0.994619	1.000000	0.996555	0.987042
Band 8	0.990241	0.996555	1.000000	0.993486
Band 9	0.981139	0.987042	0.993486	1.000000
Eigenvectors	Band 1	Band 3	Band 8	Band 9
Eig. 1	0.308443	0.463518	0.622937	0.549512
Eig. 2	0.441677	0.482307	0.085491	-0.751660
Eig. 3	0.704049	-0.017248	-0.627945	0.331214
Eig. 4	-0.462708	0.743124	-0.458613	0.152780

Am B.M.A

### **3.3.3 تحول الحد الأدنى للضوضاء (MNF) – النتائج هنا تشبه PCA**

تقليل الضوضاء وتعزيز الإشارات الطيفية لتسليط الضوء على الصخور المعدلة.

### **3.3.4 نماذج التعلم الآلي**

- غابة عشوائية (Random Forest) لرسم خرائط الإمكانيات المعدنية (MPM).
- مدخلات: خرائط النسب، PCA، MNF، خطوط هيكلية، مسافة إلى الصدوع.
- تدريب: 25 نقطة ذهبية (قيمة 1) و 25 غير ذهبية (قيمة 0).
- تقييم: AUC، دقة تصنيف.

## **3.4 البرمجيات**

ENVI لمعالجة الصور.  
ArcGIS للتحليل المكاني.

## **3.5 النتائج**

أظهرت تطبيق التقنيات على صور Sentinel-2 وASTER تحديداً لمناطق محتملة للتمعدن الذهبي أدت نسب النطاقات في Sentinel-2 إلى تسليط الضوء على التغيرات الأرجيلية والفيلايكية بلون أحمر-أصفر، مع تركيز عالي في الصخور البركانية المتحولة تغطي 15% من المساحة. في ASTER، ساهمت نسب النطاق في كشف التغيرات البروبيليتية بلون أصفر، مضيفة 12% إضافية من المناطق المحتملة. أنتج PCA وMNF خرائط للمعادن الحاملة للهيروكسيل وأكسيد الحديد، بينما حقق نموذج Random Forest دقة 0.875% 88.7% من المناطق الذهبية في 11.5% من المساحة عند الدمج.

## **3.6 الخاتمة**

يقدم هذا البحث إطاراً احترافياً لكشف التمعدن الذهبي باستخدام Sentinel-2 وASTER، مع توصية بزيارات أرضية للمناطق المحددة للتحقق. يمكن توسيع النهج لمناطق أخرى في الدرع العربي النبوي، مما يساهم في الاستكشاف المستدام والفعال اقتصادياً.

