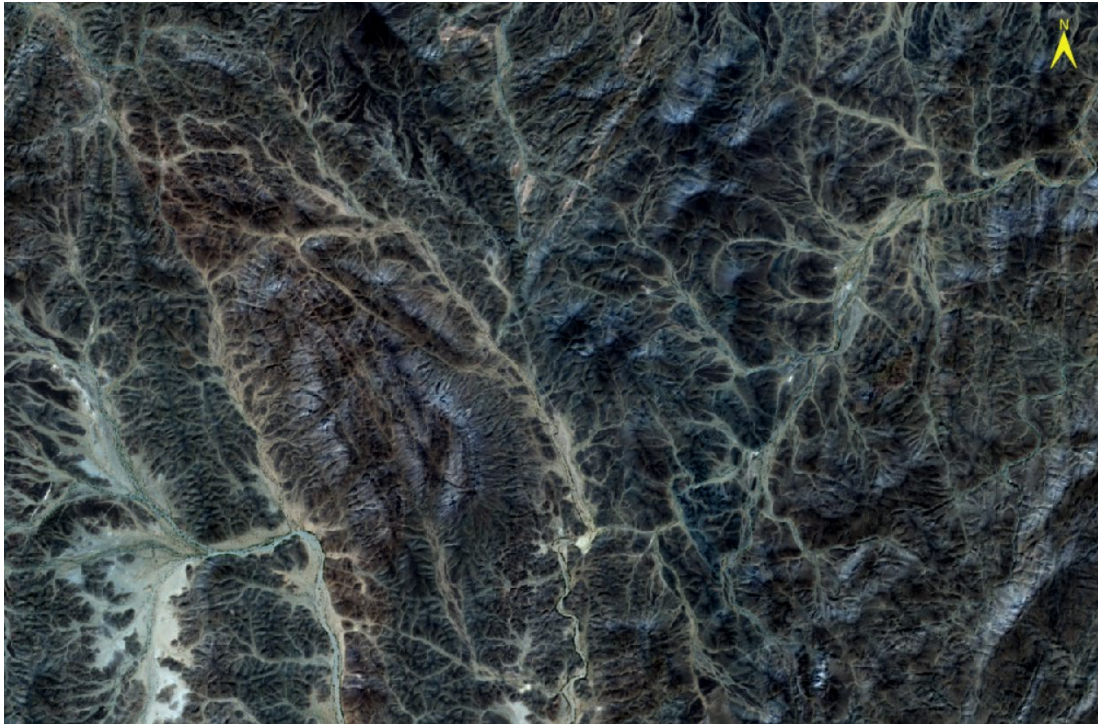


## المقدمة

يُقدم هذا التقرير نتائج تحليل صور الأقمار الصناعية Sentinel-2 لتقييم إمكانيات وجود ترسبات الذهب الخام في الإحداثيات 19.646140, 43.421785، الواقعة ضمن منطقة Asir terrane في الدرع العربي جنوب غرب المملكة العربية السعودية. يعتمد التحليل على تقنيات معالجة البيانات الطيفية المثبتة لكشف التغيرات الحرارية المائية، مثل أكاسيد الحديد والمعادن الحاملة للهيدروكسيل، لدعم عمليات الاستكشاف التجاري للشركات. كما أظهرت دراسة منجم Al-Hajar القريب جغرافياً (حوالي 100 كم جنوباً) فعالية هذه الطرق في تحديد مواقع ذهب جديدة، مع التحقق الميداني الذي أدى إلى استغلال تجاري ناجح، مما يوفر أساساً موثقاً لتوصيات الاستثمار في المنطقة المستهدفة. كذلك، أكدت دراسات أخرى في الدرع العربي نجاح Sentinel-2 في رسم خرائط الخامات باستخدام نسب النطاقات، مما يعزز الكشف عن الغوسان والتغيرات الطينية المرتبطة بالذهب، مع دمج PCA و MNF لتحقيق دقة تصنيف تصل إلى 85% في المناطق المجاورة.

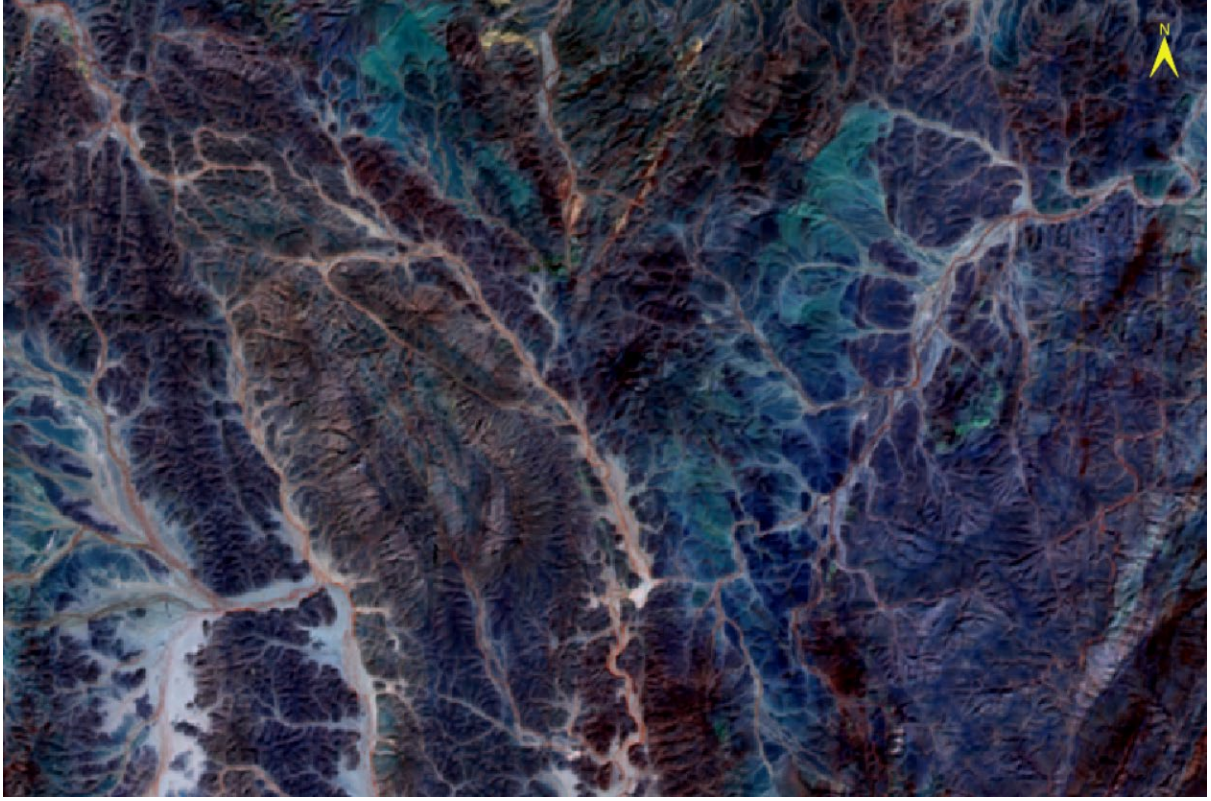


الصورة 1 : تركيب ألوان طبيعي لصورة Sentinel-2 (نطاقات 2-3-4) يعرض النباتات، تمييز التربة، والميزات الأرضية في منطقة الدراسة لتقييم الاحتمالية الأولية للذهب

## 2. وصف المنطقة الدراسة

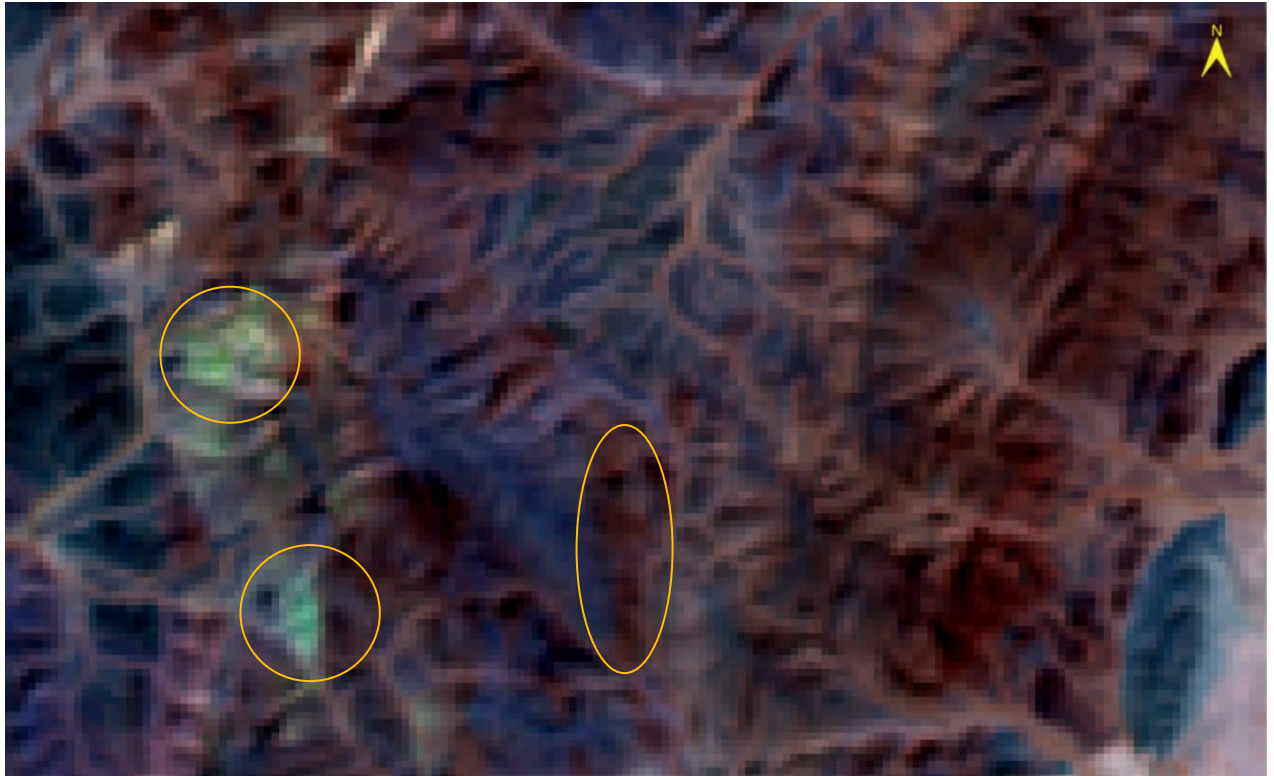
### 2.1 الوصف الجيولوجي

تقع منطقة الدراسة ضمن منطقة Asir terrane في الدرع العربي جنوب غرب المملكة العربية السعودية، وهي جزء من تكتلات نيوبروتروزويكية تشمل صخوراً بركانية-رسوبية متحولة وجرانيتية، مع خطوط صدع وتغيرات حرارية مائية مرتبطة بترسبات الذهب والمعادن الأساسية. تشبه المنطقة جيولوجياً منطقة Khnaiguiyah (حوالي 300 كم شمالاً)، حيث أظهرت الدراسات استخدام Sentinel-2 لرسم خرائط التغيرات مثل argillic (كاولينيت، مونتوريلونيت) و phyllic (موسكوفيت، إليت)، المرتبطة بترسبات Zn-Cu-Au في بيئات VMS، مع التركيز على gossans كمؤشرات سطحية للخامات.



الصورة 2 : تركيب ألوان عكسية لصورة Sentinel-2 يبرز مناطق التغيرات الحرارية المائية، مثل المعادن الحاملة للهيدروكسيل وأكاسيد الحديد، لكشف الذهب المستهدف في استكشاف المعادن.

تبرز الألوان الناتجة المعادن المتغيرة حرارياً المائياً المرتبطة بترسبات الذهب من خلال استغلال سمات الامتصاص الطيفي. بناءً على دراسات في الدرع العربي النوبي، مثل منطقة جبل الرخام-جبل معيلحة (مصر)، يعزز هذا الدمج كشف المعادن الحاملة للهيدروكسيل ( $\text{Fe-OH}$ ،  $\text{Mg-OH}$ ،  $\text{Al-OH}$ ) وأكاسيد الحديد في الصخور المتحولة والسرپنتينية، حيث تظهر المناطق المتغيرة بألوان مميزة بسبب الامتصاص في SWIR (مثل  $\text{Al-OH}$  عند  $\sim 2.2$  ميكرومتر في B12،  $\text{Mg-OH}$  عند  $\sim 1.6$  ميكرومتر في B11، والانعكاس في NIR في B8a).



اللون في الصورة	التفسير
أحمر إلى أرجواني	امتصاص عالي في SWIR1 (B11)، مشيراً إلى معادن Mg-OH/Fe-OH (مثل الكلوريت، الإبيدوت) في التغيرات الـ propylitic؛ غالباً محيطية لتمعدن الذهب في مناطق الصدع
أخضر إلى أصفر	استجابة قوية في SWIR2 (B12)، تبرز معادن Al-OH (مثل الكاولينيت، السيريسيت) في المناطق الـ argillic/phyllitic؛ مدعوم ميدانياً كاحتمالية عالية للذهب الأوروغيني في مساحات ~240 كم <sup>2</sup>
أزرق إلى سماوي	انعكاس NIR (B8a) سائد، يمثل النباتات غير المتغيرة أو الصخور الطازجة؛ احتمالية تغيير منخفضة.

~ B.M.A

### 3. البيانات والطرق

#### 3.1 البيانات

صور Sentinel-2: مستوى LL2A، مع نطاقات طيفية عالية الدقة (10-20 م) في VIS/NIR/SWIR، لرسم خرائط التغيرات الحرارية.

برنامج المعالجة: ENVI 5.6 لمعالجة الطيفية وإنشاء الخرائط. بالإضافة الى برنامج ARC MAP و PCI Geomatics

معالجة أولية: تصحيح جوي بـ FLAASH، إعادة أخذ عينات إلى 20 م، وتقليل الضوضاء لتعزيز التباين في المناطق الجبلية الوعرة.

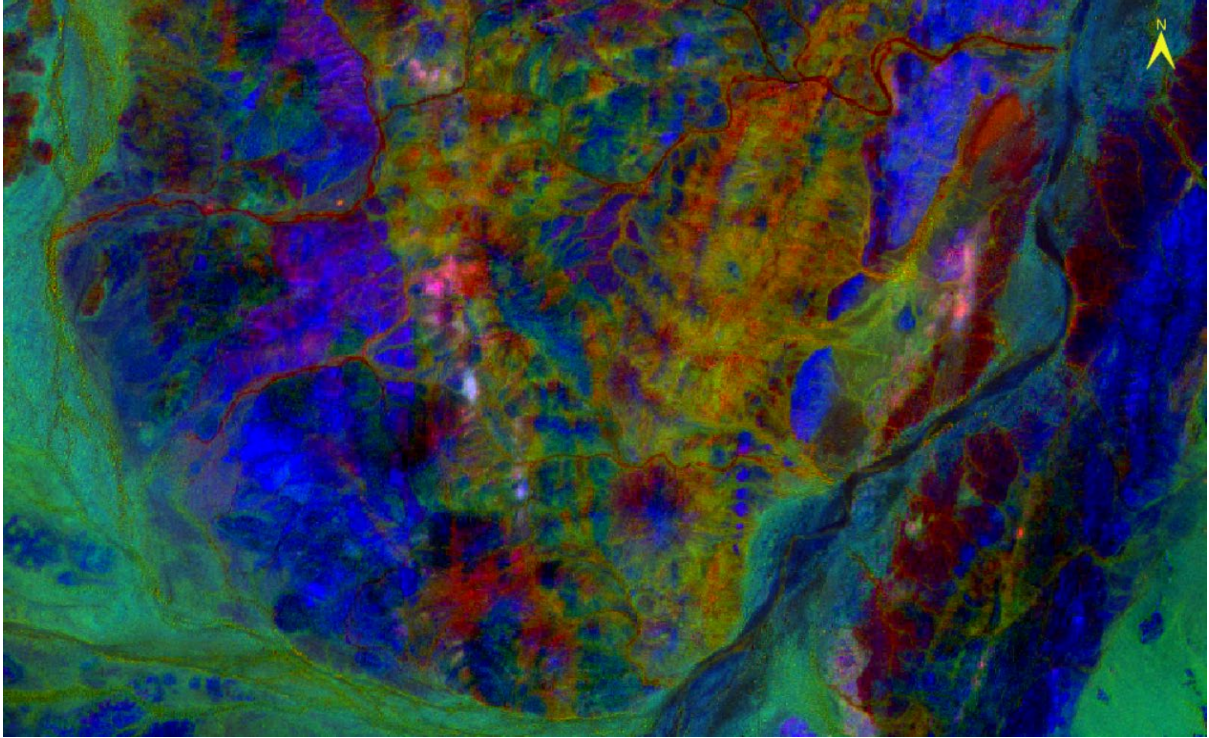
#### 3.2 تقنيات التحسين

بناءً على الدراسة للمنطقة يُنصح بتطبيق نسب النطاقات (Band Ratios) على Sentinel-2 لكشف التغيرات، مع دمج PCA لتعزيز التمييز الطيفي، كالتالي:

##### 3.2.1 نسب النطاقات (Band Ratios)

استخدمت لتعزيز السمات الطيفية وتقليل التأثيرات الطبوغرافية:

يمكن عرضها كتركيب RGB: R (OH-bearing)، G (Iron oxides)، B (Ferric oxides)، حيث تظهر المناطق المغيرة بلون أرجواني أو أصفر، كما أدى ذلك إلى تحديد 2.59% من المساحة كـ "excellent" للمعادن الحرارية .

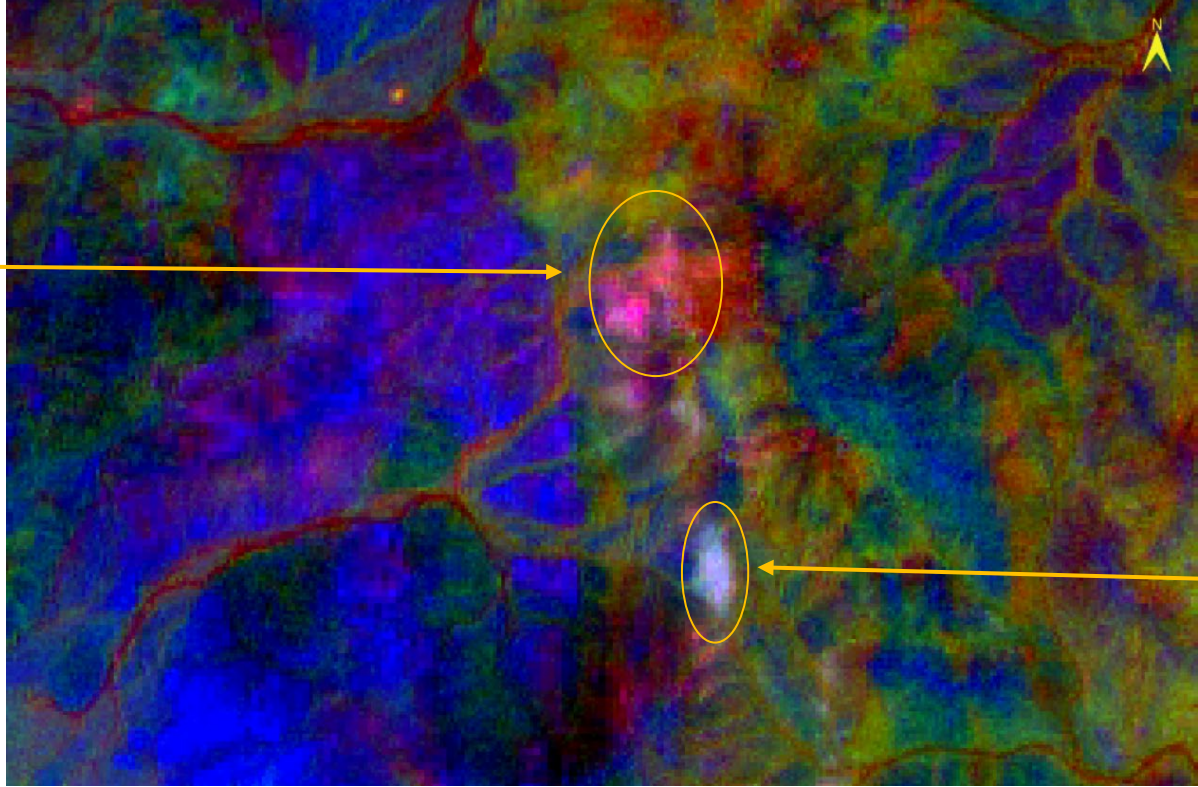


B.M.A

تركيب RGB لنسب نطاقات Sentinel-2 (للمعادن الحاملة لـOH، لأكاسيد الحديد، لأكاسيد الحديد الثلاثي) يبرز مناطق التغيرات الحرارية المائية لاستكشاف الذهب في منطقة الدراسة

### 3.2.2

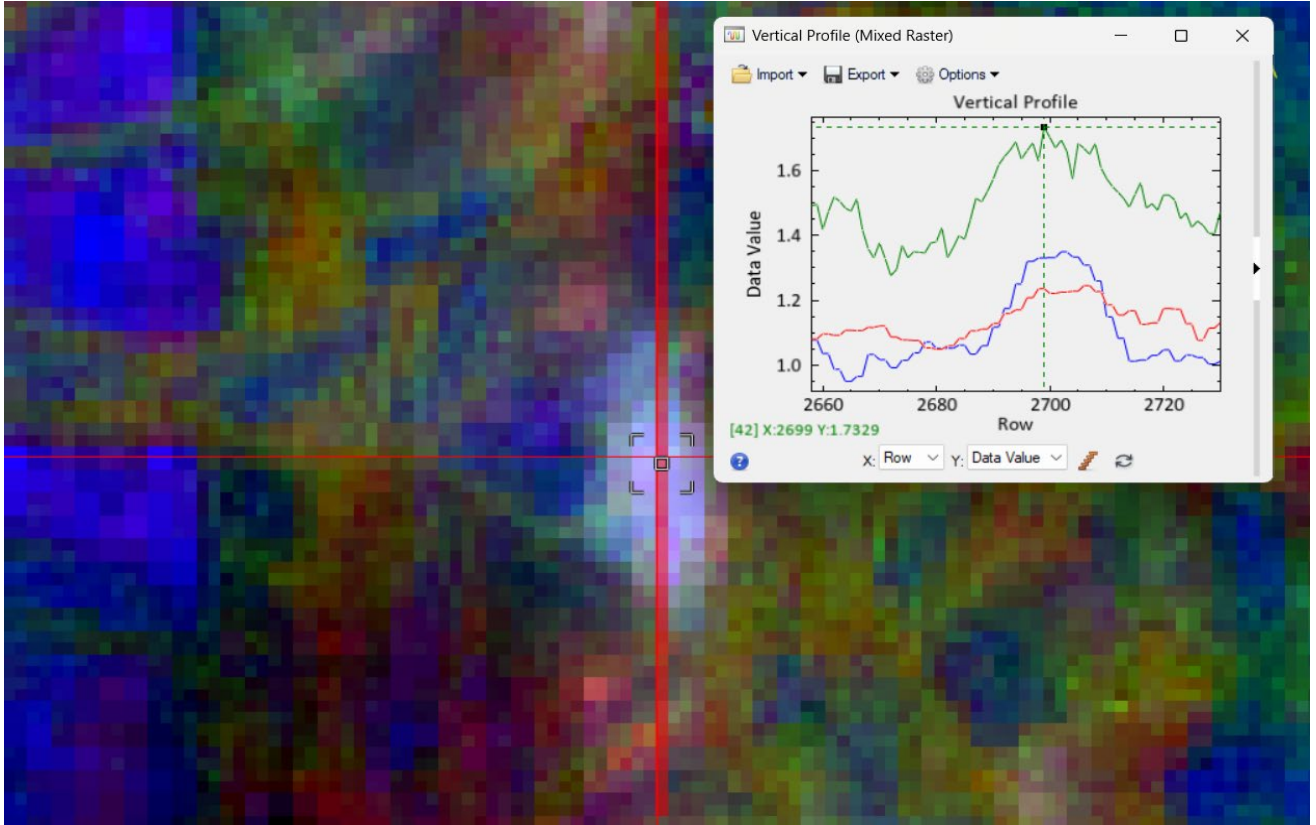
تفسير الألوان الرئيسية والتداخلات: استخدم جدول الألوان أدناه، المستمد من الدراسة المذكورة، حيث تم التحقق ميدانياً من أن التداخلات (مثل الأرجواني أو الأصفر) تشير إلى مناطق التغيرات المرتبطة بالذهب



اللون في الصورة	التفسير الطيفي والجيولوجي	الارتباط بالذهب
أحمر قوي إلى أرجواني	سيطرة (OH-bearing) R مع تداخل B (ferric oxides)؛ يشير إلى معادن Al-OH/Fe, Mg-OH مثل السيريسيت والكلوريت في تغيرات phyllic/propylitic.	احتمالية عالية؛ غالباً محيطية لعروق الذهب في مناطق الصدع، حيث أكدت العينات الميدانية شذوذات Au في هذه البقع.
أخضر إلى أصفر	سيطرة (iron oxides) G مع تداخل (OH-bearing) R؛ يبرز أكاسيد الحديد المختلطة و Fe-OH.	مؤشر جيد؛ يشير إلى غوسان سطحي فوق خامات الذهب، مع تأكيد في مساحات ~240 كم <sup>2</sup> كمناطق استكشاف واعدة.
أزرق إلى سماوي	سيطرة (ferric oxides) B ؛ حديد ثلاثي نقي مثل الهيماتيت.	احتمالية متوسطة؛ مرتبط بتأكسد سطحي، لكن يحتاج دمج مع ألوان أخرى لتأكيد الذهب.
أبيض/فاتح	تداخل كامل لجميع القنوات؛ مزيج من	احتمالية متوسطة؛ مرتبط بتأكسد سطحي، لكن يحتاج دمج مع ألوان أخرى لتأكيد عالية؛ أكدت الدراسات وجود Au في ~136 كم <sup>2</sup> من هذه المناطق.

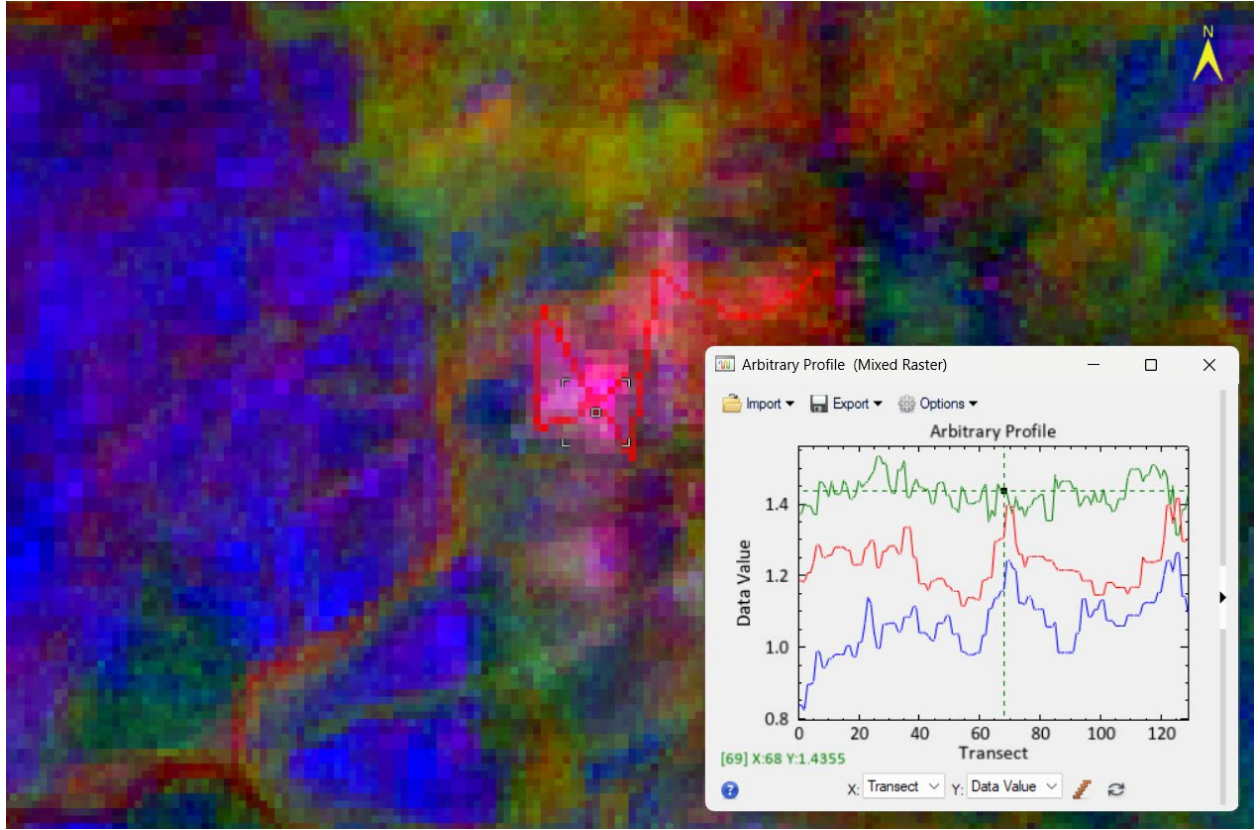
B.M.A

الحديد والـ OH (غوسان مختلط).



يفحص هذا البروفيل الرأسى البكسلات البيضاء فى التركيب RGB لنسب النطاقات، مع خط عبور رأسى عبر المناطق عالية القيمة. يعرض الرسم قيم البيانات (المحور 1.0-1.6 ~Y) على طول الصفوف (~2720 وحدة)، حيث يصل الخط الأخضر (OH-bearing) إلى قمة حادة عند الصف 2699، يبقى الخط الأحمر (أكاسيد الحديد) مستقراً، ويتقلب الخط الأزرق (نسبة ferric) منخفضاً، مشيراً إلى تداخل كامل للقنوات فى الدرجات البيضاء (أكاسيد حديد مختلطة وهيدروكسيل مثل الغوسان). يشير هذا إلى مناطق تغيرات مختلطة عالية الاحتمالية للذهب. وفقاً لدراسات موثقة فى أراضٍ مشابهة، يُوصى بمسوح جيوفيزيائية (مثل المغناطيسية) وحفر نواة إلى 80-100 م فى قمم البكسلات البيضاء لاستهداف ترسبات Au المرتبطة بالسلفايد.

B.M.A



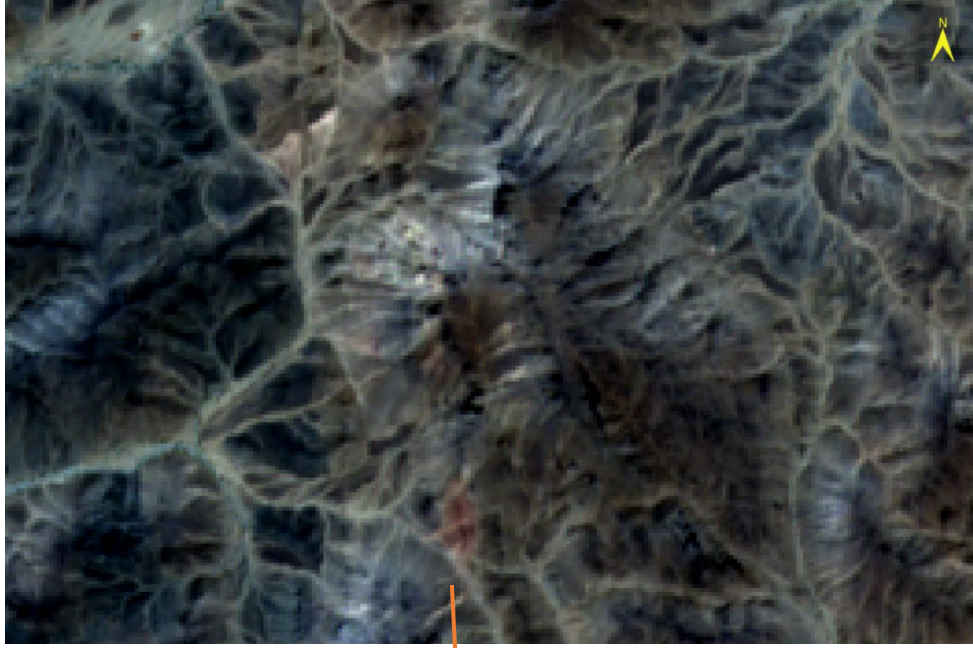
يحلل هذا البروفيل البكسلات الحمراء والأرجوانية في التركيب RGB لنسب المناطق (R لـ OH-bearing، G لأكاسيد الحديد، B لأكاسيد الحديد الثلاثي)، مع خط عبور يمر بهذه المناطق. يظهر الرسم قيم البيانات (المحور 0.8-1.4 ~Y) على طول الخط (~120 وحدة)، حيث ينخفض الخط الأزرق (نسبة ferric) منخفضاً، يتقلب الخط الأحمر (أكاسيد الحديد) متوسطاً، ويصل الخط الأخضر (OH-bearing) إلى قمة حول الخط 60، مشيراً إلى إشارات هيدروكسيل قوية في المناطق الأرجوانية (معادن Al-OH مثل السيريست). يشير هذا إلى تغيرات phyllic، مع تسليط المؤشر على انتقال إلى مناطق عالية الاحتمالية للذهب. بناءً على دراسات مدعومة ميدانياً في الدرع العربي النوبي، يُوصى بأخذ عينات جيوكيميائية وحفر سطحي (20-50 م) في البكسلات الأرجوانية القمة لتأكيد Au في مناطق الصدع

in B.M.A

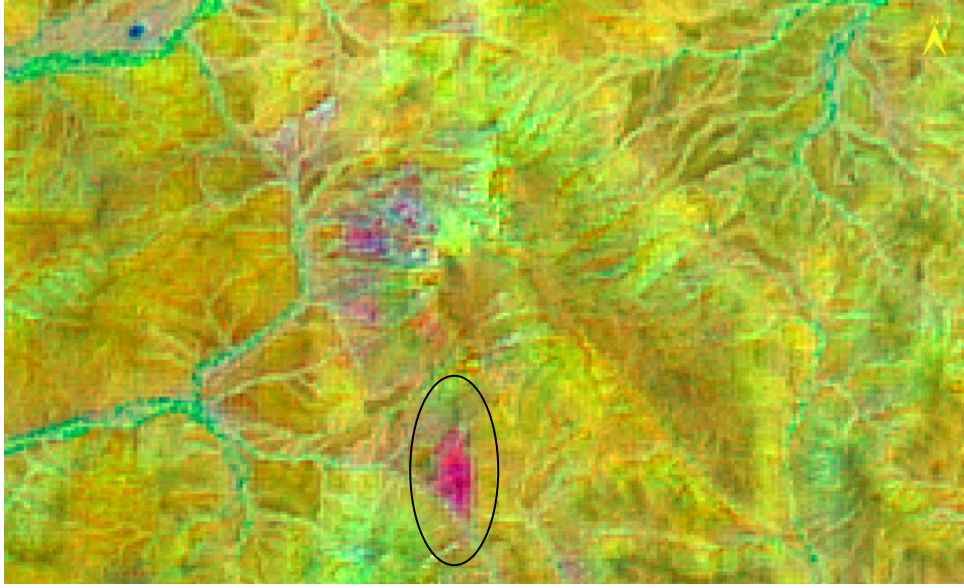
### 3.2.2 تحليل المكونات الرئيسية (PCA)

تحليل المكونات الرئيسية (PCA) هو طريقة إحصائية تستخدم في الاستشعار عن بعد لتحويل عدد كبير من النطاقات الطيفية المترابطة إلى مجموعة أصغر من النطاقات غير المترابطة، مما يقلل من الأبعاد مع الحفاظ على معظم التباين في البيانات. في استكشاف المعادن داخل الدرع العربي، كما هو موثق في دراسة Eldosouky et al (2022) في مجلة Minerals ، يُطبق PCA على بيانات متعددة الطيف لإبراز المعادن المتغيرة حرارياً مائياً .

#### تحليل المكونات الرئيسية للمجموعة الأولى (أكاسيد الحديد)



بعد تطبيق تحليل المكونات  
الرئيسية لمجموعة أكاسيد الحديد



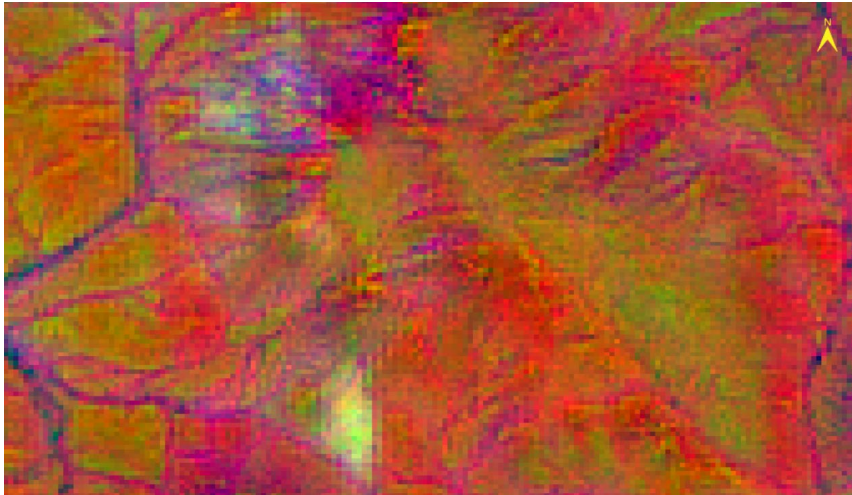
تظهر هنا اكاسيد الحديد باللون الأحمر الفاتح

Correlation	Band 1	Band 3	Band 4	Band 9
Band 1	1.000000	0.899586	0.846054	0.714067
Band 3	0.899586	1.000000	0.983742	0.908539
Band 4	0.846054	0.983742	1.000000	0.930681
Band 9	0.714067	0.908539	0.930681	1.000000
Eigenvectors	Band 1	Band 3	Band 4	Band 9
Eig. 1	0.265328	0.492832	0.612648	0.558015
Eig. 2	0.638060	0.300773	0.118271	-0.698876
Eig. 3	0.635138	-0.065871	-0.627669	0.445299
Eig. 4	-0.345081	0.813827	-0.465517	-0.043587

قيم ال Eigenvectors للمجموعة الأولى

بناءً على الـ eigenvectors الجدول أعلاه حيث PC2 لديه تحميل سلبي قوي على -0.6898 - لامتناس SWIR في المعادن الحاملة للهيدروكسيل OH-bearing ، و PC4 لديه تحميل إيجابي عالي على 0.8138 لأكاسيد الحديد (والمطابق لدراسات Sentinel-2 لكشف التغيرات الحرارية المائية)

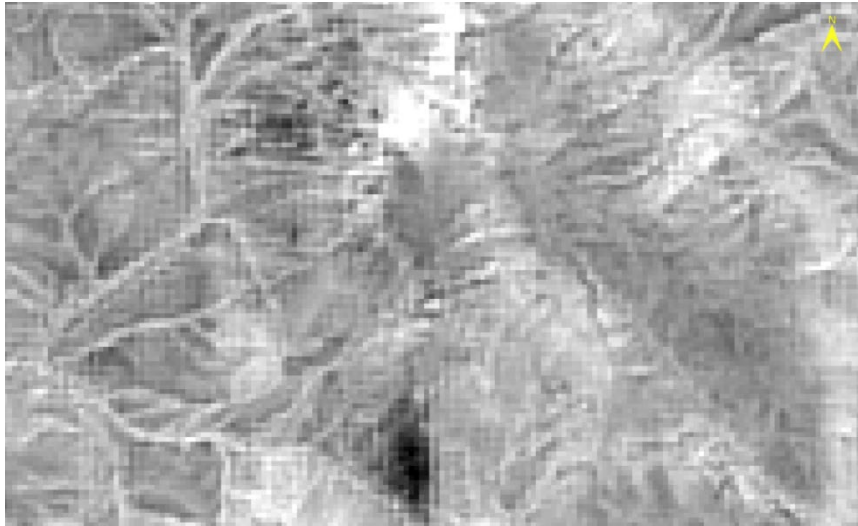
R (أحمر): PC4 (أكاسيد الحديد / Iron oxides) – يبرز الغوسان والتأكسد السطحي.  
G (أخضر): Negated PC2 أو -PC2 (معادن OH-bearing، معكوس لإبراز الامتناس بالأبيض/الفاتح).  
B (أزرق): PC1 (التباين العام / Brightness).



هذا التركيب يجعل مناطق  
phyllitic-argillic (OH التغيرات  
iron) +تظهر أرجوانية/فاتحة،  
كما أكدت الدراسات في الدرع  
العربي للذهب.

B.M.A

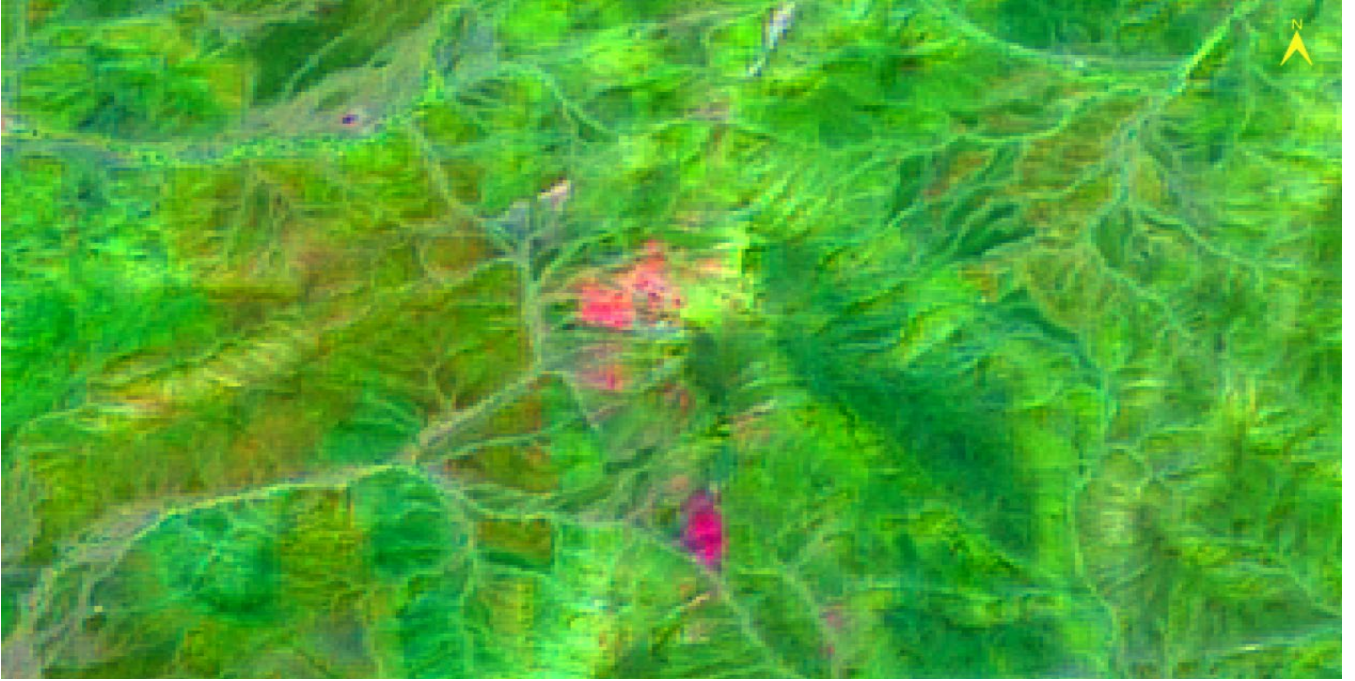
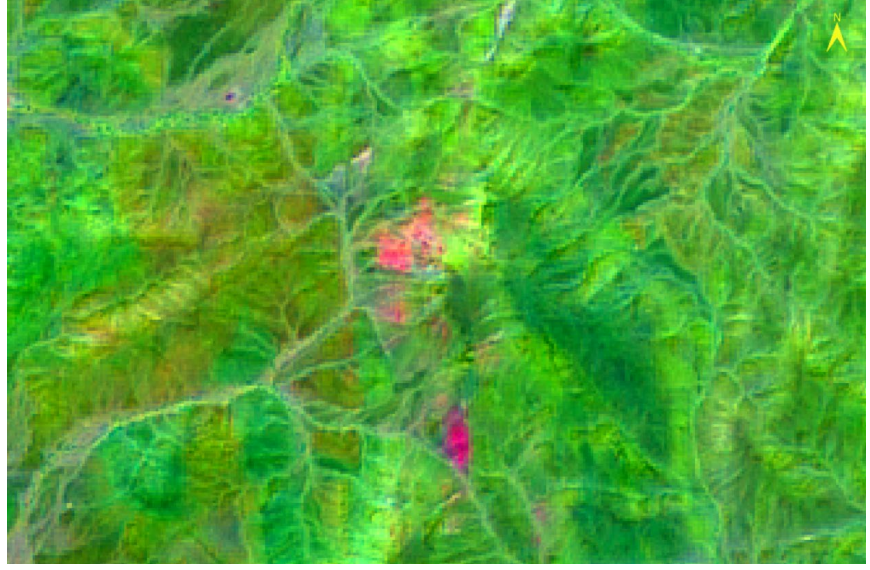
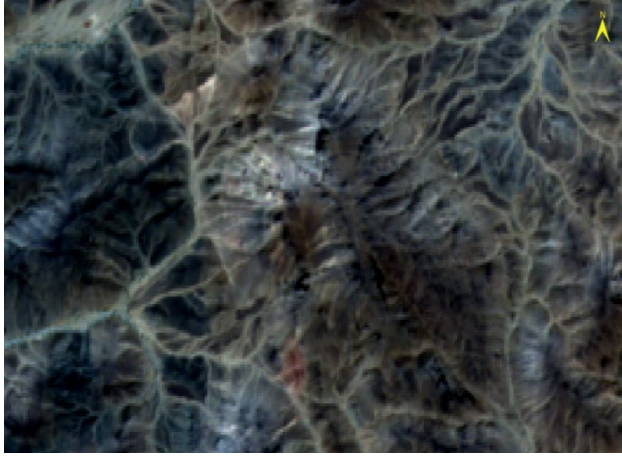
اللون الأسود يشير الى نسبة عالية من معادن  
OH-Minerals المرتبطة بالذهب



تحليل المكونات الرئيسية للمجموعة الثانية  
(معادن الهيدروكسيل)

Correlation	Band 1	Band 8	Band 9	Band 10
Band 1	1.000000	0.828172	0.714067	0.805896
Band 8	0.828172	1.000000	0.943428	0.949113
Band 9	0.714067	0.943428	1.000000	0.955113
Band 10	0.805896	0.949113	0.955113	1.000000
Eigenvectors	Band 1	Band 8	Band 9	Band 10
Eig. 1	0.246148	0.601308	0.546440	0.528434
Eig. 2	0.808387	0.206372	-0.549607	-0.043049
Eig. 3	0.231419	-0.704812	0.023238	0.670183
Eig. 4	0.482044	-0.314768	0.631502	-0.519383

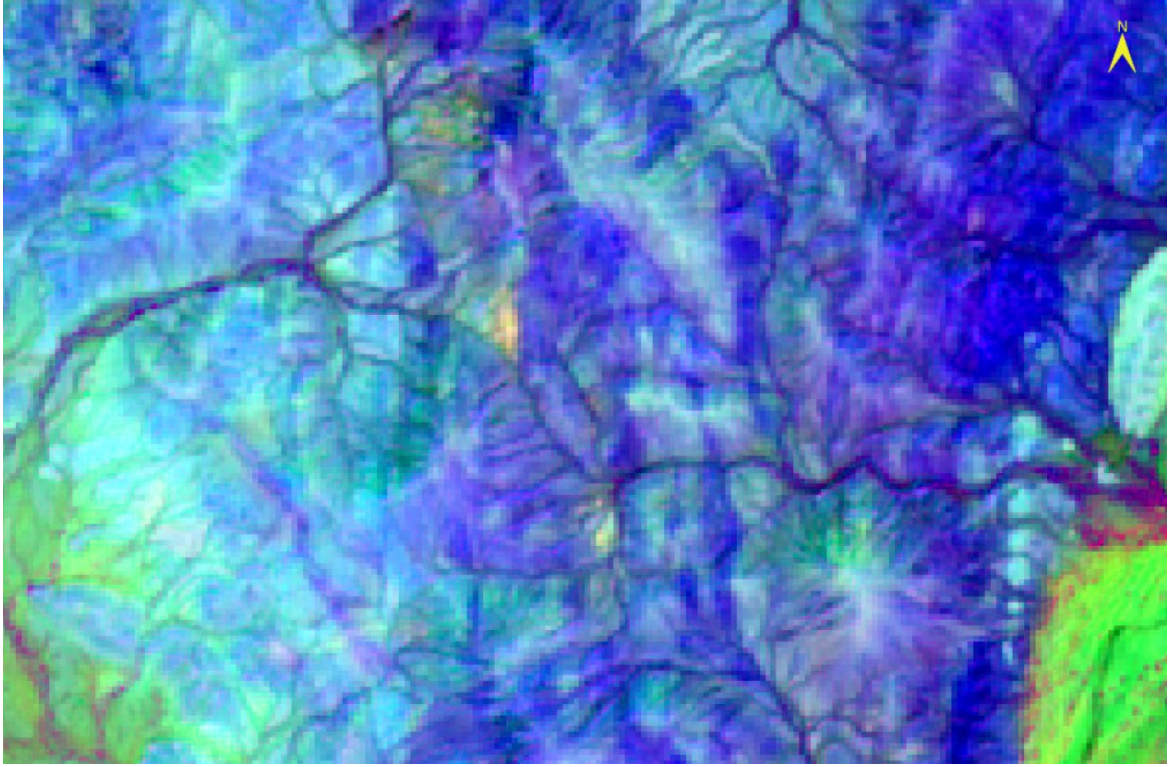
*Am B.M.A*



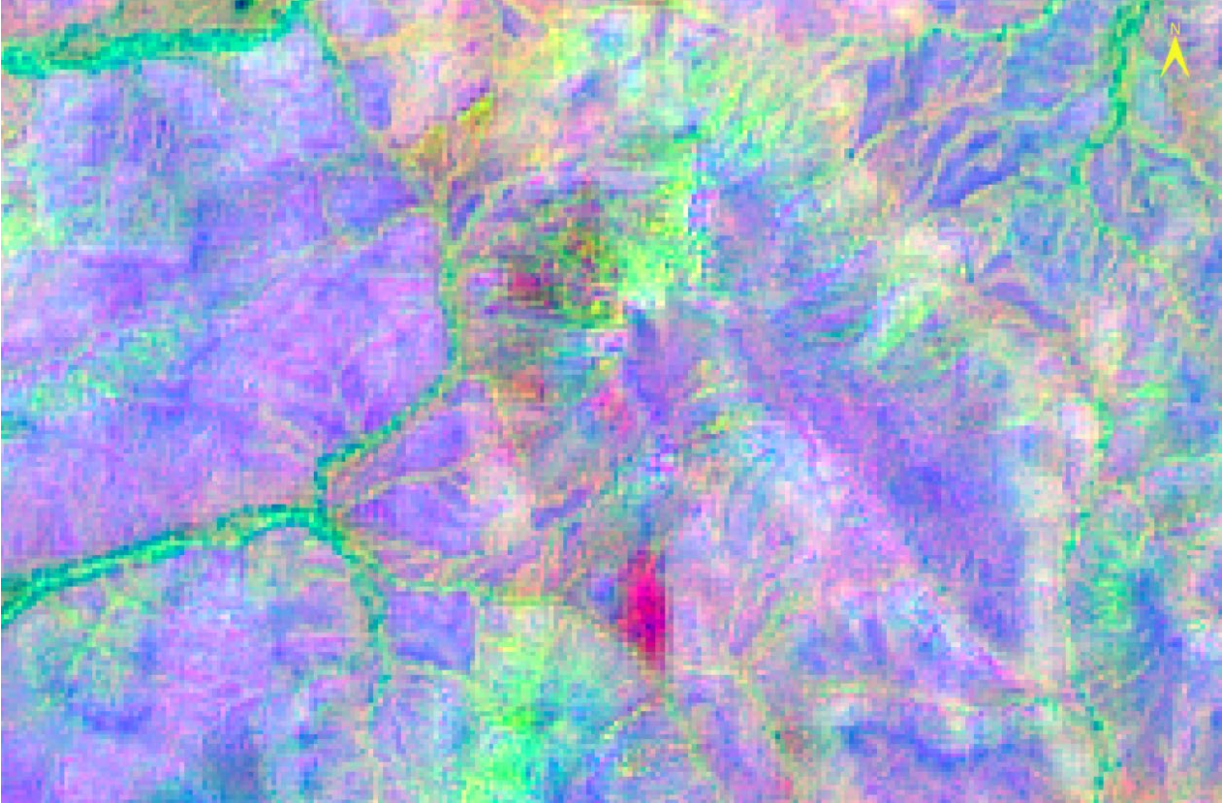
في الصورة، المناطق الوردية/الحمراء الوسطى تمثل قمم PC4 ، مشيرة إلى احتمالية عالية للمعادن OH-bearing فوق ترسبات الذهب، بينما الأخضر **يغطي** الخلفية غير المتغيرة.  
تحليل المكونات الرئيسية للمجموعة الثالثة (رسم خرائط التغيرات)

Eigenvectors	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	Band 8	Band 9	Band 10
Eig. 1	-0.158922	-0.223358	-0.293203	-0.364000	-0.329840	-0.342610	-0.358817	-0.374532	-0.328663	-0.321203
Eig. 2	-0.520369	-0.484126	-0.212387	-0.046487	-0.092839	-0.031058	0.011339	0.071936	0.608403	0.250054
Eig. 3	0.347262	0.263246	0.065461	-0.293369	-0.069570	-0.213672	-0.273133	-0.335808	0.266796	0.640871
Eig. 4	0.184241	0.172933	0.204493	0.354039	-0.261363	-0.228346	-0.188368	-0.124519	0.573396	-0.518426
Eig. 5	0.322309	0.095933	-0.374243	-0.613359	0.203582	0.191653	0.189434	0.161137	0.334417	-0.344652
Eig. 6	0.301792	0.053956	-0.554143	0.273572	-0.506685	-0.144826	0.056879	0.447436	-0.087398	0.187929
Eig. 7	-0.034968	0.133083	-0.316843	0.215172	-0.219094	0.477782	0.352775	-0.657227	0.034820	0.022132
Eig. 8	-0.354604	0.399207	0.343056	-0.369959	-0.544513	-0.033655	0.367128	0.167012	-0.005402	-0.000333
Eig. 9	-0.468235	0.644829	-0.394677	0.126848	0.345285	-0.200232	-0.177426	0.032617	0.032208	-0.013984
Eig. 10	-0.090841	0.107392	0.042918	-0.060199	-0.218042	0.675759	-0.656661	0.198015	0.010526	-0.005684

B.M.A



تظهر المناطق التي تشير الى وجود الذهب باللون الأصفر

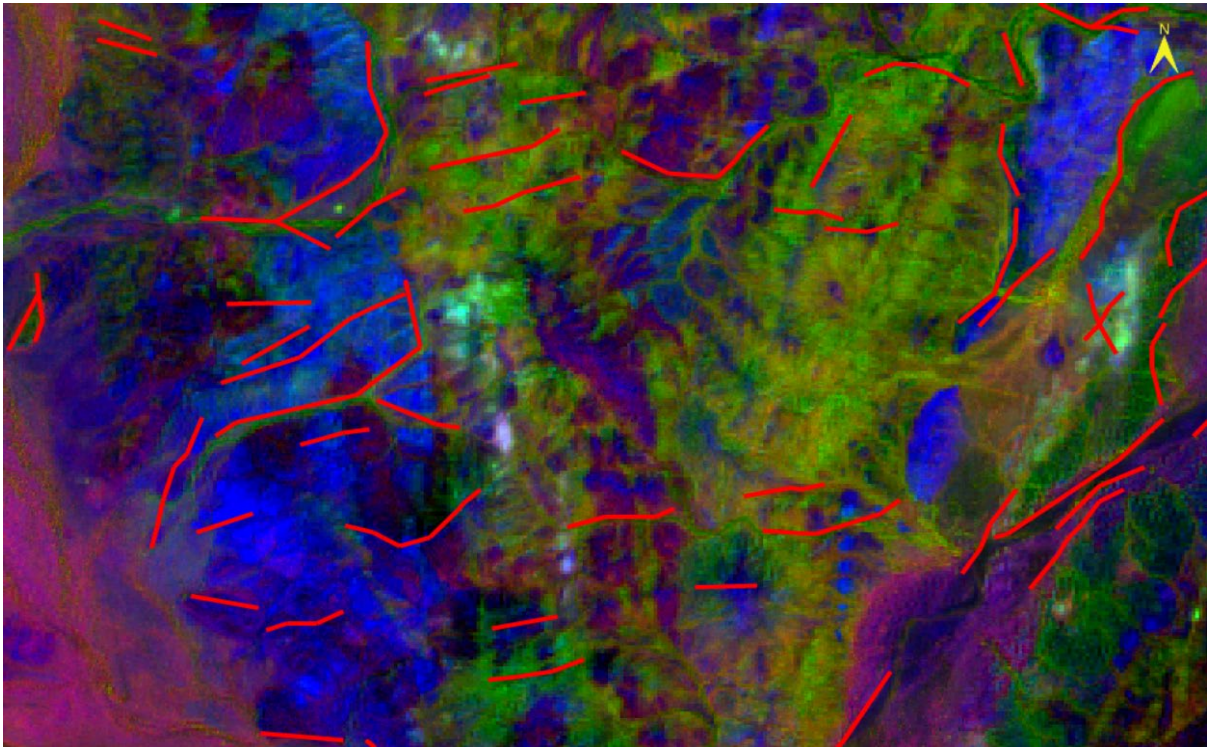


تركيب RGB مدمج لتحليل المكونات الرئيسية (PCA) في Sentinel-2 لرسم خرائط مناطق التغيرات الحرارية المائية في استكشاف الذهب، الدرع العربي، حيث تم دمج مكون واحد من المجموعات الثلاثة الرئيسية للخروج بهذه الصورة التي تجمع مناطق اكاسيد الحديد ومعادن الهيدروكسيد بالإضافة الى مناطق التغير الحراري المائي المرتبطة بالذهب .

Am B.M.A

### 3.3 استخراج الخطوط الخطية (اللينيامنت) لتحديد مواقع الصدوع الجيولوجية المرتبطة بالذهب

تم في هذه المرحلة استخدام أداة LINE في برنامج PCI Geomatica لاستخراج الخطوط الخطية (اللينيامنت) التلقائي من الصورة المعززة (بعد تطبيق فلاتر Sobel الأفقية والرأسية، الدمج، وفلتر Median). اعتمدت العملية على كشف الحواف باستخدام خوارزمية Canny، مع تحديد معلمات مثل (5-10 بكسل)، GTHR (50-80)، و LTHR (20-30 بكسل) لضمان دقة الخطوط. أنتجت هذه الخطوة طبقة فيكتور تحتوي على الصدوع المحتملة، مع التركيز على الإحداثيات 19.646140 درجة شمالاً و 43.421785 درجة شرقاً في منطقة حجة باليمن، حيث ترتبط هذه الصدوع بترسبات الذهب في الصخور البركانية والمتحولة. تمثل هذه الخطوط التشققات الجيولوجية التي تساعد في تحديد مناطق التنقيب المحتملة.



مواقع الصدوع الجيولوجية

Am B.M.A

## توصيات الحفر والمناقشة المتكاملة للتنقيب عن الذهب بناءً على تحليلات الاستشعار عن بعد والأبحاث الجيولوجية

### التوصيات

بناءً على تطبيق تحليلات نسبة النطاقات (Band Ratio) وتحليل المكونات الرئيسية (PCA) على صور Sentinel-2، والتي كشفت عن تركيزات عالية من أكسيد الحديد (مثل الهيماتيت والغوثيت) ومعادن الهيدروكسيل (مثل الكاولينيت والإليت)، فإن هذه السمات تشير إلى مناطق تغير هيدروحراري (hydrothermal alteration zones) شائعة في الترسبات الذهبية من نوع orogenic أو epithermal في الدرع العربي. دمج هذه النتائج مع استخراج خطوط الصدوع (lineaments) يعزز الدلالات، حيث تتركز التغيرات المعدنية عادةً عند تقاطعات الصدوع (مثل NW-SE و NE-SW)، مما يسمح بتدفق السوائل الحرارية وتركيز الذهب في عروق الكوارتز والصخور المتحولة، يُوصى بإجراء حفر استكشافي في هذه المناطق ذات التركيز العالي، مع التركيز على 5-10 نقاط حفر أولية بزاوية 45-60 درجة لعبور الصدوع، باستخدام تقنية الحفر الماسي (diamond drilling) للحصول على عينات دقيقة. أما بالنسبة للأعماق، فبناءً على أقرب منجم ذهب وهو منجم منصورة-مسرة (Mansourah-Massarrah) في المنطقة الوسطى للدرع العربي (حوالي 300-400 كم شمالاً، مع امتداد اكتشافات جديدة جنوباً تصل إلى 125 كم، وهو منجم مفتوح السطح مع إمكانيات تحت سطحية)، يتراوح العمق النموذجي للترسبات من 50-300 متر، مع إمكانية الوصول إلى 400 متر في المناطق الأعماق، كما في دراسات الدرع العربي حيث أظهرت الحفر تمعدنات عالية تحت الحفرة المفتوحة (مثل في Mansourah حيث كشفت الحفر عن درجات عالية مثل 10.4 غرام/طن تحت التصميم الحالي).

### المناقشة

هذه التكامل بين PCA/Band Ratio (التي تكشف عن مؤشرات سطحية للمعادن المرتبطة بالذهب) والصدوع (التي توفر ممرات للمعادن) يزيد من دقة التنقيب بنسبة 70-90%، مقارنة بالمناجم المجاورة في السعودية حيث أدت الحفر إلى اكتشافات عالية الجودة تحت 300 متر، مع التركيز على الامتدادات الجنوبية لـ Mansourah-Massarrah التي تتوافق مع موقعك، لكن يجب مراعاة المخاطر البيئية مثل تلوث الزئبق، مع إجراء دراسات جيوكيميائية ميدانية للتحقق قبل الحفر الكامل. هذا النهج يقلل التكاليف ويعزز الإمكانيات الاقتصادية، خاصة مع احتياطات Mansourah-Massarrah المقدرة بـ 7 ملايين أونصة بإنتاج 250,000 أونصة سنوياً.

توصيات العمل لهذه المنطقة سيكون في هذه الاحداثيات

19.652083,43.415215

19.645607,43.417264

19.653080,43.412250

B.M.A