

مؤسسة خالد بن سلطان للحفاظ على الحياة البحرية في المحيطات
أطلس الموائد البحرية للبحر الأحمر السعودي

أندرو بروكسر، جوليغ رولاندز، بيرناردو ريجال، ساح بوركيس، أماندا ويليامز، فيليب رينو



Khaled bin Sultan

Living Oceans
Foundation

مؤسسة خالد بن سلطان للحفاظ على الحياة البحرية في المحيطات

أطلس الموانئ البحرية للبحر الأحمر (السعودي)

أندرودروكتر، جوليغ رولاندز، بيرنارو ريجال، ساح بوركيس، أماندرا ويليامز، فيليب رينو

ترجمة: د. ماهر عبد العزيز عامر

مراجعة: أ.د. عبد العزيز حامد أبو زناوة



الغلاف الأمامي: صورة جوية لجزء من جزر فرسان. تصوير هيرب ريبيلي

الغلاف الخلفي: صورة جوية للجزر القريبة من الشاطئ في ضفة الوجه. تصوير SpecTIR

مؤسسة خالد بن سلطان للمحافظة على الحياة البحرية في المحيطات
8181 بروفيشينال بليس، لاندوفر، ميريلاند 20785، الولايات المتحدة الأمريكية
<http://www.livingoceansfoundation.org>

تم النشر بواسطة بانوراميك بريس، فينيكس أريزونا، الولايات المتحدة الأمريكية

الطبعة الأولى للنسخة الإنجليزية ديسمبر 2011

© أندرو بروكنر، جوليم رولاندز، بيرنارد ريجال، سام بوركيس، أماندا ويليامز، فيليب رينو

حقوق الطبع محفوظة لهذا الأطلس. لا يجوز نسخ أي جزء منه دون الحصول على إذن خطي من مؤسسة خالد بن سلطان للمحافظة على الحياة البحرية في المحيطات.

ويعتقد أن المعلومات الواردة في هذا الأطلس صحيحة ودقيقة في وقت الطباعة ولكن المؤلفين ومؤسسة خالد بن سلطان غير مسؤولين قانونياً عن أية أخطاء .

الخرائط في هذا الأطلس لا تصلح لاستخدامها في الملاحة.

قام بتصميم النسخة الإنجليزية من هذا الأطلس د. أندرو بروكنر وكتبها شركة أرت ويب.

صور الشعاب المرجانية مأخوذة من أنيليز هاجان (جزر فرسان، رأس قصبه، وبعض مناطق ينبع) ومن أندرو بروكنر (الوجه وينبع، وضة فرسان). والصور الأرضية مأخوذة من قبل كل من بيرنه و أندرو بروكنر و ورولاندر جوليم. والخرائط الأرضية الأصلية والمستخدمه في وضع خرائط الموائل وخرائط الأعماق مأخوذة من:

ESRI, i-cubed, USFSA, USGS, AEX, GeoEye, AeroGRID, Getmapping, IGI

للاستشهاد كمرجع: أندرو بروكنر، جوليم رولاندز، بيرنارد ريجال، سام بوركيس، أماندا ويليامز، فيليب رينو (2011)، مؤسسة خالد بن سلطان للمحافظة على الحياة البحرية في المحيطات: أطلس الموائل البحرية للبحر الأحمر السعودي. بانوراميك برس، pp. 262

رقم المعياري الدولي: ISBN:978-603-01-3006-1

رقم الإيداع النظامي: 1434/8496

تمت ترجمة هذا الأطلس بواسطة: الدكتور ماهر عبدالعزيز عامر.

منسق برنامج التنوع البيولوجي والمحميات البحرية بالهيئة الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن (PERSGA)
www.persga.org

قام بمراجعة النسخة العربية أ.د. عبدالعزيز حامد أبوزنادة
اسم الناشر: مؤسسة خالد بن سلطان للمحافظة على الحياة في المحيطات

قام بتصميم و تنفيذ النسخة العربية مؤسسة التسويق المتناسق (Harmonic Marketing)
www.harmonicm.com

أشرفت على التنفيذ السيدة هالة سيوفي

الطبعة الأولى للنسخة العربية مايو 1434 - 2013

مكان النشر: المملكة العربية السعودية

تشكر مؤسسة خالد بن سلطان للمحافظة على الحياة في المحيطات كلاً من :

سمو الأمير بندر بن سعود بن محمد آل سعود

رئيس الهيئة السعودية للحياة الفطرية.

الأستاذ الدكتور زياد أبو غرارة

الأمين العام للهيئة الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن.

الدكتور مصطفى المعمر

هيئة المساحة الجيولوجية.

الدكتور أحمد المنسي

الهيئة السعودية للحياة الفطرية.

الأستاذ/ عثمان ليون

الهيئة السعودية للحياة الفطرية.

لتفضلهم بقراءة الترجمة العربية و مراجعتها

شكر وتقدير

يعتبر هذا الأطلس نتيجة لتعاون وجهد مستمر لمدة أربع سنوات من خلال مشروع بحثي بين كل من مؤسسة خالد بن سلطان للمحافظة على الحياة البحرية في المحيطات، والهيئة السعودية للحياة الفطرية (SWA)، والهيئة الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن (PERSGA)، وقسم المصايد البحرية بوزارة الزراعة بالمملكة العربية السعودية (MFD)، والمعهد الوطني للشعاب المرجانية (NCRI) بجامعة جنوب شرق نونفا، والاتحاد الدولي لصون الطبيعة (IUCN) ووحدة كامبريدج لبحوث المناطق الساحلية، جامعة كامبردج.

ولم يكن ممكناً بأية حال من الأحوال إعداد هذا الأطلس بدون الدعم السخي من صاحب السمو الملكي الأمير خالد بن سلطان بن عبدالعزيز. إن الأمير خالد بن سلطان لديه شغف حقيقي من أجل المحافظة على صحة وحيوية المحيطات ويتجلى التزامه باستمرار من خلال دعم البحث العلمي الذي هو أساسي لتنفيذ أعمال المحافظة على تلك البيئات. وعلى مدى الأربع سنوات وهي مدة مشروع دراسة البحر الأحمر، والأمير خالد يدعم جهود المؤسسة في المملكة العربية السعودية لاستكمال توصيف ورسم خرائط للموائل البحرية وتقييم أهم مكونات النظم البيئية للشعاب المرجانية الضحلة على طول الساحل السعودي المطل على البحر الأحمر. لقد قدم سمو الأمير خالد للفريق البحثي كل الدعم من خلال توفير السفينة جولدن شادو لاستخدامها كمنصة بحثية للبعثات الأربع، مع دعم إضافي للمسوحات الطيفية الفائقة من الجو وذلك من خلال الطائرة البرمائية جولدن أي وهي من طراز سيسنا 208.

كما نعبر عن إمتناننا الفائق للدعم اللوجستي المهني الذي قدمته سلطات المملكة العربية السعودية متمثلة في وزارة الدفاع والطيران وحرس الحدود، سواء كان على متن السفينة أو على الشاطئ. بالإضافة إلى ذلك، لم نكن لنتمكن من الانتهاء من العمل الميداني دون الدعم القوي والمشاركة المباشرة للهيئة السعودية للحياة الفطرية (SWA) تحت قيادة الأمين العام الأستاذ الدكتور عبدالعزيز حامد أبو زنادة وسمو الأمير بندر بن سعود بن محمد. وشكر خاص للسيد عمر خشيم، مدير الإدارة البحرية في الهيئة، للإعداد الجيد والدعم أثناء التطبيقات البحثية في جميع الرحلات البحرية. كما نشكر قادة وأفراد طاقم السفينة جولدن شادو وطيارين الطائرة جولدن أي لتيسير الحصول على البيانات.

لقد تم الحصول على صور متعددة فائقة الدقة (كويك بيرد الطيفية) من شركة ديجيتال غلوب وشركة لونجماونت، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية. وتم تشغيل جهاز كاسي للصور الفائقة الطيفية (CASI) خلال أبحاث جزر فرسان (2006) من خلال الشركة الدولية للبيانات الطيفية كندا (HDI) في حين في عام (2008) وفي أبحاث منطقة الوجه تم استخدام جهاز أيسا الطيفي (AISA) من قبل شركة SpecTIR. وتم استعراض ومراجعة الخرائط والمعلومات الواردة في الأطلس بواسطة كل من عبدالعزيز أبو زنادة، فيصل محمد، جيريمي كير، مكمانوس جون، عمر خشيم، ماكلولين شون وثلاثة مراجعين آخرين.

تمهيد

يمثل هذا الأطلس واحداً من المنتجات الرئيسية نتيجة جهد أربع سنوات من البحث على امتداد ساحل المملكة العربية السعودية المطل على البحر الأحمر من قبل مؤسسة خالد بن سلطان جنباً إلى جنب مع شركاء حكوميين وأكاديميين. وكانت الأهداف الرئيسية لهذا المشروع رسم خرائط لأشكال وتوزيع وحالة الموائل البحرية قبالة الساحل السعودي المطل على البحر الأحمر، وتوفير المعلومات والأدوات اللازمة للهيئات الحكومية ذات الصلة في المملكة العربية السعودية كأساس للإدارة في المستقبل والحفاظ على البيئة. لقد تم التركيز من خلال المسوحات والتحقيقات الحقلية والجهود البحثية على جزر فرسان (2006)، رأس القصب (2007)، ومناطق ينبع والوجه (2008)، وضة فرسان (2009). وقد تم اختيار هذه المناطق لأنها تمثل البيئات البحرية الأكثر تعقيداً في المنطقة، إلى جانب البيئات الضحلة وحتى امتداد 3 - 100 كم عن الشاطئ. في حين لم يتم في هذا الأطلس تضمين مناطق أخرى أقل تعقيداً لأنها في المقام الأول تسود فيها الشعاب الحديدية القريبة من الشاطئ المنحدر نحو المياه العميقة.

يعتمد هذا الأطلس على دراسة سابقة (1998 - 1999) وتعاون من قبل الوكالة اليابانية للتعاون الدولي (JICA) والهيئة السعودية للحياة الفطرية (SWA). ولقد نتج عن هذه الدراسة خرائط موائل للساحل السعودي الشمالي المطل على البحر الأحمر بمقياس رسم 1:10,000، والذي أعد من خلال تحليل الصور الجوية والتحقيقات الحقلية. وسبق هذا العمل في وقت مبكر، العديد من المسوحات البحرية والرحلات الاستكشافية في البحر الأحمر منها على سبيل المثال: الرحلة الاستكشافية فيليكس بالسعودية (الدانمرك) (1761 - 1767)، تلتها رحلات أخرى عديدة منها؛ فيتياز (الاتحاد السوفيتي) 1886 - 1889، فالديفيا (ألمانيا) 1898 - 1899، بولا (النمسا) 1895 - 1898، مجناغي (إيطاليا) عام 1923 و عام 1924، سنيلياس (ألمانيا) 1929 - 1930، 1933 - 1934 ومباحث 1934 - 1935، الباطروس (السويد) عام 1948، مانيهيني 1949 و عام 1952، كالييسو (اليونان) عام 1955، اتلانيس وفيما (الولايات المتحدة) 1958، زاريفا (النمسا) عام 1961، تشالنجر (الولايات المتحدة) 1971، فالديفيا (ألمانيا) عام 1971 و عام 1972، برنامج سوني (ألمانيا) 1997، النيزك (ألمانيا) 1961، 1999، 2002، أورانيا (إيطاليا) 2005، أوشيناس (جامعة الملك عبدالله) 2008، إيجايو (جامعة الملك عبدالله) 2010، بوسيدون 2011 (السعودية وألمانيا) وإيجايو (جامعة الملك عبدالله) من 2011 وما زالت مستمرة.

كان الهدف الأساسي من هذه الرحلات الاستكشافية جمع العينات البيولوجية لمتحف التاريخ الطبيعي. وعلى الجانب الآخر فإن عمل مؤسسة خالد بن سلطان هو مختلف تماماً وأكثر تطوراً، حيث تجمع المؤسسة في عملها بين كل من صور الأقمار الصناعية وصور طيفية فائقة الدقة من الطائرة وصور قاعية من جهاز رصد الأعماق بالإضافة إلى المسح والتقييم عن طريق فن الغوص.

وقد ساعدت المعدات المتاحة في مجال البحوث والموجودة على السفينة جولدن شادو، بما في ذلك المختبر والطائرة البرمائية جولدن أي ذات القدرة الهائلة في المسوحات الجوية الطيفية فائقة الدقة للنظم البيئية للشعاب المرجانية وغيرها من الدراسات الاستقصائية، لذلك فإن هذا الأطلس وما يحتويه من خرائط وصور يعتمد بالأساس على نظام الاستشعار عن بعد.

الاستشعار عن بعد علم يمكن من خلاله الحصول على معلومات حول كائن أو سطح دون التفاعل المادي المباشر معه. وفي أبسط الحالات فإن الاستشعار عن بعد يعتمد على جهاز استشعار يقرأ الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث من مصادر طبيعية، مثل الشمس. وأفضل مثال على ذلك هي صورة فوتوغرافية من قبل كاميرا تستخدم فيها العدسات لتركيز الضوء المرئي المنعكس من كائن على سطح ما شديد الحساسية للضوء. في حين أن تقنيات أكثر انخراطاً وتقدماً (تسمى النهج النشط)، تتطلب إرسال إشارة ثم قياسها عند الإرتداد أو الإنعكاس. ويعد الرادار خير مثال على ذلك، حيث تنبعث نبضة كهرومغناطيسية عن طريق جهاز، في حين تسجل الطاقة المنعكسة أو المرتدة من الهدف في وقت لاحق.

إن نهج الاستشعار عن بعد المستخدم في هذه الدراسة يشمل الأقمار الصناعية والطائرات والقوارب وغيرها من الأدوات. وكل أداة من هذه الأدوات له مزاياه وعيوبه الكامنة. واستخدام هذه الأدوات (الاستشعار عن بعد) بحكمة وتناغم يوفر الأساس لرسم خرائط دقيقة لبيئات الشعاب المرجانية في المناطق الإستوائية. وتم جمع البيانات الميدانية، (والتي تعرف بالتحقق من صدق البيانات الحقلية)، اللازمة لتسهيل إنتاج خرائط إقليمية للشعاب المرجانية ذات درجة عالية من الدقة. كما تم الحصول على البيانات التي تركز على أعماق المياه، والقياسات الضوئية، ومواقع الموائل المختلفة بدقة. ومن خلال استخدام النظام العالمي للمواقع الجغرافية (GPS) تم تحديد جميع المواقع كوسيلة لربط قواعد البيانات عن بعد مع المعلومات التي تم جمعها على أرض الواقع.

وبسواء منقطع النظير من صاحب السمو الملكي الأمير خالد بن سلطان فإن جميع الأعمال الحقلية تمت باستخدام السفينة جولدن شادو (طولها 76م) وقوارب الدعم المختلفة. إن السفينة جولدن شادو آمنة للغاية وقادرة، للوصول إلى بيئات الشعاب البعيدة، ومزودة بمنصة هيدروليكية قادرة على الخفض والرفع لتسهيل عمل أسطول من القوارب الصغيرة.

نأمل أن تساعد المعلومات الواردة في هذا الأطلس في خطط إدارة النظام البيئي للشعاب المرجانية في المملكة العربية السعودية. وتوفر الخرائط الواردة في هذا الأطلس لصانعي القرار تصور واضح للمناظر الطبيعية وتنوع الموائل ومواقع أخرى محتملة للإدارة. بالإضافة إلى ذلك، فإن هذه الخرائط تشكل أساساً يمكن من خلالها تقييم التغيرات المستقبلية لهذه الموائل الناجمة عن التنمية الساحلية وإعادة تأهيلها والآثار الناجمة عن تغير المناخ. ومن الضروري التعامل مع تلك الخرائط على أنها وثائق فعالة.

يعرب المؤلفون ومؤسسة خالد بن سلطان عن بالغ سعادتهم لدمج المعلومات الجديدة والمنقحة في طبعات جديدة من هذا الأطلس.

الدكتور أندرو بروكنر

كبير العلماء، مؤسسة خالد بن سلطان

ديسمبر 2011

المحتويات

شكر وتقدير

تمهيد

رسالة من صاحب السمو الملكي الأمير خالد بن سلطان

رسالة من الكابتن فيليب رينو

المقدمة

جيولوجيا البحر الأحمر

التطور التكتوني لحوض البحر الأحمر

تطور أوقيانوغرافيا حوض البحر الأحمر

الطقس والمناخ في البحر الأحمر

التغيرات المناخية الموسمية ونظم دورات الرياح المحلية

التيارات المائية ودورانها

الأمواج والمد والجزر

درجة حرارة المياه

هطول الأمطار والتبخّر والملوحة

تغير مستوى سطح البحر

الاستشعار عن بعد البصري

أجهزة الاستشعار الضوئية المستخدمة في هذا المشروع

التحقق الحقلّي من صدق البيانات

السونار أحادي الشعاع

الرسام الجانبي للقاع

التصوير الفوتوغرافي والتصوير بالفيديو

قياسات الانعكاس الطيفي

إعداد وتجهيز الصور

مرحلة المعالجة الأولية

حساب العمق البصري للماء

حساب عمق الماء

تصويب التشوه الناتج عن الماء

طريقة حجب الصور

معالجة الصور الفائقة الطيف

خرائط توزيع الموائل الحية

تصنيف الصورة

تحديد الحواف

التصنيف الطيفي

تحليل المكونات

التعديل السياقي للصور

عملية التصفية أو الترشيح

ضبط الجودة

تقييم مدى دقة البيانات

الخرائط الناتجة عن نظم المعلومات الجغرافية

تحويل البيانات

رقم الصفحة

V

V

VIII

IX

1

2

2

3

4

4

4

4

5

5

5

6

7

7

8

8

8

9

9

9

9

10

10

10

10

10

10

10

10

11

11

11

11

11

12

12

رقم الصفحة

13

13

14

14

15

15

16

16

16

17

17

18

19

19

20

20

21

21

21

21

22

22

23

24

24

52

96

144

228

البيئات الحيوية الرئيسية في البحر الأحمر

الشعاب المرجانية

مسطحات الحشائش البحرية

طبقة الطحالب والشعاب

أشجار الشوري (مانجروف)

مخطط تصنيف الموائل

أنواع الموائل

قمم مرجانية حافية مواجهة للرياح

قمم مرجانية حافية غير مواجهة للرياح

الهيكل العمودية

الجدران المرجانية / حادة العمق

بقع كثيفة من مرجان أكروپورا

القنوات المعرّاة

القيعان الكربونية ومسطحات الشعاب

أشجار الشوري (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ

مسطحات الحشائش البحرية

طبقات الرمال الضحلة

طبقات البكتيريا الزرقاء على الرمال

الأهوار الرملية العميقة

مسطحات الرمل والطين

المرجان المتناثر والحجارة والرمل

الطحالب الكبيرة والإسفنجيات على رمال قيعان صلبة

المراجع

خرائط الموائل للبحر الأحمر السعودي

رأس القصبة

الوجه

ينبع

ضفة فرسان

جزر فرسان



رقم الصفحة

24

52

96

144

228

خرائط الموانئ للبحر الأحمر السعودي

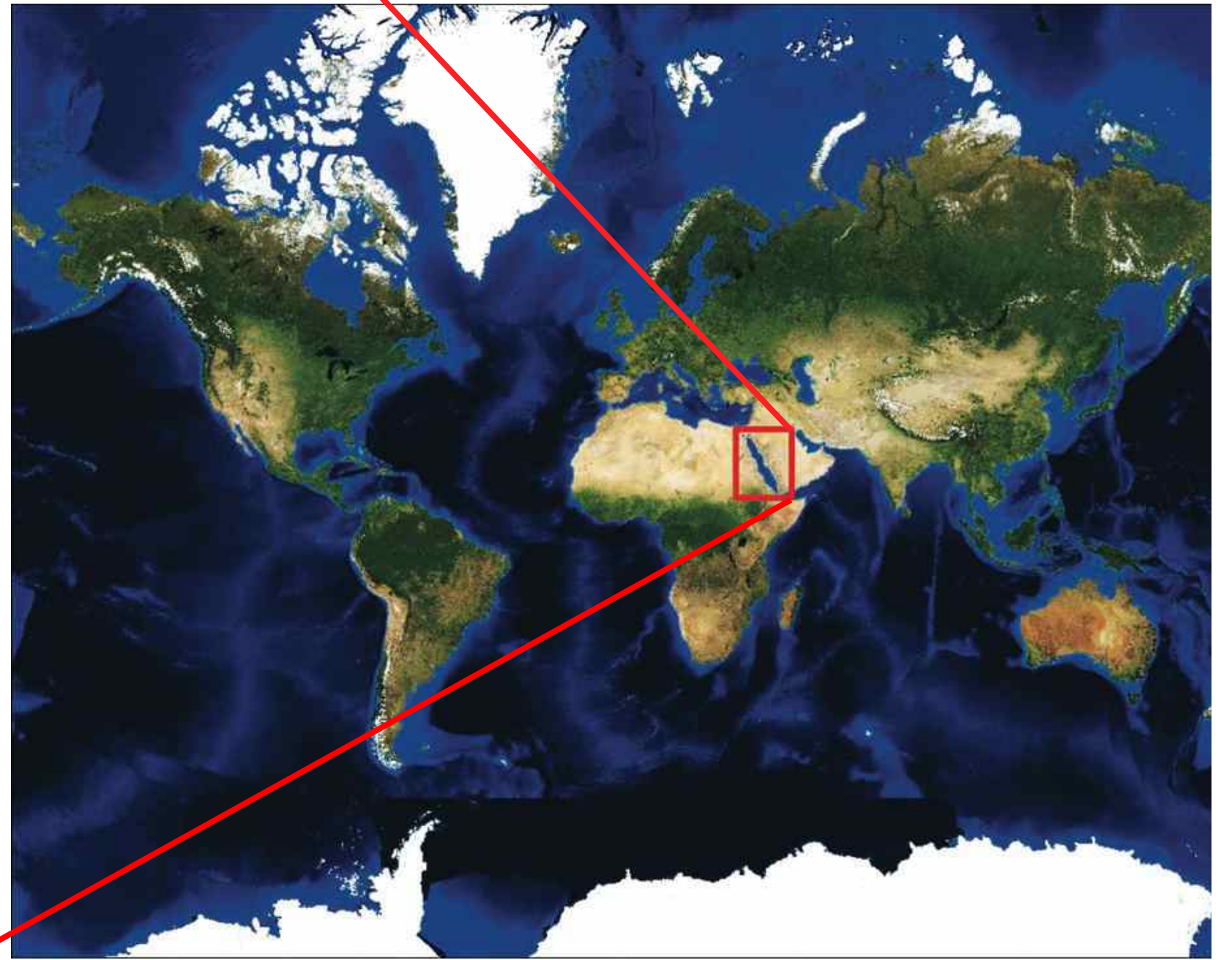
رأس القصبة

الوجه

ينبع

ضفة فرسان

جزر فرسان



رسالة من
صاحب السمو الملكي الأمير خالد بن سلطان
رئيس مجلس الإدارة ورئيس مؤسسة خالد بن سلطان



لقد أنعم الله على المملكة العربية السعودية بالبحر الأحمر الرائع وموارده الوفيرة من الشعاب المرجانية والأسماك والتدييات البحرية والشواطئ الخلابة وسواحل تمتد بطول 1,800 كم على الساحل الغربي للمملكة. وبالنظر إلى صلتنا التاريخية بالبحر، نجد أن الكثير من ما يكمن تحت السطح ظل لغزاً حتى الآن. وخلال القرن الماضي، اكتشف عدد من علماء علوم البحار أجزاء من البحر الأحمر. حيث كشفت دراستهم للوهلة الأولى أن النظام البيئي للبحر الأحمر أكثر تعقيداً بكثير مما يتصور البعض وهو ما يتطلب إتباع نهج جديد تماماً لإيضاح التعقيدات البيئية تحت الماء.

واستجابة لهذه الحاجة الملحة للحصول على مثل هذه المعلومات، فقد أنجزت مؤسسة خالد بن سلطان وعلى مدى أربع سنوات من الدراسة مسح مجتمعات الشعاب المرجانية البعيدة والأبرز في البحر الأحمر. حيث اعتمد علماءنا التقنيات الحديثة، والنهج الواسع للنظام البيئي لدراسة مناطق مثل رأس القصب والوجه والحاجز المرجاني بينبوع وضة فرسان والشعاب المرجانية المحيطة بجزر فرسان.

وفي هذا السياق، يسرني أن أقدم أطلس الموائل البحرية للبحر الأحمر السعودي، وهو الأول من نوعه. ويمثل هذا الأطلس تتويجاً لسنوات من البحث العلمي ورسم الخرائط، امتداداً من خليج العقبة في شمال البحر الأحمر إلى الحدود السعودية الجنوبية.

وكما هو واضح، فإن الشعاب المرجانية التي توجد على طول الساحل السعودي للبحر الأحمر، تبرز بوصفها كنوزاً طبيعية يمكن أن توفر قيمة كبيرة لإقتصادنا. ومن الواجب علينا توفير المعرفة لمديري حماية الشعاب المرجانية حتى يمكنهم العمل لحماية النظم البيئية البحرية لأجيال المستقبل. وإنني على يقين من أن هذا الزخم من المعلومات العلمية الواردة في هذا الأطلس تمثل خطوة عملاقة نحو استدامة إدارة الشعب المرجانية ونحن نشجع الجميع على إتخاذ خطوات نحو تحقيق هذا الهدف النبيل.


خالد بن سلطان

رسالة من
الكابتن فيليب جي رينو،
البحرية الأمريكية (متقاعد)
المدير التنفيذي - مؤسسة خالد بن سلطان


هذا الأطلس هو نتاج شهور من العمل الميداني في المياه الساحلية النائية للمملكة العربية السعودية وسنوات من معالجة البيانات. ولإنشاء خرائط الموائل في هذا الأطلس تم الجمع بين تكنولوجيا الاستشعار عن بعد المتطورة (الاستشعار بواسطة الأقمار الصناعية والطائرات) والمسوحات الحقلية. وتوفر هذه الخرائط عالية الدقة عالماً من الإمكانيات لإستخدامها في إدارة المناطق الساحلية، ورصد الموارد، والبحوث العلمية في المستقبل وغيرها من الإستخدامات بعيدة المنال. وتكمن وتمثل خرائط الموائل في قاعدة البيانات لنظام المعلومات الجغرافية (GIS) التي قمنا بتطويرها والتي تتطلب التدريب على برامج متخصصة، ونظم حاسب آلي متطورة، في حين أن هذا الأطلس يقدم هدفاً قيماً وشائعاً في تسهيل كيفية إستخدام الخرائط. وتتميز غالبية سواحل البحر الأحمر بوجود الشعاب الشاطئية والتي تمتد لمسافة قصيرة من الشاطئ. لذلك لم تقم مؤسسة خالد بن سلطان برسم ودراسة هذه الشعاب الشاطئية وذلك لأن بنيتها معروفة ويمكن الوصول إليها من الشاطئ. لذا ركزنا كل جهودنا ومواردنا على رسم خرائط أكثر تعقيداً لتراكيب الشعاب المرجانية التي تتوزع قبالة الساحل السعودي للبحر الأحمر. وتجدر الإشارة بوجه خاص إلى الشعاب المرجانية في الوجه وضة فرسان. وتعتبر منطقة الوجه فريدة من نوعها لإحتوائها على جميع أنواع الموائل البحرية، بما في ذلك غابات ممتدة من أشجار الشوري (مانجروف) والحشائش البحرية التي تعتبر مناطق مهمة لحضانة وتربية أنواع متعددة من الأسماك، كما أنها تعتبر حاجزاً للشعاب المتاخمة باتجاه البحر. وتحتوي منطقة وضة فرسان على أكبر عدد من أنواع الشعاب المرجانية الموجودة في المملكة العربية السعودية والشعاب شبه الحلقية (الشعاب البرج) والتي لا توجد في أي مكان آخر على هذا الكوكب.

وإنه ليحدوني الأمل في أن يتم استخدام هذا الأطلس على نحو فعال لتعزيز استدامة النظم البيئية للشعاب المرجانية على الساحل السعودي للبحر الأحمر. تفرض عملية تغير المناخ تهديدات على إزدهار الشعاب المرجانية في جميع أنحاء العالم، وعليه فإنه من المهم الحد من الإجهاد المزمّن الناتج عن التنمية البشرية وسوء إستغلال الموارد. وسوف تعزز عملية القضاء أو التقليل من الضغوط البشرية على الشعاب قدرة هذه النظم على تحمل التغير المناخي والسماح لهذه النظم التكيف مع البيئة البحرية المتغيرة.

إنّ حملتنا التي امتدت على مدار أربع سنوات من العمل الحقلي في المياه الساحلية السعودية (2006 - 2009) هي ثمرة تعاون لبرنامج علم بلا حدود®. وقد كلل نجاح هذا المشروع الطموح من خلال العمل الجماعي الرائع بين مؤسسة خالد بن سلطان، والهيئة السعودية للحياة الفطرية، والهيئة الإقليمية للمحافظة على بيئة البحر الأحمر وخليج عدن والمعهد الوطني للشعاب المرجانية (جامعة جنوب شرق نوبا، الولايات المتحدة) والإتحاد الدولي لصون الطبيعة وجامعة كامبريدج (المملكة المتحدة) ووزارة الدفاع والطيران وقوات حرس الحدود وغيرها.

إنني مدين لجميع شركائنا على مساهمتهم القيمة في تحقيق أهداف هذا المشروع. وأتقدم بشكر خاص لقادة وطاقم السفينة جولدن شادو والطائرة البرمائية جولدن أي. ولقد تطلب العمل على متن السفن مهارات خاصة في التعامل مع السفن والملاحة، وببساطة فقد كانت السفينة جولدن شادو أفضل سفينة لتحقيق أهداف البحث.

نحن جميعاً مدينون للرؤية الثاقبة ولكرم صاحب السمو الملكي الأمير خالد بن سلطان بن عبدالعزيز في إنشاء مؤسسة خالد بن سلطان والمخولة بعمل أبحاث علمية متطورة وتطبيق هذه الأبحاث لتعزيز الحفاظ على البيئة البحرية.


فيليب جي رينو

المقدمة

يعتبر البحر الأحمر بحر ضيق، ولكنه عميق نسبياً، وتمتد مياهه المفتوحة لأكثر من 1,900 كم، ما بين خطي عرض 13° و 28° N. تبلغ المساحة الإجمالية للبحر الأحمر حوالي 438,000 كم² تقريباً، وعرضه نحو 180 كم في الشمال، و354 كم في أوسع نقطة في الجنوب، ويضيق البحر الأحمر لحوالي 29 كم في مضيق باب المندب حيث يتصل بكل من خليج عدن والمحيط الهندي، ويبلغ أقصى عمق أكثر من 2,200 م، مع متوسط عمق حوالي 490 م، ويقال العمق تدريجياً كلما اتجهنا جنوباً ليصل إلى حوالي 130م في مضيق باب المندب. ويعتبر البحر الأحمر هو آخر امتداد شمالاً للمياه الاستوائية، مع وجود أرصفة ضحلة واسعة النطاق والتي بدورها تدعم وجود الشعاب المرجانية والنظم المعقدة المرتبطة بها.

البحر الأحمر هو جزء من مياه المحيط الهندي - الهادي الإستوائية والتي تضم أكبر النظم البيئية البحرية على الأرض وأكثرها تنوعاً. يتميز معظم الساحل السعودي على البحر الأحمر بوجود الشعاب الشاطئية الضيقة، تمتد هذه الشعاب عشرات من الأمتار من الشاطئ قبل الهبوط إلى المياه العميقة. مع ذلك فإن العديد من المناطق في المملكة العربية السعودية تحتوي على مسطحات واسعة من الحشائش البحرية والموائل البحرية المرجانية، وأشجار الشوري (مانجروف) والطحالب. وتمثل هذه البيئات أشكال عديدة من الشعاب، مثل الحيويد المرجانية الساحلية وبقع الشعاب والشعاب الحلقية والجزر المرجانية والشعاب البرج وكذلك الشعاب العمودية، والتي تحفز بوجود المجتمعات المرجانية النامية فوق هياكل من الحجر الجيري المستمدة من الطحالب (Sheppard et al. 1992).

وخلافاً لبعض الشعاب الشاطئية والتي تفتقر لمسطح شعاب ممتد، تحتوي هذه المناطق على تراكيب وأشكال أكثر تعقيداً بكثير وتتميز بوجود مسطح شعاب ممتد في اتجاه البحر إلى أكثر من 1 كم، وبحيرات واسعة يبلغ عمقها أحياناً إلى أكثر من 20 م والتي تقع في الجانب العميق من الشعاب المرجانية. ويتزامن في كثير من الأحيان في الأجزاء الوسطى من الساحل السعودي، الشعاب المرجانية ومسطحات الحشائش البحرية وأشجار الشوري (مانجروف). ويوجد إنخفاض ملحوظ لنمو الشعاب المرجانية على طول الساحل السعودي في اتجاه الجنوب، لأن هذه الأماكن هي في الغالب تتميز بوجود معدلات ترسيب عالية وبالتالي تسود فيها الحشائش البحرية وأشجار الشوري (مانجروف) وهي مناطق ذات مستوى مغذيات أعلى من خليج عدن. ومع ذلك، هناك نظم شعاب بحرية متنوعة ومتطورة في ضفة فرسان وجزر فرسان. وفي أقصى الجنوب، ومع انخفاض الطاقة والبيئات المحمية، تبنى تراكيب الشعاب من قبل الطحالب الجيرية. وهذه الهياكل تشبه إلى حد كبير الطحالب البارزة الموجودة في المياه المحيطة المكشوفة، على الرغم من أن الشعاب في المملكة العربية السعودية تنشأ من الطبقات التحتية القريبة من الشواطئ الرملية في أعماق تتراوح بين 2 - 4 م، والتي تنمو في أماكن شديدة الانحدار. وهذه البيئات تكون وسطاً مناسباً لنمو الحشائش البحرية السارجسيم (*Sargassum*) وبعض الشعاب المرجانية الأكثر تحملاً لوجود الرواسب.

تمتلك المملكة العربية السعودية أكبر قدر من الموائل البحرية الضحلة في المنطقة، تقدر مساحة الشعاب المرجانية في البحر الأحمر والشواطئ الغربية للخليج العربي بحوالي 6,660 كم². ويمتد الساحل السعودي للبحر الأحمر من الحدود مع الأردن في شمال خليج العقبة (خط عرض $30' 29^{\circ}$ N) مروراً بجزر فرسان إلى الحدود مع اليمن، (نقطة أوريستي، $22' 16^{\circ}$ N).

تمتد الشعاب الشاطئية جنوباً على طول البحر الأحمر (20° - 18° N)، ومعظمها ضيقة جداً، وتنحدر إلى المياه العميقة على بعد عشرات الأمتار من الشاطئ. تتميز ضفة الوجه (شمال البحر الأحمر) بوجود شعاب واسعة بعيدة عن الشاطئ. وهذه المنطقة تحتوي على سلسلة واسعة من الشعاب والأرصفة المغمورة من الحجر الجيري والتي تعتبر وسطاً جيداً لنمو وإزدهار موائل الحشائش البحرية، والشعاب المرجانية وأشجار الشوري (مانجروف).



البحر الأحمر محاط من أفريقيا في الغرب وآسيا في الشرق، و ممتد من شبه جزيرة سيناء إلى خليج عدن

ووجود هذه الظروف القاسية في بعض المناطق أثر على تنوع الكائنات الحية القادرة على البقاء في هذه البيئات. يعتبر البحر الأحمر من أكثر البحار دفناً (قد تزيد درجة حرارته عن 35°) ومن أعلى مياه البحر في العالم ملوحة (تصل إلى 46 جزء في الألف)، ويرجع ذلك جزئياً إلى عدم وجود أنهار دائمة أو جداول تصب فيه، وانخفاض معدل هطول الأمطار السنوي، بالإضافة لوجود مستويات عالية من التبخر. عادة تنشأ التيارات المانية في البحر الأحمر إلى حد كبير نتيجة إلى اختلاف الكثافة في عمود الماء التي تختلف موسمياً بسبب التغيرات في درجات الحرارة والرياح السائدة والتبخّر. وبالنسبة للرياح فإنها غالباً ما تكون شمالية غربية (7 - 13 كم/ساعة) مع وجود اختلافات إقليمية ورياح موسمية عكسية. أما المد والجزر فهناك تبايناً كبيراً في جميع أنحاء البحر الأحمر، ففي المناطق الوسطى وحول مدينة جدة تقريباً لا يوجد أي اختلاف في ارتفاع المد خلال فترة 24 ساعة، في حين لوحظ التذبذب اليومي الكبير في الشمال (0.6 م) والجنوب (0.9 م).

وعلى مقربة من مدينة جدة في وسط البحر الأحمر، يوجد تشكيلة واسعة من أشكال الشعاب المختلفة مع وجود مسطحات شعاب واسعة وبحيرات كبيرة. وكلما اتجهنا جنوباً من منطقة الليث (ضفة فرسان) يلاحظ انخفاض تدريجي في مساحة الشعاب الساحلية، ويرجع ذلك إلى زيادة في القيعان الطينية الموحلة والمانجروف. في المقابل فإن الجرف القاري في هذه المناطق ممتد وواسع ويدعم وجود ونمو الشعاب البعيدة عن الشاطئ. وفي اتجاه الجنوب، وحول جزر فرسان تظهر بوضوح الشواطئ الرملية وأشجار المانجروف والطحالب وتصل إلى مداها بالقرب من الساحل، في حين يقتصر وجود الشعاب على الأماكن البعيدة.

ويرجع وجود مجموعة متنوعة وواسعة من بيئات الشعاب المرجانية والموائل المرتبطة بها، إلى حد كبير للأحداث الجيولوجية المتعلقة بتصدع البحر الأحمر، والتي كانت مستمرة لمدة 30 مليون سنة. تتمثل هذه الأحداث في الارتفاع والانتشار التكتوني وارتفاع القباب الملحية والتصدعات وتآكل وترسب الطمي.

جيولوجيا البحر الأحمر

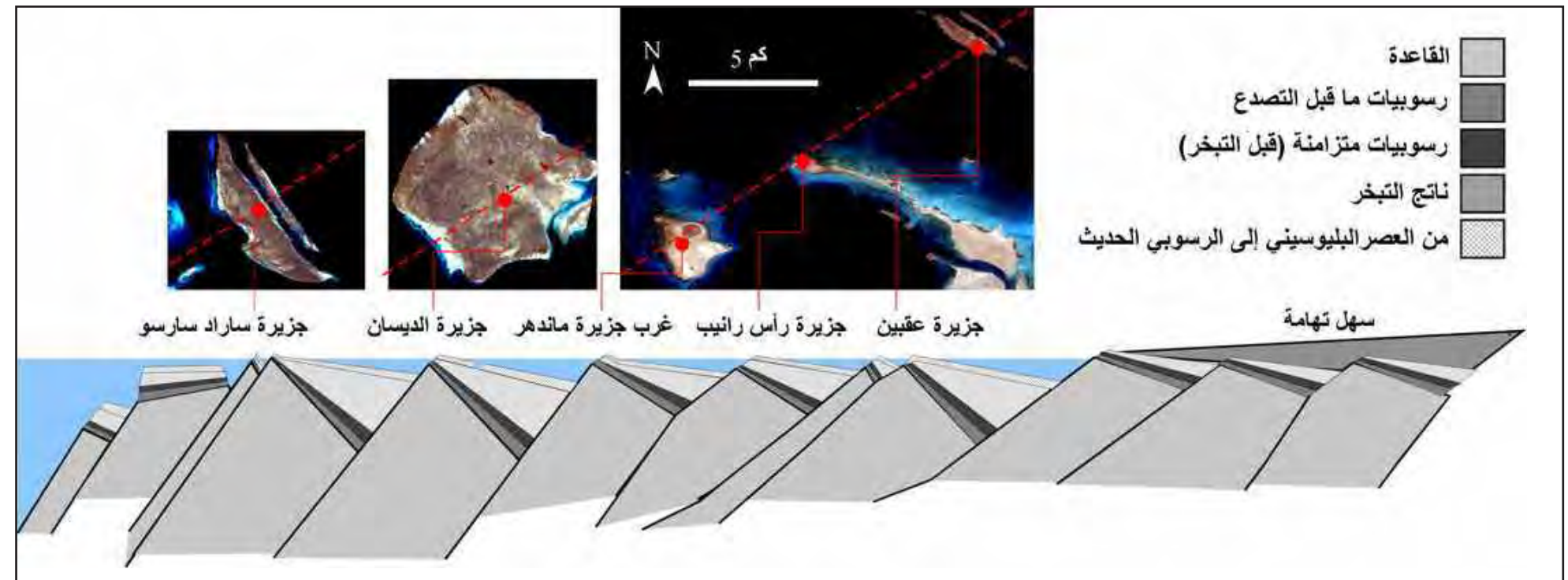
يعتبر ساحل وجزر البحر الأحمر وسطاً مناسباً للعديد من الموائل الساحلية والبحرية التي تطورت إلى حد كبير نتيجة الإستجابة لحركة التيارات المائية، ودرجة التعرض والإنكشاف، والميزات الطبوغرافية المرتبطة بالأحداث السابقة في توزيع التضاريس. تمتلك المنطقة تاريخاً جيولوجياً معقداً من الإرتقاء والهبوط التكتوني، والمتعلق بتطور صدع البحر الأحمر من تحركات الصفائح التكتونية العربية والأفريقية. وتعتبر الشعاب المرجانية الحية التي تقع على طول الساحل السعودي على البحر الأحمر الأحداث زمنياً في سلسلة من الشعاب البارزة فوق السطح (الإرتقاء) والمغمورة التي تطورت على مدى مئات الآلاف من السنين الماضية. وفي كثير من الحالات الأخرى فقد نشأت شعاب البحر الأحمر الحالية وتطورت في وقت سابق على الهياكل المرجانية (Purkis et al. 2010).

يعتبر البحر الأحمر حوض مائي منذ العصر الهولوسيني وحتى الآن، لديه مساحة إجمالية تبلغ 438,000 كم² ويصل حجمه إلى حوالي 250,000 كم³ (Head 1987)، وهو واحد من أصغر وأضيق وأحدث المحيطات أو البحار على كوكب الأرض. كذلك يعد البحر الأحمر أصغر المحيطات عمراً، ولا يزال يتسع جزئياً، أو ما زال في طور الإنتقال والتصدع. ويقع البحر الأحمر بين الصفيحتين العربية والأفريقية وهو نتاج من ابتعادهما، وتعتبر الصفيحة الأفريقية هي الجزء المستقر مع الإنفصال الشمالي والشمالي الشرقي للصفيحة العربية (McClay et al. 1998).

التطور التكتوني لحوض البحر الأحمر

على الرغم من أن هناك شكوك حول الآلية الدقيقة لتشكيل حوض البحر الأحمر، إلا أنه من المعروف أن تطور منطقة البحر الأحمر وتمت على عدة مراحل. وتتفق كل النماذج والسيناريوهات على أن المراحل الأخيرة من التطور نتج عنها حوض البحر الصغير مع مركز متطور وجنوبي المحور في الإتساع والتصدع. ومع ذلك، فإن المراحل الأولية لتطور الحوض الرئيسي تبقى مثيرة للجدل. فمن المرجح أن علاقة سببية في وقت مبكر أدت إلى زيادة صدع قاري هندسي موجود من قبل، مع تطور للقشرة الأرضية خلال فترة تشكيل الحوض (Rihm & Henke 1998). وفي وقت مبكر يصل إلى 600 مليون سنة مضت كانت المنطقة على الأرجح منطقة ضعف هيكلي، وأعيد تنشيطه في الفترة من أواخر العصر الميوسيني إلى العصر الأليجوسيني المبكر وذلك في وجود نشاط مكثف للصخور المنصهرة وتطور للصدع القاري (Makris & Henke 2007). وخلال فترة 100 مليون سنة الماضية وقبل عملية التصدع حدث هبوط بطيء يصل إلى حوالي 1 كم. وفي نهاية عصر الأليجوسين بدأ ترقق وضعف في القشرة القارية رافقه تشكيل مبكر لفق البحر الأحمر - خليج السويس، واليوم يعد البحر الأحمر سلسلة من المنخفضات القارية الضحلة. وفي وقت مبكر من التحولات، وحركات الإنزلاق والإنسحاب تكون الحوض. وبفرض سلفاً شدة الإنحدار في الصفيحة الأفريقية، فإنها بقيت في جميع المراحل اللاحقة من تطور البحر الأحمر (Rihm & Henke 1998). لقد بدأ الامتداد التكتوني في السيادة، مع بطء إنتشار قاع البحر من حوالي 15 إلى 22 مليون سنة مضت يرافقه بداية لإضمحلال وتحول على طول البحر الميت - خليج العقبة، والبحر الميت عبارة عن ضربة من الإنزلاق والتصدع شديدة التشوه حدثت خلال 14 مليون سنة الماضية (Makris & Henke 2007).

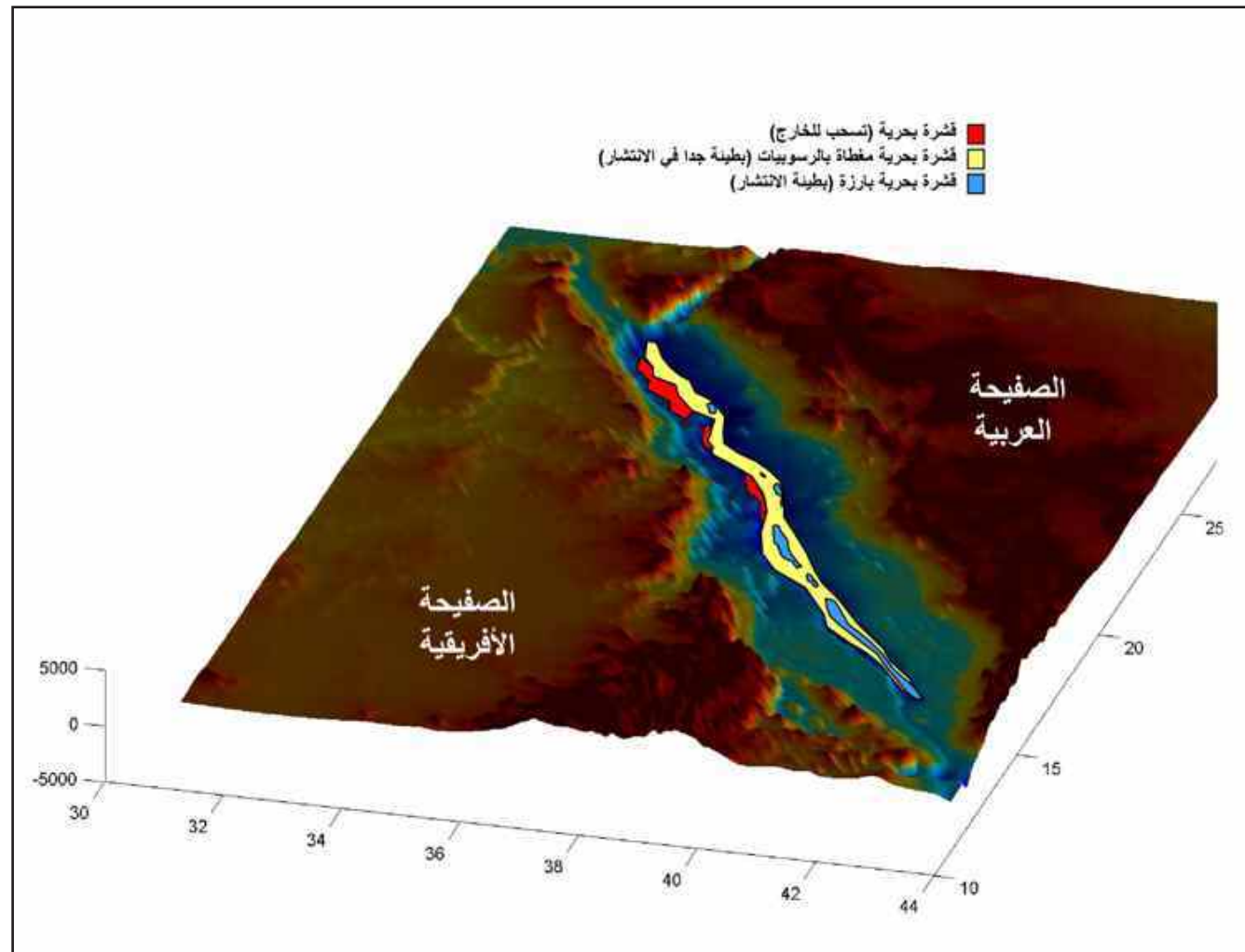
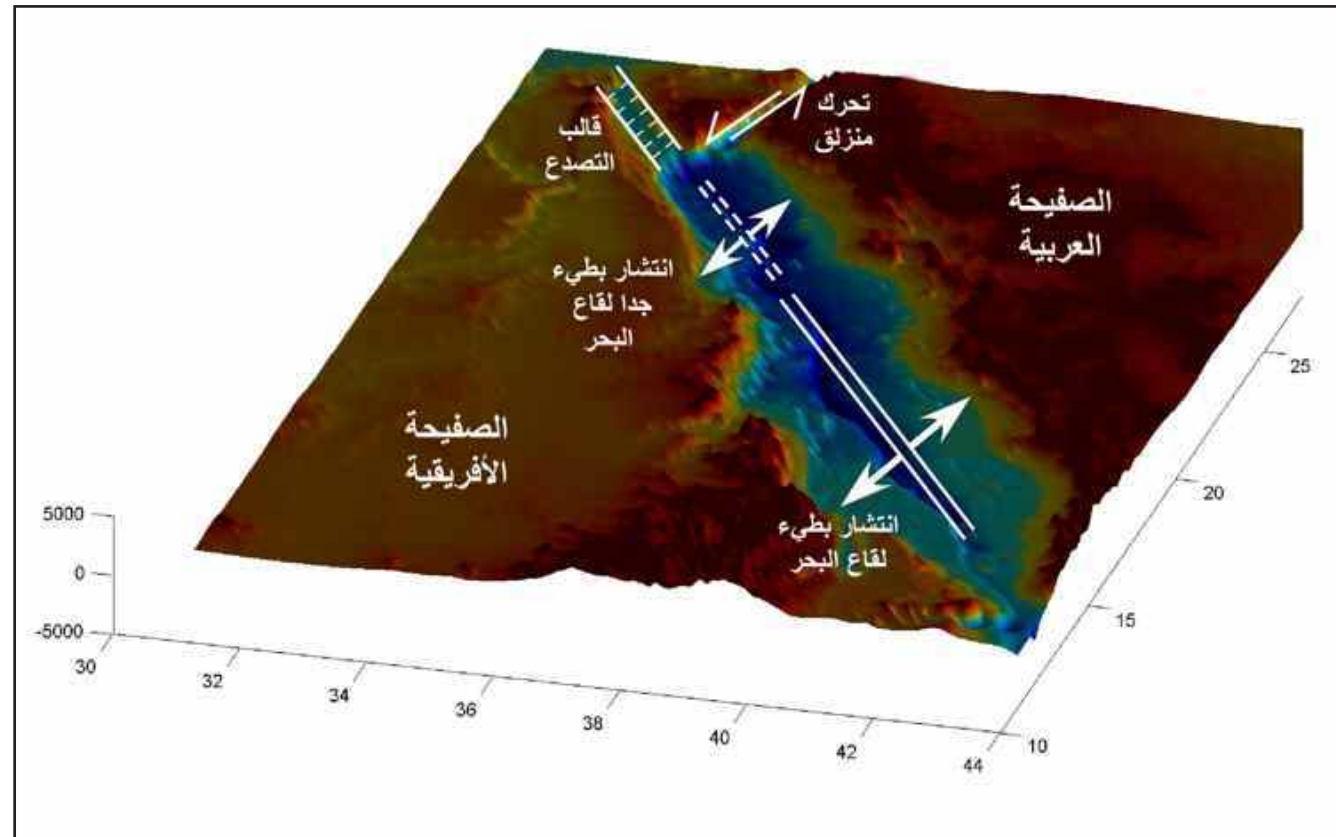
ويرجع إنفتاح البحر الأحمر إلى الموجات المتقلبة تحت غلاف أعمدة منطقة عفار (جيبوتي والصومال) التي تركت بصمة واضحة في المنطقة ذات الصخور النارية قبل الإنشقاق الكبير في اليمن (26 - 31 مليون سنة). وكانت هناك حلقة كبيرة من الفيضانات البركانية منذ ما يقرب من (20 - 30 مليون سنة)، وعلى الجانب الآخر بدأ التصدع الممتد المهم بعد إندلاع الصخور البركانية وتوقفها قبل منتصف عصر الميوسين إلى وقت متأخر منه نتج عنها ترسب الصخور البركانية على شكل كتل مستديرة وغير متماثلة. هذا وقد نتج عن هذا الإرتقاء السطحي المرتفعات اليمينية، والتي تبلغ أعلى ذروة إرتفاع (حوالي 3,660 م)، ويعزى هذا إلى السخونة وثوران الصخور البركانية إلى أكثر من 3,000 م (Davison et al. 1994). وتتميز مرحلة التصدع بوجود العديد من الممرات واسعة النطاق مع صخور بلوتونية وجوفية عميقة على حواف الحوض، وهي موجودة حتى الآن في المقام الأول في المملكة العربية السعودية واليمن (Chazot et al. 1998). إن المرحلة الحديثة من التمدد في المنطقة (من 4.5 مليون سنة وإلى يومنا هذا) تظهر الإنتشار البطيء في قاع البحر في جنوب البحر الأحمر، يرافقه بداية لإضمحلال وتحول على طول البحر الميت - خليج العقبة (Purser & Bosence 1998, Girdler & Southren 1984). في حين أن عملية إنتشار قاع البحر في منتصف البحر الأحمر ومناطق من جنوبه، لا تزال محدودة (Makris & Henke 2007). كذلك تم التعرف على مرحلة ما بعد الإنقسام في المملكة العربية السعودية واليمن والتي تميزت ببراكين قلووية شديدة المنحد، وما هي إلا تعبير عن هذا النشاط البركاني في مرحلة ما بعد التصدع. ويوجد تدرج واضح جداً في مراحل التطور في منطقة حوض البحر الأحمر/خليج عدن. وعلى امتداد مرحلة ما بعد التصدع وحتى وقت مبكر من التاريخ الحديث (5 مليون سنة) تم إنتشار وإنجراف لقاع البحر في جنوب البحر الأحمر وخليج عدن. وفي وقت مبكر ومع بدايات تشكيل حوض المحيط كان البحر الأحمر الأصلي في مرحلة ما بعد الإنقسام بينما خليج السويس لا يزال في مرحلة نشطة من التصدع. وليس من المستغرب، أن يوفر هذا للبيئات التكتونية المختلفة تحدد البيئات الرسوبية المختلفة، ولاسيما أن تكوين المناطق الضحلة في البحر مهم لتشكيل أرصفة كربونية وشعاب مرجانية. ونظراً لديناميكيات مختلفة في البحر الأحمر، فإن فرص تكون هذه الأرصفة يكون إما عن طريق تصدع الكتل (مثل الحواف النصفية في شمال البحر الأحمر والخليج) أو التكتونيات الملحية (على سبيل المثال يوجد في جنوب البحر الأحمر أرفف واسعة في جزر فرسان وجزر دهلك (Purser & Bosence 1998). ومنذ ابتعد الجناح أو الجانب العربي عن الجانب الأفريقي الأكثر استقراراً، وبدأ الجناح العربي (شرق البحر الأحمر) في التشكل بفعل التقطع الحاد عن طريق التمدد والتباعد. وبالتالي، فإن الجناحين غير متماثلين، لأن الجناح الغربي أكثر انحداراً، لتأثره بالضربات الأولية من الانزلاق في حين أن الجناح الشرقي هو أكثر انبساطاً، في وجود تشكيلة واسعة من التصدعات الكتلية.



رسم تخطيطي مستعرض للطبقات الكامنة لمنطقة جزر فرسان. توضح الإجهاد الممتد لإنتشار حوض البحر الأحمر والذي يؤدي إلى سلسلة من التصدعات الكتلية، ويستدل على أماكن التصدعات من الجزر والتي تمثل التراكم والهياكل العليا، في حين أن جزر تتكون نتيجة التكتونيات الملحية (ليست موضحة هنا)

تطور أوقيانوغرافيا حوض البحر الأحمر

يرمز إلى تاريخ إنتشار المحيطات على حسب نوع القشرة المحيطية، في حين أن المحيط نفسه يؤرخ في سجله الرسوبي. وعموماً وفي أوائل العصور الميوسيني والأليجوسني المتأخر تشكلت طبقة قارية رقيقة حمراء يرافقها تكوينات بركانية بازلتية طفيفة. ومنذ أكثر من 20 مليون سنة كان يغلب على الرسوبيات البحرية الضحلة بعض تجمعات الحبيبات الخشنة والرمال على حواف الصدع والحبيبات الدقيقة والحجر الطيني والطيني نحو وسط الصدع. ولأن هناك أنماطاً مختلفة من التصدع في جميع أنحاء البحر الأحمر، والمناطق المتاخمة ومفصولة عن المناطق المستوية، فإن تكوينها وتفصيلها تختلف ديناميكياً (Purser & Bosence 1998). وهكذا، كل التصدعات داخل منظومة الصدع تختلف في الشكل والتركييب والتطور. ولقد تكونت أعظم الرسوبيات في ما يعرف بحقبة البورجيداليان (ذروة التصدع: من 21 - 15 مليون سنة) مع تراكمات كثيفة من طمي الجلوبيجارينا والصلصال في أحواض الصدع المركزية. ثم تلتها فترة الميوسين وكانت حقبة تكوين ووفرة الشعاب في البحر الأحمر مع وجود التجمعات المرجانية الكبيرة الحجم والمتطورة في جميع أنحاء البحر الأحمر (Perrin et al., 1998). وقد سادت هذه الشعاب (16 جنساً و 27 نوعاً) مراجين من البحر الأبيض المتوسط (على سبيل المثال الأجناس التالية *Porites, Tarbellastrea, Montastraea*) وهو نصف عدد الحيوانات في البحر الأبيض المتوسط في ذلك الوقت (Perrin et al., 1998). وبمجرد تكون هذه الشعاب، كان هناك اتصال واسع مع البحر الأبيض المتوسط عند السويس، في حين لم يتم بعد إتصال من الجنوب مع خليج عدن حتى الآن. ومع نهاية العصر السيراتاليوني إلى العصر التورتناني (أكثر من 12 مليون سنة) فإن الشق أو صدع هذا الحوض أصبح معزولاً عن دورة مياه المحيط المفتوح ونتيجة لمعدل البخر العالي تكونت طبقة سميكة من الرواسب في فترة عرفت بإسم التبخر الكبرى. وهذه الطبقة من الرواسب أرخت لحقبة الميزينيان (منذ ما يقرب من 6 مليون سنة) وما نتج عنها من أزمة زيادة الملوحة الشديدة في البحر الأبيض المتوسط، وبما لا يقل عن 5 ملايين سنة، وبالإشارة لحقبة التبخر الكبرى كحدث مستقل، يظهر بوضوح الإستقلال الأوقيانوغرافي للبحر الأحمر عن البحر الأبيض المتوسط. ففي كثير من مناطق البحر الأحمر، فإن كيمياء هذه الرواسب (الكبريتات في المقام الأول والهالايت) توحي بأنها مقتطعة من الحوض، وأنها لم تتبخر تماماً، ولم تستعص الظروف الطبيعية بشكل كامل، ولكن كانت تتعرض لفترات متكررة من التبخر عمليات الترسيب والإطماء. ونتيجة لتحرك هذه الرواسب الملحية فإن الضغوط الواقعة على الرواسب الحديثة الثقيلة والتكتونيات الملحية، هي المسؤولة عن تشكيل العديد من الجزر و هياكل قاع البحر، ولاسيما في جنوب خليج السويس (على سبيل المثال أرخبيل الجفتون؛ Orszag-Sperber et al., 1998) وجنوب البحر الأحمر (أرخبيل دهلك وفرسان، Purser & Bosence 1998). وفي العصر الحديث وحتى الآونة الأخيرة، سادت ظروف طبيعية مع الإتصال بالمحيط الهندي عبر باب المنذب وخليج عدن (McClay et al. 1998). وأيضاً في العصر الحديث، فإن برزخ السويس، أصبح مرتفعاً بشكل كامل وانقطعت صلته الدائمة مع البحر المتوسط. والآن وللمرة الأولى فإن الإتصال مع المحيط الهندي سمح لحيوانات استوائية نموذجية من المحيطين الهندي والهادئ لتتطور وتتمو في البحر الأحمر.



مخطط لحوض البحر الأحمر

أعلى : نوع من الانتشار مختلف في المناطق الشمالية عنه في المناطق الجنوبية. لقد تكون خليج العقبة نتيجة ارتطام وحركة إنزلاق جانبي، مشكلاً حوض عميق. وهذه الضغوط الممتدة التي تسببها هذه الحركة تؤدي إلى صدع في منطقة خليج السويس، وبالتالي فإن خليج العقبة عميق، وخليج السويس ضحل، في حين أن إنتشار قاع البحر في جنوب البحر الأحمر أسرع مما كان عليه في شمال البحر الأحمر.

أسفل: وتتعكس معدلات التباين في الإنتشار بظهور أنواع مختلفة من بروزات صخرية في القشرة الأرضية. وفي جنوب الأحمر فقط ظهر جلياً بروز صخري بحري حديث. وبسبب بطء معدلات الإنتشار في شمال البحر الأحمر، فقد تغطت بالرواسب، في حين أن القشرة المحيطية الموجودة في شمال البحر الأحمر مرتبطة بحوادث إنتشار سابقة.

الطقس والمناخ في البحر الأحمر

يقع ساحل البحر الأحمر على حافة نظامين من الطقس العالمي التي تتقلب موسمياً، مع تغييرات في الرياح السائدة وهطول الأمطار وأنماط دوران المياه ودرجة حرارة الهواء. إن الطبيعة القاحلة للمناخ والطقس الساخن والمستويات العالية من الإشعاع الشمسي وسقوط أمطار محدود وغياب الأنهار وتقلب إتجاه الرياح الموسمية، كل هذه العوامل ساهمت معاً في خلق بعض الظروف البيئية القاسية في المناطق المدارية، وفي منطقة الخليج العربي.

وتشمل الظواهر الأساسية لنظام الطقس الآتي:

- (1) رياح صيفية مصاحب لها تيارات رأسية قبالة جنوب البحر الأحمر.
- (2) رياح شتوية قوية قبالة شمال البحر الأحمر والتي تسبب تغييرات عالية في البخر والملوحة.
- (3) تغييرات في نظام الرياح المحلية ينتج عنها إختلافات موسمية لمستوى سطح البحر لمتراً تقريباً.

التغيرات المناخية الموسمية ونظم دورات الرياح المحلية

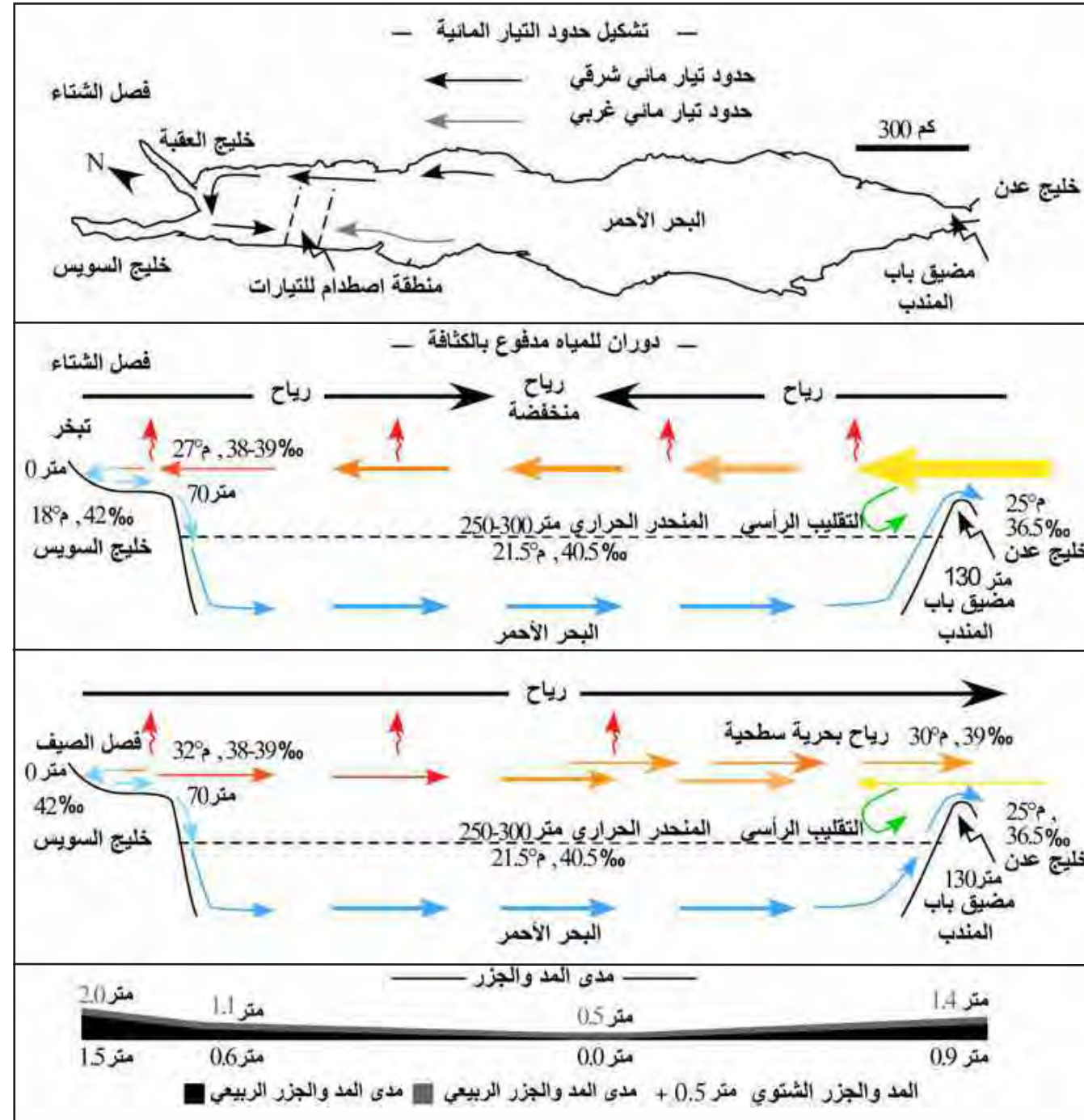
يتأثر البحر الأحمر بنظام الطقس الآسيوي والذي يسبب نوعين من الرياح الموسمية في المحيط الهندي. فخلال فصل الشتاء في البحر الأحمر تدفق نوعان من الرياح، أحدهما من الشمال الغربي إلى الشمال والثاني من الجنوب الشرقي إلى الجنوب، وتتلاقى الكتلتان في وسط البحر الأحمر. وخلال الربع الأول من كل سنة تهب رياح شمالية شرقية موسمية، مع وجود رياح متدفقة من الشرق عموماً وصولاً إلى منتصف البحر الأحمر، وفي المقام الأول لا يتأثر شمال البحر الأحمر بالرياح الموسمية الشمالية الشرقية أو من تدفق الرياح الشمالية الغربية نتيجة لطقس البحر الأبيض المتوسط. وفي الربع الثاني من العام تتراكم وتهب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية مع رياح تتدفق باستمرار على إمتداد البحر الأحمر. وغالباً ما يتأثر البحر الأحمر يومياً خلال فصل الصيف بنسيم البحر والتي تهب عموماً من الشمال الغربي وتزداد قوته في فترة ما بعد الظهر؛ وهذه الرياح السائدة تؤثر على نمو وشكل الشعاب المرجانية، والتي تميل أن تنمو لتصبح في اتجاه الأمواج السائدة. كما أن أنماط الرياح تؤثر أيضاً على التوزيع المكاني وحجم غابات أشجار الشوري (مانجروف) والتي توجد داخل الخلجان.

التيارات المائية ودورانها

إن أنماط دوران المياه في البحر الأحمر هي في الغالب مدفوعة إلى حد كبير من خلال تدرج الكثافة، مع وجود إتجاه عام لتدفق المياه السطحية إلى الشمال والجنوب ومع عودة للمياه الكثيفة تحت المنحدر الحراري وعلى عمق 250 - 300 م. والانخفاض في درجات الحرارة مع وجود مستويات عالية من التبخر (1 - 2 م/سنة) في الشمال يؤدي إلى زيادة ملوحة البحر بمقدار 4 درجات في الألف وزيادة كثافة المياه السطحية. ويرجع التدرج الحاد في الملوحة في خليج السويس مع إختلاف واضح عن شمال البحر الأحمر، إلى تركيز المياه المالحة الباردة والكثيفة بالقرب من مدخل خليج السويس، ومع دخول هذه المياه إلى البحر الأحمر فإنها تهبط وترتد في إتجاه الجنوب أسفل المنحدر الحراري (250 - 300 م). وهناك فقدان كبير لمياه البحر الأحمر نتيجة للمستويات العالية من التبخر (1 - 2 م / سنة) وإنخفاض معدل هطول الأمطار (عادة لا يزيد عن 10 ملم / سنوياً)، وفقدان الماء وتدفقه إلى الشمال ومنه إلى البحر المتوسط، وذلك بسبب الإختلافات في إرتفاع المد والجزر بين البحر الأحمر والبحر المتوسط. ونتيجة لهذا الفقد تتدفق إلى الداخل المياه من المحيط الهندي عن طريق باب المندب. وتتدفق المياه السطحية في فصل الشتاء من خليج عدن إلى البحر الأحمر مدفوعة برياح سائدة تبلغ درجة حرارتها حوالي 25° وملوحة 36.5 جزء في الألف، في حين تتدفق نحو الخارج من البحر الأحمر المياه العميقة ذات ملوحة عالية (40.5 جزء في الألف) ودرجة حرارة منخفضة (21.5°). وفي الصيف، يستمر التدفق إلى الداخل من المياه السطحية وتدفق للمياه العميقة إلى الخارج. لكن، وكما في البحر الأحمر فإن إرتفاع درجات الحرارة، يؤدي إلى أن تصبح المياه السطحية أقل كثافة، مما يؤدي إلى تقسيم الطبقة العليا إلى عنصرين مياه ضحلة تتجه نحو الجنوب إلى خارج البحر الأحمر مدعومة بالرياح، وأخرى باردة تتدفق إلى الداخل قادمة من خليج عدن.

الأمواج والمد والجزر

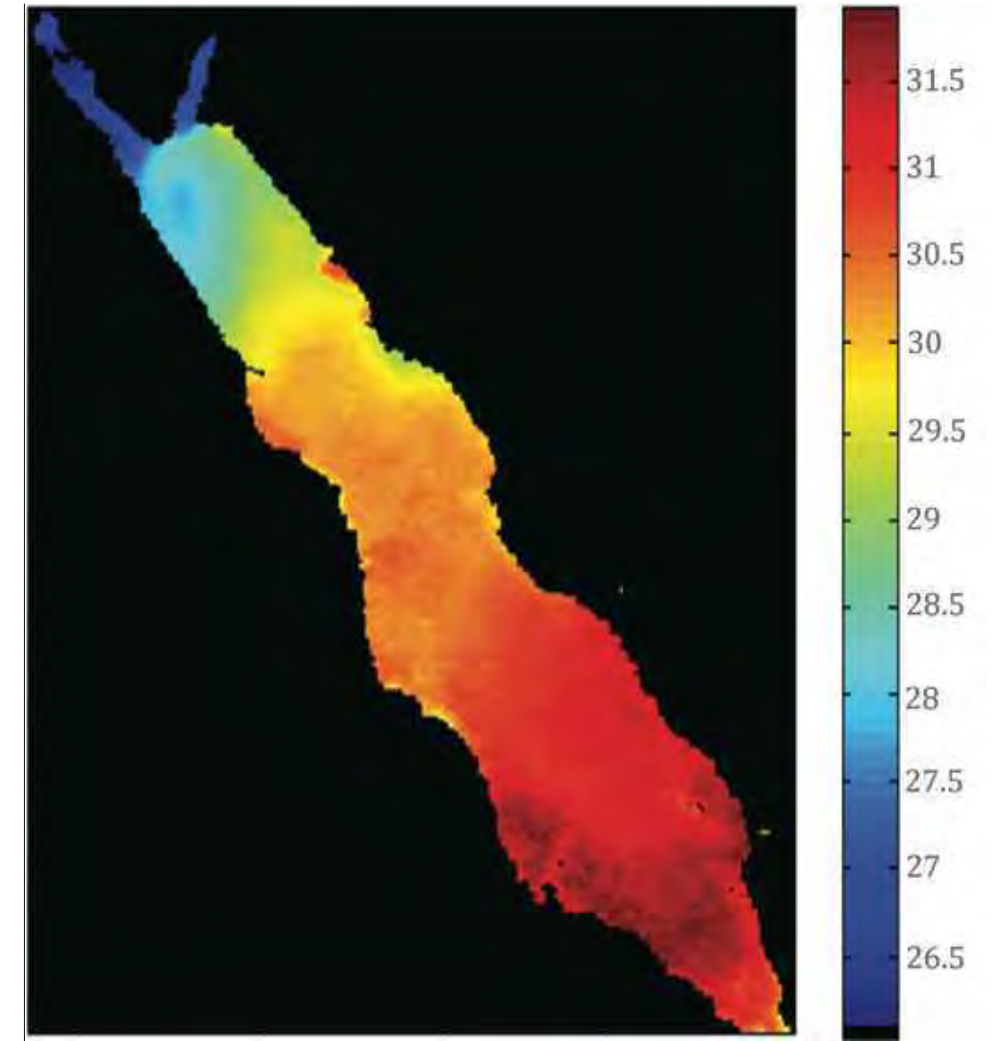
يختلف المد والجزر في البحر الأحمر وبشكل كبير عنه في المحيط الهندي والخليج العربي. إن المد والجزر في البحر الأحمر طفيف ويحدث مرتين في اليوم (نصف نهاري المد والجزر)، ويتأرجح حول نقطة في وسط البحر الأحمر، وتقريباً في خط عرض بورسودان. ويزداد نطاق المد والجزر مع الإبتعاد عن تلك المنطقة المركزية، من زيادة تقريباً يومياً إلى نحو 0.6 م في الشمال وتصل إلى 0.9 م في الجنوب. ويضاف إلى التقلبات اليومية في المد والجزر التغيرات الموسمية، مع مستويات عادية لمستوى المياه خلال فصل الصيف إلى حوالي نصف متر عما كان عليه في فصل الشتاء. ويرجع هذا الفرق أساساً إلى زيادة التبخر في فصل الصيف والتيارات البحرية الناتجة عن الرياح في مدخل البحر الأحمر.



رسم تخطيطي يوضح الإتجاه السائد لتدفق المياه بسبب التيارات المتاخمة (أعلى)، وآثار الرياح والتبخر على دوران المياه خلال فصل الشتاء (وسط أعلى) والصيف (منتصف أسفل). والشكل أسفل يصور المقطع العرضي لحوض البحر الأحمر، مما يدل على مدى المد والجزر المرتبط بالمد الربيعي خلال أشهر الصيف، والزيادة الموسمية في المد الربيعي خلال فصل الشتاء

درجة حرارة المياه

تتفاوت درجات الحرارة العادية للمياه السطحية في جميع أنحاء الحوض الرئيسي بين نحو 22° في فصل الشتاء و 32° في فصل الصيف، مع وجود درجات الحرارة الأكثر دفئاً بين خطي عرض 15 - 18 شمالاً. ودرجات حرارة المياه السطحية هي أقل قليلاً في نهاية جنوب البحر الأحمر بالقرب من باب المندب بسبب تدفق المياه الباردة من خليج عدن. وهناك أيضاً انخفاض تدريجي في درجات الحرارة في اتجاه الشمال، ليصل إلى أدنى مستوى في خليج السويس. إن البحر الأحمر فريد من نوعه بين المحيطات المدارية لوجود مياه مستقرة دافئة في جميع أعماقه، وتستمر درجة حرارة المياه في الثبات في كل مكان من 21.5° عند عمق 250 م إلى قاع البحر، فيما عدا مناطق الحمات المالحة الساخنة. وفي المقابل، فإن درجات حرارة المياه في كل الأماكن العميقة تنخفض إلى أقل من 10°.



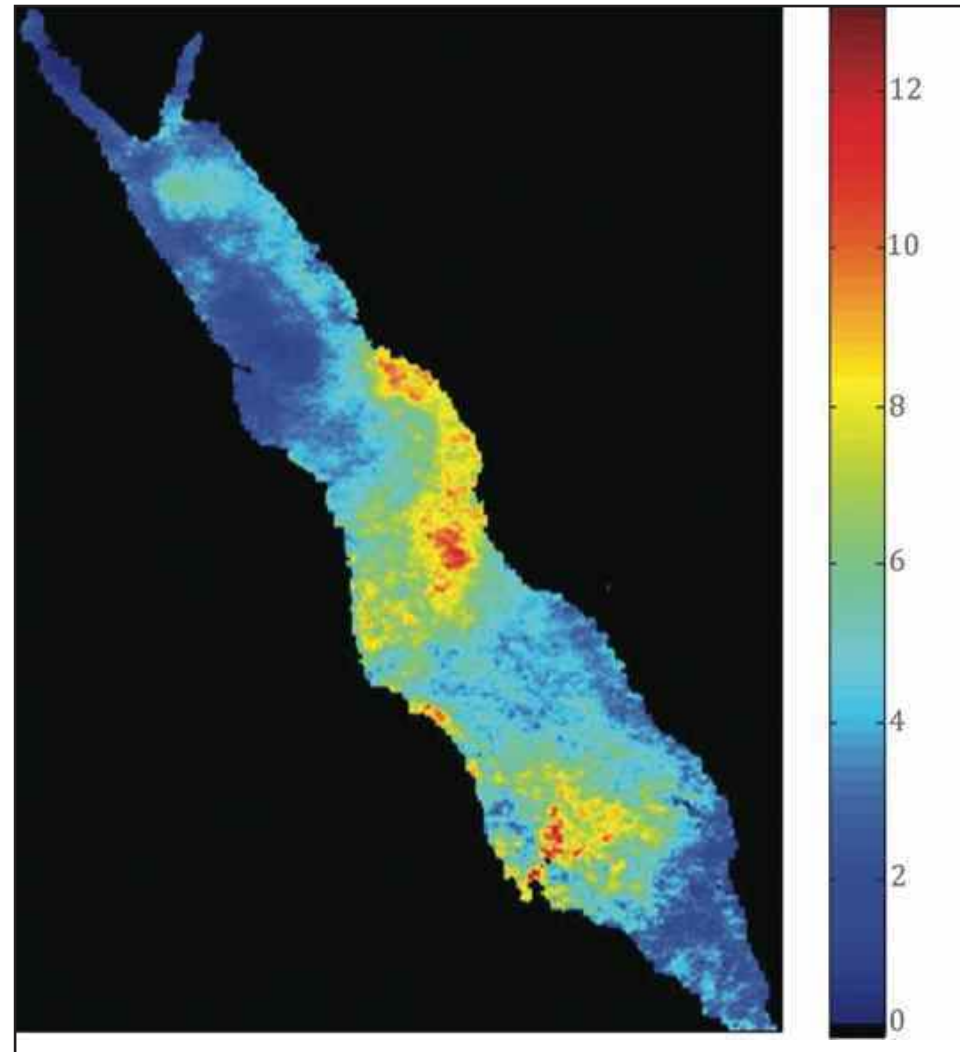
أعلى: المعدل السنوي لدرجات حرارة المياه السطحية القصوى في البحر الأحمر، مقتبسة من بيانات أقمار صناعية لمتوسط عشرة سنوات من 1997 - 2007

يسار: متوسط درجات الحرارة لعدة أسابيع التي سجلت في مواقع مختلفة في البحر الأحمر ما بين 1995 - 2005. ودرجة الحرارة خلال أسبوع تقيس مدى تجاوز درجات الحرارة الأسبوعية متوسط الحد الأقصى لدرجة الحرارة الشهرية. متوسط درجة الحرارة لعدة أسابيع مماثل للإجهاد الحراري الموجود في كل موقع

هطول الأمطار والتبخر والملوحة

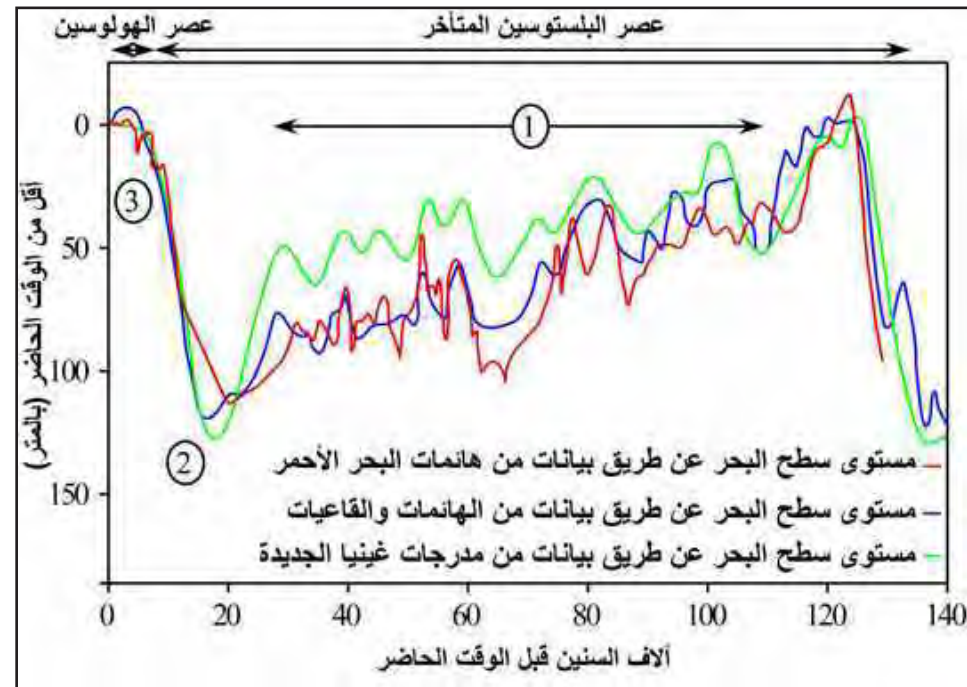
يعتبر المناخ في المنطقة جاف للغاية، ويبلغ متوسط هطول الأمطار أقل من 70 ملم/السنة على طول سهول تهامة الساحلية الواسعة من البحر الأحمر (ضفة الوجه : 16 ملم سنة ؛ جدة: 63 ملم/سنة ؛ جيزان : 63 ملم/سنة). وفي الداخل، وفوق الجرف الساحلية، فإن معدل الأمطار غالباً ما يتجاوز 200 ملم/سنة. ولا توجد أية أنهار تصب في أي مكان على طول ساحل البحر الأحمر. ومع ذلك، هناك عدد من الوديان تنشأ في الجبال المجاورة وتنتهي عند الساحل. وتتجمع هذه المياه من الجبال خلال الفيضانات الموسمية وتعتبر السهول وفي نهاية المطاف إلى الموانئ الساحلية حاملة معها الرسوبيات الطينية.

وتتراوح معدلات التبخر في البحر الأحمر ما بين 1 - 2 م/سنة، مع استمراره خلال فصلي الشتاء والصيف. كما أن هناك زيادة تدريجية في الملوحة نحو الشمال، مع متوسط ملوحة قدره 36.5 جزء في الألف عند باب المندب إلى 40.5 جزء في الألف في الشمال عند مدخل خليج العقبة والسويس. وفي فصل الشتاء فإن الملوحة في تزايد مستمر في خليج السويس عند انخفاض درجة حرارة المياه إلى ما دون 18°، وباستمرار التبخر تستمر زيادة الملوحة لتصل إلى 42.5 جزء في الألف، مما يسبب تدرج شديد الانحدار في الملوحة الشديدة والكثافة وإختلافات ملحوظة حيث تتجمع مع مياه البحر الأحمر وتهبط إلى الأعماق. وإجمالاً، هناك فارق كبير جداً في درجات الحرارة والملوحة بين المياه السطحية والمياه العميقة في شمال البحر الأحمر، مع زيادة هذه الفروق في اتجاه الجنوب.



تغير مستوى سطح البحر

لقد أثر تغير مستوى سطح البحر في الماضي على عمليات تكوين وتآكل الشعاب في الحاضر. وتتمثل الظواهر الهامة لتغير مستوى سطح البحر في: 1) فترة طويلة في العصر الحديث 110,000 - 30,000 سنة ومستوى سطح البحر يتراوح عادة بين 30 و 60 م أقل من الوقت الحاضر، 2) الانخفاض الشديد في مستوى سطح البحر إلى 120 م بعد هذه الفترة، و 3) طول الوقت وإرتفاع مستوى سطح البحر من حوالي 5,000 سنة إلى الوقت الحاضر (Sheppard et al. 1992). وفي الفترة من 35,000 إلى 17,000 سنة، اتسم المناخ بهطول الأمطار الغزيرة مما أدى إلى تدفق طبقات من الطمي، وتكوين مراسي وشروم واسعة (Purkis et al. 2010). وهذه التكوينات والتركييب توفر قاعدة هامة للنظم البيولوجية والرسوبية المعاصرة. وفي الواقع فقد تكونت الشعاب قبل عمليات التأثير بالاختناق عقب التعرض للانكشاف الجوي. إن انخفاض مستويات البحر الأحمر خلال العصر الحديث، وزيادة هطول الأمطار أدى إلى احتمال أن تنخفض الوديان إلى 60 - 90 م تحت المستويات الحالية. ويعتقد أن عتبة حنيش، (المكان الأقل ضحالة عند باب المندب)، تعرضت خلال 17,000 عام الماضية إلى انخفاض مستوى سطح البحر. كما أن الإغلاق الكامل للبحر الأحمر من التبادل مع المحيط الهندي كان له تأثير عميق على الكائنات الحية. وأدى هذا المزيج من المناخ الجاف وشبه الإغلاق الكامل إلى زيادة كبيرة في الملوحة نتيجة للتبخر، مما تسبب في إمكانية حدوث انقراض على نطاق واسع، بما في ذلك الشعاب المرجانية الصلبة. وفي خلال حقبة الهولوسين الحديثة تغير مستوى سطح البحر من ارتفاع لأكثر من 1 م منذ ما يقرب من 6,000 سنة إلى الانخفاض التدريجي للمستوى الحالي (Sheppard et al. 1992).

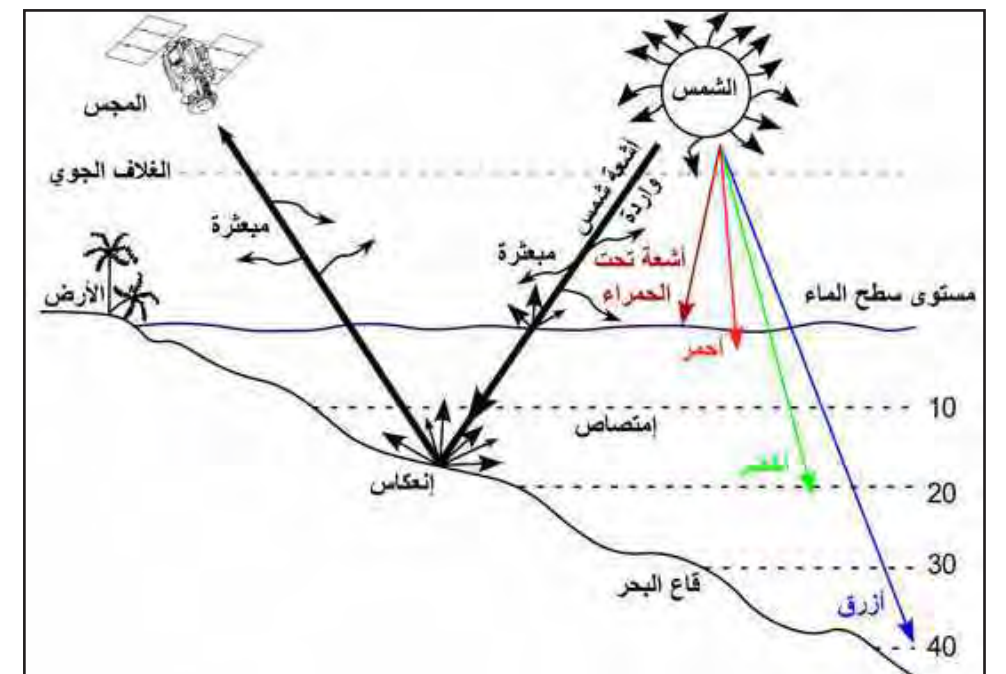


المستويات الماضية لمستوى سطح البحر باستخدام منحني البحر الأحمر، بيانات محسوبة من العوالق (الخط الأحمر)، ومزيج من العوالق والقاعيات (الخط الأزرق، Siddall et al. 2003) ومنحنيات لمستوى سطح البحر لمصاطب غينيا الجديدة (الخط الأخضر، Lambeck & Chappell 2001)

الاستشعار عن بعد البصري

إن الغالبية العظمى من الخرائط المعروضة في هذا الأطلس منتجة باستخدام الصور التي تم جمعها من أقمار صناعية تعمل بالأشعة تحت الحمراء سلبية الطيف المرئي. وفي أضيق الحدود تم استخدام صور جوية تم الحصول عليها من الطائرة. إن المقاربة البصرية لرسم خرائط الشعاب المرجانية له العديد من المزايا بما في ذلك القدرة على توصيف مناطق واسعة بشكل لا يصدق مع جهد حقل قليل نسبياً. إن تقنيات الاستشعار عن بعد تعتبر أداة جيدة ومناسبة لدراسة المناطق التي يصعب الوصول إليها مكانياً. والاستشعار عن بعد البصري السلبي من الأقمار الصناعية والطائرات هي تكنولوجيا ناضجة وتمثل إستراتيجية خرائط قوية وفعالة من حيث التكلفة.

تعتبر صور الأقمار الصناعية والطائرات ما هي إلا عملية تسجيل لإنعكاس ضوء الشمس من سطح الأرض. وخلال مسارها إلى سطح الأرض، فإن جزء كبير من أشعة الشمس تنتشر وتنتشر بواسطة جزيئات وغازات الغلاف الجوي. ويحدث على سطح الماء إنعكاس جزئي، فضلاً عن الإنكسار. وإذا كان الحد الفاصل بين الهواء والماء (سطح الماء) مضطرب فإن إنعكاس الضوء في الهواء يكون كبيراً في حين إختراق الضوء في الماء يبقى منخفضاً. وفي وقت التقاط الصورة عندما تكون الشمس منخفضة في الأفق أو سطح الماء مضطرب وهائج تظهر بوضوح مشكلة بريق الشمس أو البريق على تلك الصورة. وعلى النقيض من ذلك، إذا كانت المياه هادئة وواضحة، والشمس مرتفعة فوق الأفق، فإن جزء لا بأس به من الضوء يخترق سطح الماء، وينتشر ويتزايد نحو قاع البحر، ويمتص الضوء بشكل متفاوت كلما إخترق كتلة مائية. ومعظم الأشعة تحت الحمراء، تعتبر ضوء ذا طول موجي يتراوح ما بين 700 نم و 30,000 نم، تمتص عند سطح الماء. في حين أن الأشعة الحمراء (600 - 700 نم) تخترق سطح الماء إلى أمتار قليلة، والضوء الأخضر (500 - 600 نم) إلى حوالي 20 م، والضوء الأزرق (400 - 500 نم) يبلغ أقصى عمق والذي قد يصل إلى مئات الأمتار، ولكن الاستشعار عن بعد يصلح للدراسة حتى عمق 40 م فقط.

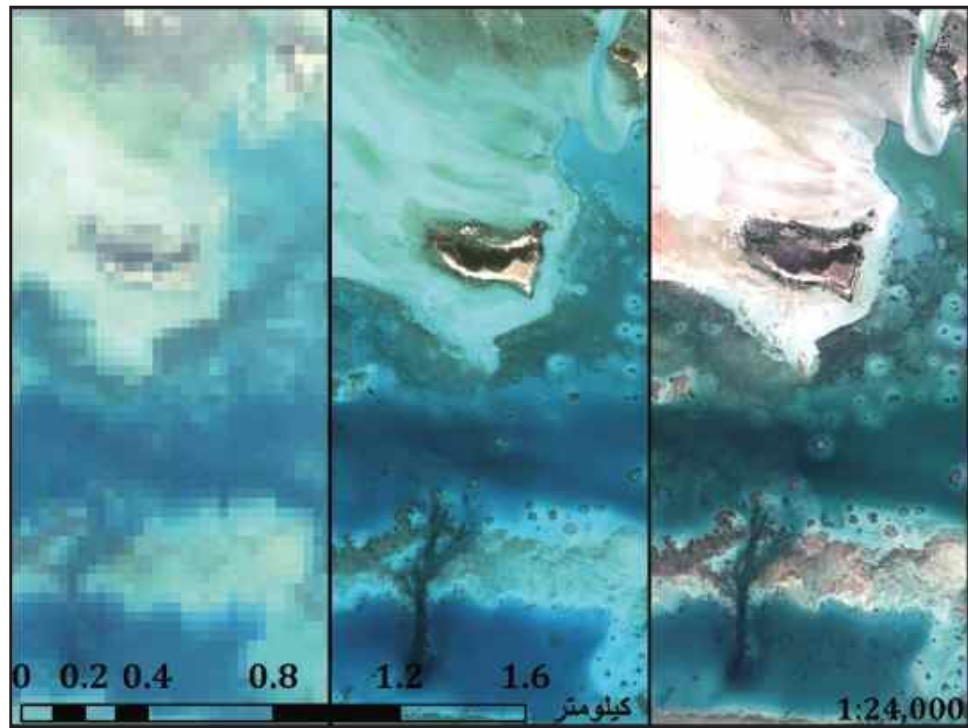


إن العكارة في عمود الماء، وبحكم وجود زيادة تشتت للضوء من الجسيمات العالقة فإن ذلك يقلل من عمق تغلغل الضوء في الماء. وصور الاستشعار عن بعد والتي التقطت في وجود عكارة شديدة / أو خشونة واضطراب في سطح الماء عديمة الفائدة لاستخدامها في رسم الخرائط نظراً لوجود حجب لقاع البحر حتى في المناطق الضحلة جداً. والطاقة الضوئية التي تمر من خلال عمود الماء تتفاعل مع المنعكسة من قاع البحر. وقد ينعكس جزء من الضوء، وإن كان عادة ما هو إلا جزء ضئيل من تلك التي تسقط أصلاً على سطح البحر، فقد يصعد مرة أخرى من خلال عمود الماء إلى المياه السطحية، أو الغلاف الجوي قبل أن يتم اعتراضه من قبل أجهزة الاستشعار عن بعد. والممارسة العملية لرسم خرائط موائل قاع البحر باستخدام أجهزة الاستشعار البصرية تقودنا إلى حقيقة أن مختلف أنواع قاع البحر لها خصائص مختلفة في عملية الانعكاس. فعلى سبيل المثال فإن مسطحات الحشائش البحرية الكثيفة، وبحكم محتوى الكلوروفيل فيها، تعكس في الغالب الضوء في الجزء الأخضر من الطيف، في حين تمتص الضوء الأحمر والأزرق. وفي المقابل، فالرمل له إنعكاس على جميع موجات الضوء المرئي، على الرغم من الزيادة في القيمة باتجاه الجزء الأحمر من الطيف. ولأن الضوء لا بد أن يمر عبر الغلاف الجوي، وواجهة سطح الماء وعمود الماء مرتين في طريقه من المصدر إلى أجهزة الاستشعار، فإن رسم خرائط موائل قاع البحر باستخدام أجهزة الاستشعار البصرية قاصر فقط على المياه الإستوائية الشفافة مع عمق لا يتجاوز 35 م تقريباً. وأجهزة الاستشعار الخاصة بالتصوير قد تكون محمولة على مجموعة متنوعة من المنصات، ولكن عادة ما تستخدم قمراً صناعياً أو طائرة. إن الأجهزة الحديثة المستخدمة في رسم الخرائط عادة ما تعمل بطريقة دفع المكسنة. ويتم تسجيل إنعكاس ضوء الشمس المرتد من الأرض بواسطة مجموعة من أجهزة الاستشعار الخطية البصرية. والصورة الرقمية الناتجة عبارة عن شبكة مستطيلة حيث تتميز كل خلية، و يشار إليها عادة «بيكسل»، بوصفها عدد رقمي. وهذا الرقم يتطابق مع قياس الضوء من منطقة محددة على أرض الواقع. ويمكن توسيع حجم المنطقة التي يراد دراستها في أي وقت (عرض الرقعة) عن طريق زيادة حجم مجموعة أجهزة الاستشعار، أو زيادة ارتفاع أجهزة الاستشعار فوق الأرض، أو توسيع المجال المرئي لجهاز الاستشعار. وكلما ارتفع الجهاز فوق الجسم المستهدف، فإن كل بيكسل في الصورة الناتجة يصبح أكبر حجماً. ومجسات الطائرات عادة ما تكون أقرب إلى الهدف وأعلى دقة مكانية من أجهزة إستشعار الأقمار الصناعية.

يمين: رسم تخطيطي يصور مصير الفوتونات في المياه الإستوائية الضحلة. الإشارة التي تنعكس من قاع البحر تحتوي على معلومات قابلة للتطبيق ومستخدمة من قبل جهاز إستشعار لتفسير الصفات القاعية

إن هناك سمة مهمة لأجهزة الاستشعار البصرية ألا وهي مستوى التفصيل الطيفي، أو «الدقة الطيفية» التي تقدمها، وعادة ما تكون أجهزة الاستشعار إما طيفية متعددة أو طيفية فائقة. وأجهزة الاستشعار متعددة الأطياف تقيس الضوء عبر حزمة من أجزاء منفصلة من الطيف الكهرومغناطيسي. ويطلق على كل من هذه الأجزاء «حزمة». وتمتلك أجهزة الاستشعار الطيفي عدة مئات من الحزم الضيقة المتجاورة، بحيث يمكن أن يغطي جميع الطيف المرئي بقدر كبير من التفصيل. وهذه الزيادة في الدقة والتفاصيل الطيفية تسمح وتعزيز طيفياً معرفة موائل قاع البحر المتماثلة (مثل الفصل بين الطحالب والحشائش البحرية). والأقمار الصناعية التي تدور، وتسير بسرعة كبيرة وعلى ارتفاع عالي فوق سطح الأرض، عادة ما تكون متعددة الأطياف. وهذه المجسات لا تبقى لفترة طويلة فوق بقعة واحدة بما يكفي للسماح بقياسات طيفية مفصلة دون التضحية بالدقة المكانية.

إن عرض الرقعة من الصور التي تم الحصول عليها من طائرات أصغر بكثير من التي تم الحصول عليها من القمر الصناعي. ويتم الحصول على نفس التغطية الجوية عبر القمر الصناعي في ثوان بينما يلزم لذلك أيام بواسطة الطائرات. وبالتالي، هناك مفاضلة في مدة اقتناء الصور (التكلفة) مقابل الدقة المكانية والطيفية. وأجهزة (GPS) تستخدم في قياس الموقع، في حين يستخدم الجيروسكوب لقياس المستوى، والدوران وزاوية الإنعراج من الطائرة. ويتم عادة تصحيح كل هذه الآثار من قبل متعهد مسح الصور قبل تسليم الصور. في حين أن صور الأجهزة الجغرافية المكانية ذات دقة عالية ويسهل الحصول عليها مقارنة بالصور التي يتم جمعها باستخدام منصة أقمار صناعية أكثر استقراراً.



مقارنة بين دقة صور لجزء من ضفة الوجه بمقياس رسم 1 : 24000 من لاندسات (يسار)، كويك بيرد (وسط) وأسيا إيجل (يمين)

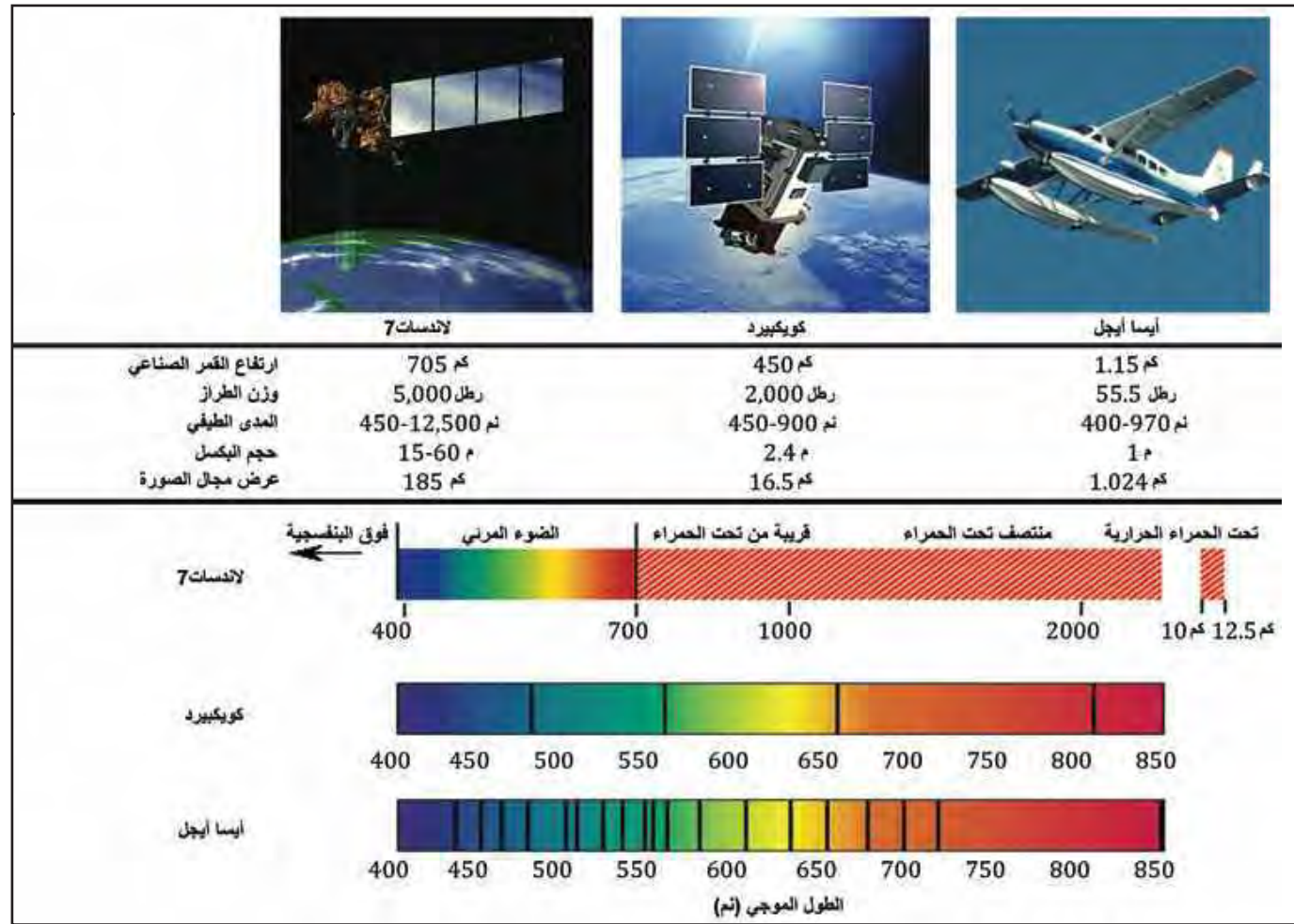
أجهزة الاستشعار عن بعد الضوئية المستخدمة في هذا المشروع

قدم القمر الصناعي كويك بيرد (شركة ديجيتال جلوب) الجزء الأكبر من الصور المستخدمة في رسم الخرائط في هذا الأطلس. إن الدقة المكانية لجلوب كويك بيرد حوالي 60 سم (بان - كروماتي) و 2.4 م (متعدد الأطياف) عبر مجموعة من الأطوال الموجية تتراوح ما بين 450 - 900 نم. وتشير بان - كروماتي إلى صورة رمادية بمقياس مستمدة من قياس طيف عرضي وحيد. يدور القمر الصناعي كويك بيرد في كل 93.4 دقيقة على ارتفاع 450 كلم بزواوية ميل 98 درجة متزامنة مع الشمس. إن عرض الرقعة لكل صورة مشهد هو 16.5 كم. وقد قامت مؤسسة خالد بن سلطان بشراء صورة من كويك بيرد مساحتها حوالي 25,000 كم² وبدقة حوالي 11 بت، والتي تمتد على طول جزء كبير من الساحل السعودي للبحر الأحمر. وهذه المشاهد الفضائية تمتد من الشاطئ إلى عمق يصل إلى 20 - 30 م. وتم تقييم جودة جميع صور كويك بيرد قبل عملية الشراء. واستبعدت الصور التي بها بريق سطح البحر وغطاء سحب، أو غيرها من العوامل التي تحجب ملامح قاع البحر. وقد تم تصحيح الصور كمنتج جغرافي قابل للتصحيح، بحيث تم تعيين الإحداثيات الجغرافية لكل بكسل من الصورة. وقد أجريت الكثير من معالجات الصور من قبل الانتشار الحقلية بغرض تعزيز جمع البيانات.

إن لاندسات ETM + (ناسا / الولايات المتحدة للمسح الجيولوجي) هي منصة إطلاق قديمة للأقمار الصناعية منذ عام 1999 والجزء الأخير من برنامج لاندسات لمراقبة الأرض التي بدأت في عام 1972. وعلى الرغم من أن لاندسات لديها دقة مكانية رديئة (حوالي 30 م)، مقارنة بكويك بيرد، فإنها تستخدم تلك البيانات (لاندسات) للملاحة وتحديد الموقع في الحقل، فضلاً عن تصنيف الموائل في ظرف ما مثل أن تحجب سحابة ملامح الشعاب في مشاهد كويك بيرد.

وقد تم استخدام مجسات كاسي 550 (شركة إتريس)، وهي محمولة على طائرات، في جزر فرسان الغربية لمسح منطقة تبلغ مساحتها حوالي 3,200 كم²، وتطلق هذه الطائرة على ارتفاع 1.3 كم وتجمع البيانات بجودة 1.5 م لكل بكسل، مع 19 حزمة ضوئية ذات طول موجي يتراوح بين 400 و 660 نم وحزمتين بالقرب من الأشعة تحت الحمراء (NIR) ذات طول موجي (700 - 900 نم)، وهو ما يمثل 21 حزمة غير متجاورة من البيانات فائقة الطيف، وتحمل هذه المجسات على طائرة برمائية.

أما أسيا إيجل (شركة سبيسم)، فهي أيضاً مجسات محمولة على طائرة، وتم استخدامها في منطقة الوجه لمسح منطقة مساحتها حوالي 2,000 كم² تقريباً. وتم الحصول على البيانات بدقة 1 م لكل بيكسل، مع 244 حزمة كحد أقصى مخصصة لطول موجي بين 400 و 1,000 نم. وهذه تمثل مجموعة بيانات مستمرة فائقة الطيف تغطي الطيف المرئي والأشعة تحت الحمراء. وكما هو الحال مع كاسي 550، فإن هذه المجسات محمولة على طائرة مائية من طراز سيسنا.



نظم الاستشعار عن بعد المستخدمة في هذا الأطلس لجمع الصور المتعددة الطيف والفائقة الطيف. الدقة الطيفية لنظام لاندسات تضم ثلاثة حزم من الضوء المرئي، وثلاثة في مدى الأشعة تحت الحمراء العاكسة و 6 في نطاق الأشعة تحت الحمراء الحرارية. كويك بيرد تعمل في وضع بانكروماتي أو وضع متعدد الأطياف مع دقة طيفية من أربعة حزم في المنطقة المرئية (مراكز الحزم مبيّنة بخطوط سوداء). يعمل نظام إيسا إيجل مع 19 حزمة في المنطقة المرئية (خطوط سوداء) وحزمتين بالقرب من حدود المنطقة الحمراء

التحقق الحقلية من صحة البيانات

التحقق الحقلية من صحة البيانات هو مصطلح يشير إلى المعلومات التي تم جمعها من الحقل لتمكين معايرة بيانات الاستشعار عن بعد، والمساعدة في تفسير وتحليل هذه البيانات. وبالمقارنة مع الصور المقتنية من الاستشعار عن بعد، فإن التحقق الحقلية من صحة البيانات هي عملية مستهلكة للوقت وتتطلب عمل مكثف لرسم الخرائط. وبسبب ضيق الوقت والموارد، والقياسات الصوتية المحلية، فقد تم تجميع التصوير الفوتوغرافي والفيديو المرتبط بقاع البحر في نقاط محددة على طول هذا المسار الصوتي، واستخدمت قياسات الانعكاس الضوئي لضمان جمع المعلومات الأكثر أهمية لرسم خرائط الموائل، بالإضافة أنها من الممكن أن تغطي منطقة جغرافية واسعة.

إن نهج التحقق الأرضي الصوتي من صحة البيانات هي أداة قوية لرسم خرائط الشعاب لأن الماء يعتبر وسيلة ممتازة لنقل الصوت والطاقة الصوتية تسافر أسرع وأبعد مما هي عليه في الهواء. والطاقة الصوتية ذات التردد المنخفض يمكن أن تخترق عمق عمود الماء مع عدم تعطل مسارها عبر الجسيمات العالقة، مما يتيح رسم خرائط فعالة في كل البيئات سواء كانت بيئات مياه استوائية شفافة أو مياه عكرة في المناطق المعتدلة، إلى أعماق أكبر بكثير من أجهزة الاستشعار البصرية. والأجهزة الصوتية تصدر موجات صوتية وتحسب زمن عودة الطاقة المنعكسة. وفي مواجهة سطح صلب مثل قاع البحر، فإن جزءاً من الطاقة المنعكسة ينعكس مرة أخرى في اتجاه أجهزة الاستشعار. وعن طريق قياس الوقت بين الإرسال وعودة الإشارة، والمسافة بين محول انبعاث الصوت وقاع البحر، يمكن أن نحدد بدقة عمق المياه. وإذا تم استخدام شعاع واحد من الطاقة الصوتية في قياس الأعماق، على عكس أشعة متعددة، تعرف هذه التقنية ببساطة بالسونار وحيد الشعاع. وللحصول على أعماق دقيقة في الأماكن الضحلة، يستخدم عادة محول انبعاث موجة صوتية ذات تردد حوالي 60 - 210 كيلوهرتز؛ قادرة على رصد الأعماق بدقة لعدة مئات من الأمتار. وقياس الأعماق عن طريق الموجات الصوتية ذا قيمة خاصة في معايرة اللوغاريتمات الصوتية المستخدمة لتحديد عمق المياه من البيانات المتعددة الطيف والفائقة الطيف.



رسم صوتي فرعي للقاع (يسار) وجهاز قياس أعماق صوتي (يمين) مثبتة من جانب سفينة المسح. ومتصل بالرسام الصوتي للقاع كابل لنقل البيانات إلى جهاز كمبيوتر محمول على متن زورق في حين هناك كابل آخر لتثبيت المحول أثناء التجول على طول خط المسح. في حين كابل جهاز الأعماق الصوتي مثبت داخل أنابيب معدنية متصلة بالقارب

التصوير الفوتوغرافي والتصوير بالفيديو

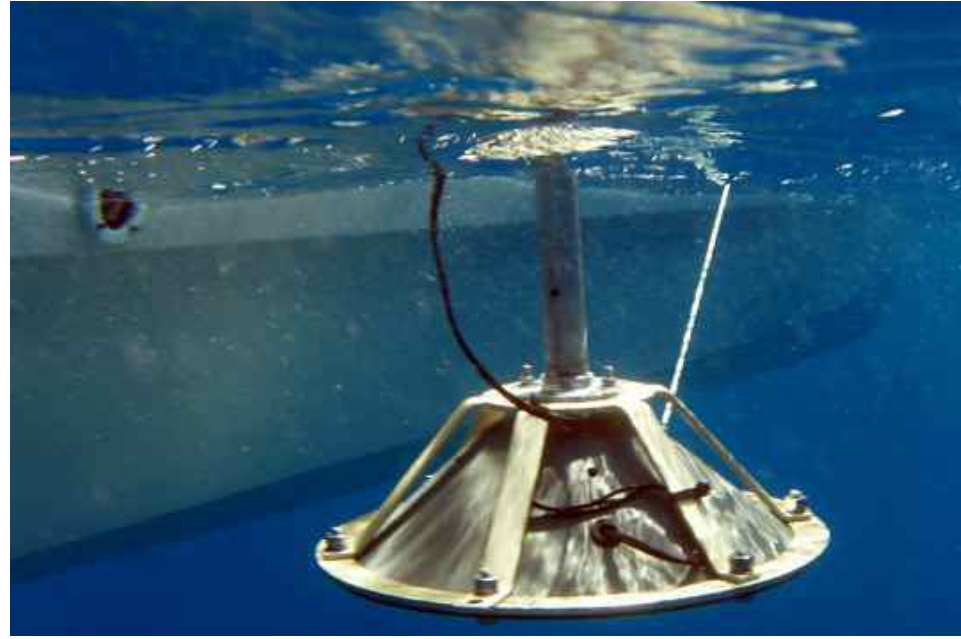
يمكن توفير خرائط دقيقة لقاع البحر من خلال تصويره (سواء التصوير بالفيديو أو التصوير الفوتوغرافي) ولكن ثبتت عدم فعالية استخدام هذه الأدوات في عمليات الرصد، فحتى لمساحات صغيرة بمقدار 1 كم² على سبيل المثال ثبت أن المركبات التي يمكن تشغيلها عن بعد (ROVs) وكاميرات الفيديو المربوطة في السفن، والمسوحات التي تتم عن طريق الغوص، قدمت جميعها وسائل مساعدة لتجميع البيانات.

فالمسوحات التي تتم عن طريق الغوص والتي تضمنت تصويراً لقطاعات من قاع البحر قد تم تنفيذها في أماكن محددة وتم دعمها من خلال كاميرات الفيديو المربوطة في السفن. وقد تم تنفيذ ذلك للتحقق من أن تصنيف قاع البحر في هذه الأماكن قد تم بشكل سليم، فعلى سبيل المثال مناطق الشعاب المرجانية حتى 100 م² قد تم تحديد أماكنها بدقة من خلال التصوير تحت سطح البحر وعن طريق تجميع العديد من الصور الفوتوغرافية لكل قطاع، حيث غطت كل صورة حوالي مترين عرضاً وعشرة أمتار طولاً، ومن ثم تم تركيبها إلى جوار بعضها البعض لتشكيل صورة كاملة للقطاع. وساعد هذا الأسلوب على إعادة تأكيد ومراجعة البيانات التي تم تجميعها على نطاق واسع من خلال صور الأقمار الصناعية والطائرات.

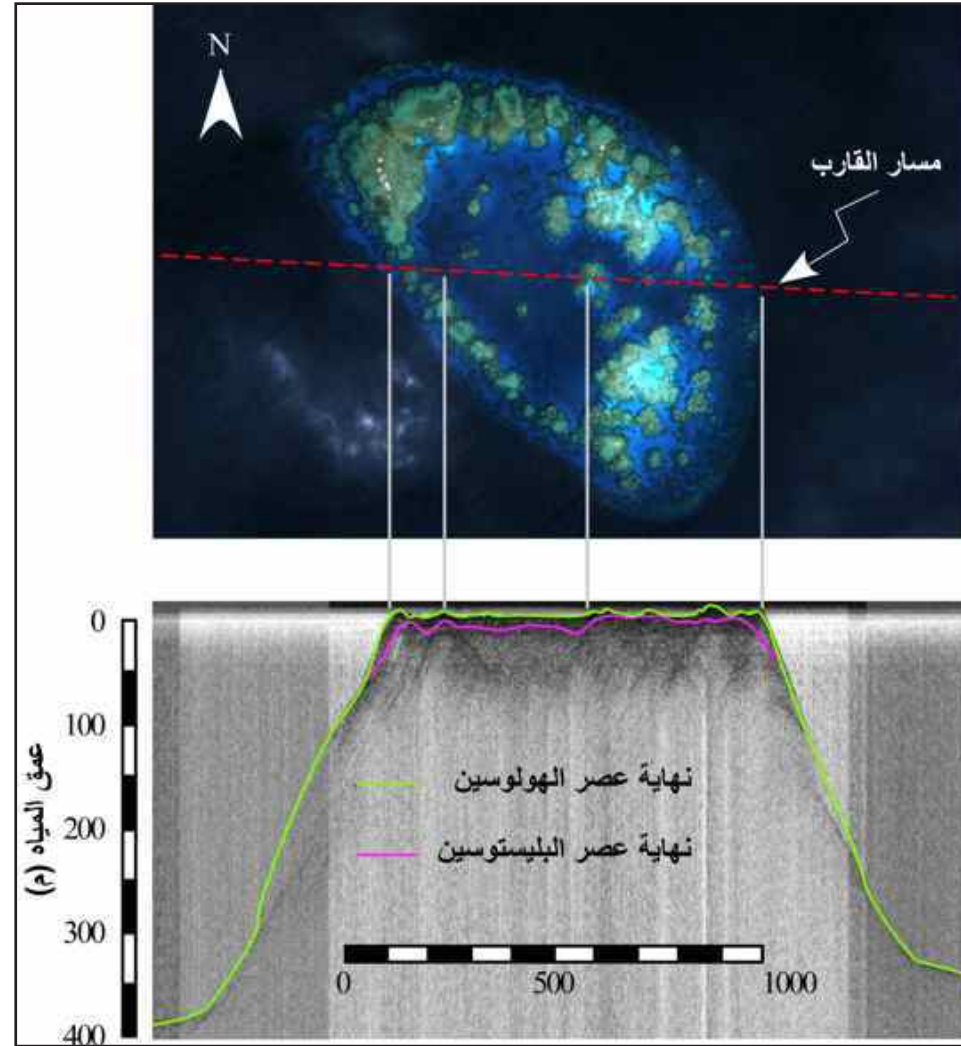
كما تم استخدام التصوير بكاميرات الفيديو المربوطة في السفينة حتى عمق بلغ 50 م للتعرف بدقة على خصائص قاع البحر وعلى الكائنات التي تعيش فيه والتنوع الأحيائي. وذلك من خلال الدمج بين نظام تحديد المواقع dGPS وبرنامج الملاحة. كما قام فريق البحث باستخدام صور الأقمار الصناعية الحديثة من QuickBird للتخطيط للمسوحات الحقلية.



شاشة رؤية مثبتة في كاميرا فيديو لوصف الموائل المختلفة



تثبيت محول ذا تردد 10 كيلوهيرتز لمسح الطبقات القاعية



أعلى : صورة كويك بيرد لشعاب برجية بعيدة في ضفة فرسان. الخط الأحمر هو مسار القارب التي اكتسبها من الرسام القاعي الجانبي
أسفل : صورة من مقطع ثنائي الأبعاد لقاع البحر

إن استخدام ترددات مختلفة من الطاقة الصوتية يساعد على التمييز بين الخصائص المختلفة لقاع البحر. ويتم اختراق الصوتيات لقاع البحر عن طريق شعاع وحيد متغير يستخدم الموجات الصوتية ذات التردد المنخفض جداً في نطاق 3 - 10 كيلوهرتز. وهذا قد يعود بالنفع على توفير قياس لأعماق أكبر للمياه (أكثر من 800 م) على الرغم من أن الدقة تكون أقل قليلاً مما يمكن أن يتحقق مع استخدام محول التردد العالي. والموجات الصوتية ذات الترددات القصيرة هي أيضاً قادرة على اختراق أسفل قاع البحر إلى الصخور والرواسب التحتية. وذبذبات الصوت المنعكسة من الطبقات التحتية لقاع البحر تنشأ عن تجاور أنواع الرواسب المختلفة. وعن طريق قياس الوقت الذي يستغرقه الجهاز في إرسال ذبذبات واستقبال الأصداء المرتدة المختلفة، يتم إنشاء تمثيل رقمي ثنائي الأبعاد للتراكيب تحت قاع البحر. ولهذا السبب يشار إلى مثل هذا الجهاز على أنه «الرسم لما تحت القاع». أما الموجات الصوتية منخفضة التردد فيمكن استخدامها لدراسة هندسة طبقات الشعاب المرجانية تحت قاع البحر. وهذه المعلومات مفيدة لإعادة تخيل وبناء لمعدل النمو في منظومة الشعاب عبر الأزمنة الجيولوجية الأخيرة. وعادة ما يتم تشغيل التقنيات الصوتية مباشرة من السفينة، أو من خلال سحبها وراء قارب أو سفينة صغيرة. ويقتصر استخدام الأدوات الصوتية على السفن التي تبحر وتنتقل بأمان، وتعمل جميع أجهزة الاستشعار الصوتية المستخدمة في هذا المشروع من مركب صغيرة (قطمران) قادرة على الوصول للمياه عمقها أقل من متر واحد.

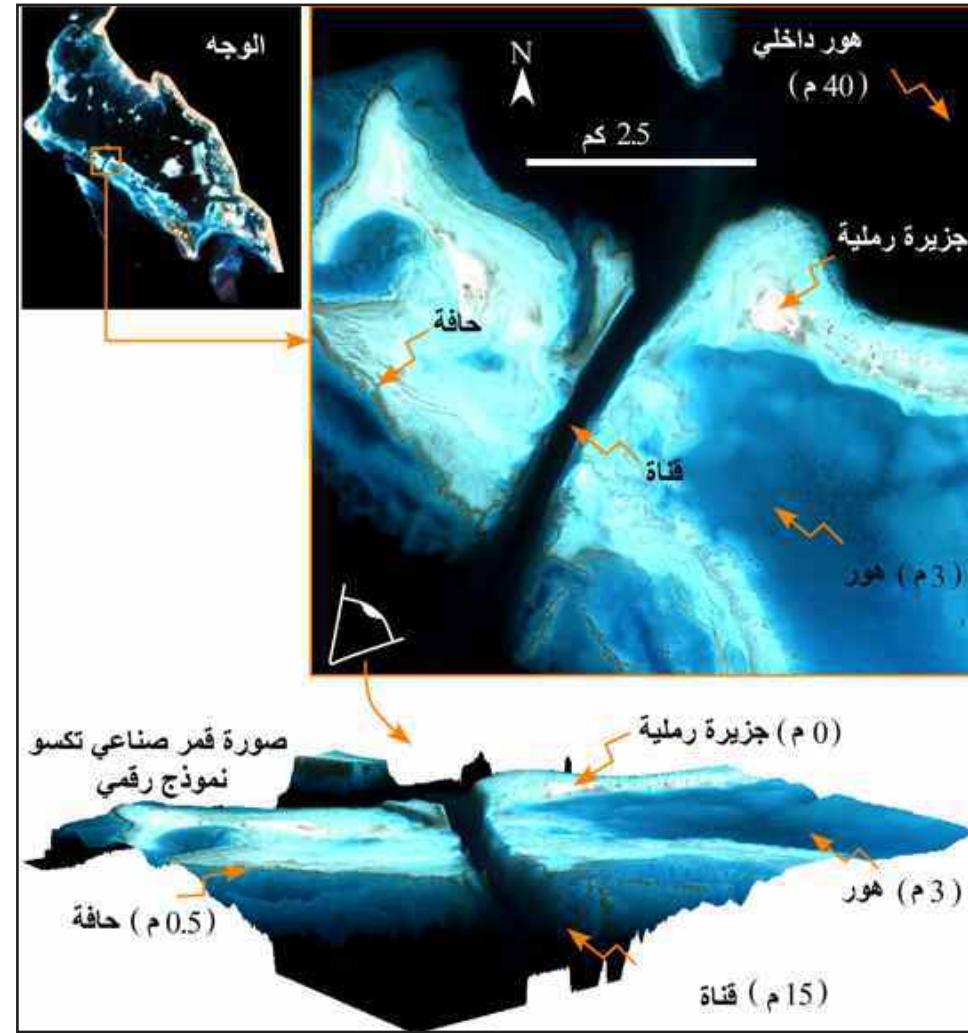
السونار أحادي الشعاع

ويعمل السونار أحادي الشعاع عمودياً مع القاع، ويحدد العمق مباشرة تحت السفينة. وتم استخدام سونار صوتي ذا تردد 200 كيلوهرتز لرسم الأعماق في رأس القصبية والوجه وينبع وجزر فرسان. ويرسل هذا السونار نبضة صوتية خمس مرات في الثانية الواحدة، مجعماً معلومات عن القاع مع دقة تصل إلى $0.2 \pm$ م بحد أقصى عمق تشغيل قدره 60 م. في حين تم استخدام مسح هيدروغرافي أكثر تقدماً عن طريق سونار صوتي في ضفة فرسان ويعمل هذا السونار أيضاً على نطاق 200 كيلوهرتز، على الرغم من أن الجهاز تنبعث منه نبضة صوتية عشر مرات في الثانية الواحدة، ويوفر دقة $0.1 \pm$ م إلى عمق 200 م. وترتبط هذه الأجهزة مع وحدة جي بي إس عالية الدقة، بشكل مستمر أثناء عملية التحقق الحقلية من صدق البيانات. وتم إنجاز المسح للمواقع الخمسة عبر أكثر من 2.7 مليون قراءة صوتية للعمق، تغطي حوالي 1,400 كم من المسارات المسوحة. وتم توجيه مسار سفينة المسح لتشمل مدى واسع من خطوط العمق عبر مجموعة متنوعة من قيعان البحر.

الرسم الجانبي للقاع

تم استخدام جهاز رسام قاعي محمول داخل منطقة ضفة فرسان. وكان الجهاز قادر على الكشف عن الطبقات الرسوبية المختلفة لمستوى دقة 6 سم مع اختراق يصل إلى 40 سم لقاع البحر. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تتضاعف قدرة هذا الرسام باعتباره جهاز صوتي للمياه العميقة، وتوفير قياسات لأعماق تصل إلى 800 م مع دقة $\pm 0.5\%$. وللحصول على معلومات قابلة للتطبيق من تحت قاع البحر، تم استخدام محول 10 كيلوهرتز أو 3.5 كيلوهرتز، اعتماداً على عمق وصلابة القاع. كما تم توجيه المقاطع العرضية لتكون عمودية على المنحدرات، لتتوسط نظم الجحيرات والتراكيب الجيومورفولوجية الأخرى المحددة من صور الأقمار الصناعية المحتوية على هياكل الشعاب تحت طبقة الرواسب.

حيث تنتج الطبقات التي يتم امتصاصها بشكل أكثر قيم أقل، ومع زيادة العمق سيقل انعكاس كلا الموجتين ولكن سيكون انعكاس الطبقة ذات الامتصاص الأكثر (الطبقة الخضراء من الضوء) سيكون انعكاسها أقل بكثير من الطبقة الأقل امتصاصاً (الطبقة الزرقاء من الضوء). وكلما ازداد العمق ستزيد نسبة الطيف الأزرق إلى الطيف الأخضر. وتناسب هذه الطريقة في رسم قاع البحر مع الخصائص المختلفة للقاع. حيث أن الركائز الموجودة على قاع البحر ستعكس كلا الموجتين بشكل واحد بينما تعكس التغيرات في العمق الطبقة الخضراء بدرجة أكثر. ونظراً لأن التغير في النسبة الناتجة عن العمق يكون أكثر بكثير من التغير الناتج عن طبيعة القاع فإن الأنواع المختلفة من القاع سيكون لها نفس النسبة الطيفية عند نفس العمق.



صورة أقمار صناعية متعددة الأطياف من كويك بيرد لضفة الوجه. أعلى يسار: المنطقة بأكملها. أعلى يمين: صورة مقربة لهيكل الشعاب المرجانية والقناة. أسفل: النماذج الرقمية للارتفاعات (DEM) المستمدة من صور الاستشعار عن بعد الضوئية في المنطقة نفسها

إعداد وتجهيز الصور

يتطلب إنتاج خريطة دقيقة لتوزيع الكائنات الحية مراحل متتابعة من معالجة الصور سواء كانت الصور ملتقطة من أقمار صناعية أو من طائرة، ويشكل تحليل خصائص قاع البحر واحداً من أكبر التحديات عند استخدام التصوير الضوئي عن بعد لما يتضمنه من انعكاس وتغيرات في مسار الضوء خلال عبوره بالمجال الجوي واختراقه لمياه البحر.

مرحلة المعالجة الأولية

تقوم المحسبات بقياس جودة وكمية موجات الضوء المنعكس من سطح الأرض وتخزينه كرقم (كل رقم سيحدد نقطة في الصورة الملتقطة عن بعد)، ويتم بعدها تقسيم هذا الضوء إلى موجات طيف متعددة، ومن ثم يتم تحويل وحدات الإشعاع إلى معامل (بارامتر) يصف شدة وتدفق الطاقة الكهرومغناطيسية (%). وباستخدام نموذج رياضي يحسب مقدار امتصاص وانعكاس (جزئيات الضوء) الفوتونات في المجال الجوي يتم تحويله بعدها إلى قيم نقطية لرسم الصورة المنعكسة. وبما أن القياسات المباشرة لطبيعة المجال الجوي لم تكن متاحة في وقت التقاط الصور فقد تم اعتماد نموذج قياسي (المناخ الاستوائي البحري في المملكة العربية السعودية) خلال عمليات المعالجة، ومع ذلك فقد حدث تشويش لبعض الصور بسبب الانعكاس الضوئي الناتج عن عدد من الانعكاسات والممان على سطح الماء في أماكن محدودة مما أدى إلى حجب الإشارة المرتدة عن سطح البحر في هذه النقاط. ولقطة بعد لقطة وبالتدريج يتم تصحيح النقاط المشوهة في الصورة باستخدام نموذج لمحاكاة السطوع في الطيف الضوئي القريب من الأشعة تحت الحمراء (NIR) وفي الطيف المرئي اعتماداً على مستوى الإرتداد الناتج عن سطح البحر.

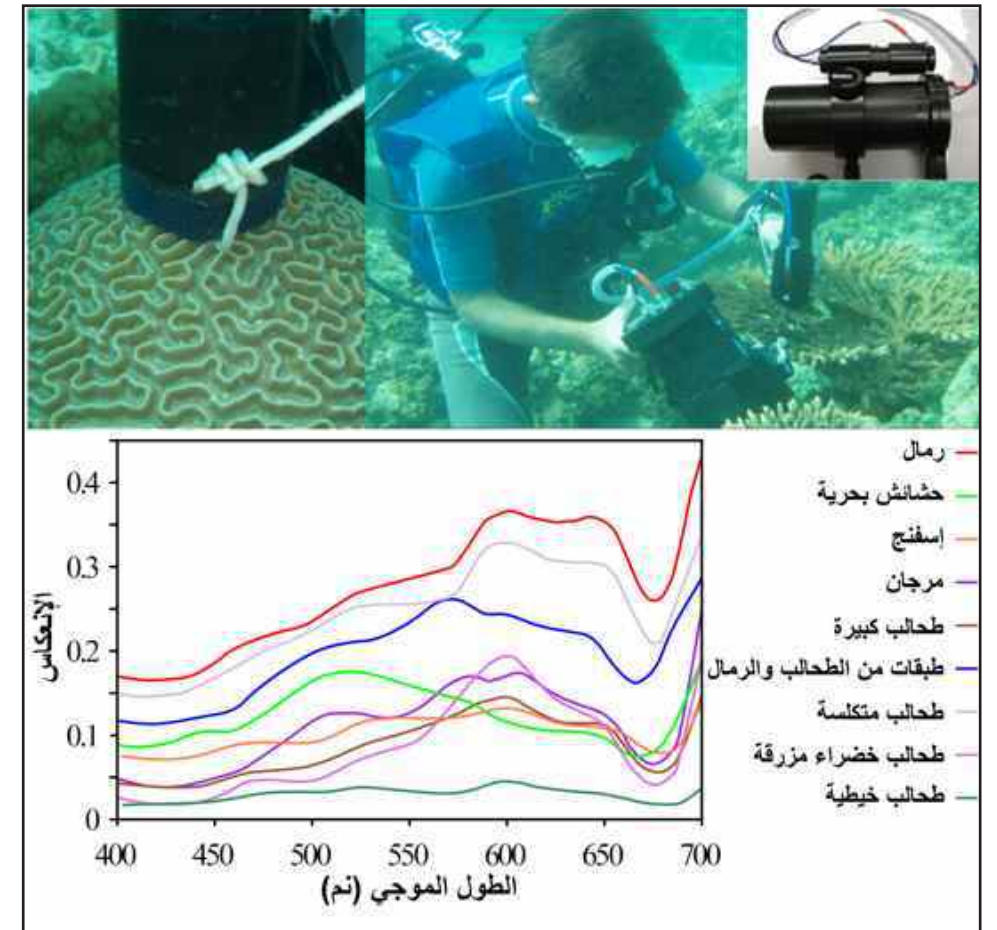
حساب العمق البصري للماء

يتيح استخدام التصوير المتعدد الأطياف أو الفائق الطيفي مع المسح الصوتي رسم خريطة طبوغرافية لقاع البحر. وتميل طبوغرافية قاع البحر باستمرار إلى التباين في الشكل والارتفاع. وقد تم رسم خريطة دقيقة لقاع البحر، والتمثيل الرقمي لتضاريس أي قطاع يتم من خلال النماذج الرقمية للارتفاعات (DEMs) وأكثر هذه النماذج دقة يتم استخلاصها من المسح الضوئي بدقة متر واحد سطحياً وبضع عشرات السنتيمترات رأسياً حتى 25 م. وكما تم التوضيح سابقاً فإن الضوء يمتص وينتشت أثناء حركته في الماء مما يتطلب أسلوباً خاصاً للمعالجة يتوقف على درجة عكارة أو نقاء الماء وأيضاً الطول الموجي للضوء. ويرتبط مقدار تشتت الضوء على مقدار عمق الماء بعلاقة أسية وعادة ما يفشل تحديد العمق اللوغاريتمي المعتمد على طول موجي واحد للضوء خصوصاً عندما يكون قاع البحر مكوناً من عدد كبير من الكائنات الحية والأجسام التي لها معامل طيفي مختلف. ويرجع سبب الفشل إلى عاملين أساسيين هما التشويش على البصمة الطيفية المستلمة من خلال مجس الاستشعار عن بعد وعمق الماء. ويمكن تحسين النتائج باستخدام طريقة لحساب النسبة بين طيفيين موجيين حيث تؤدي هذه الطريقة إلى تعظيم دور الضوء ذو الطول الموجي القصير (الأزرق) والذي يتأثر بالتشويش بمقدار أقل بكثير من الضوء ذو الطول الموجي الطويل (الأخضر). ويرجع سبب ذلك إلى أن امتصاص الماء للطبقات المختلفة من الضوء - والتي يختلف الطول الموجي لكل منها عن الآخر بدرجة مختلفة فإن القيم النقطية الناتجة لكل منها تكون مختلفة،

وتم بعدها مسح أماكن مختارة بعناية بكاميرات الفيديو المربوطة في السفينة للتعرف على خصائصها، مما أتاح تجميع بيانات عن خصائص قاع البحر والكائنات الحية المصاحبة له. وفي نفس الوقت تم إنزال كاميرا فيديو غاطسة حتى ارتفاع 1 م فقط من قاع البحر ولمدة تراوحت من 10 - 30 ثانية في كل موقع، وقد تم تكرار هذه العملية أكثر من 3,500 مرة وفي كل مرة تم تحليل الفيديو الناتج وتصنيف الكائنات الحية التي تم تصويرها واستخدم ذلك في تصنيف هذه الخرائط في المنطقة.

قياسات الانعكاس الطيفي

تسمح القياسات المباشرة للإنعكاس الطيفي بمعايرة الصور الملتقطة عن بعد (صور الأقمار الصناعية أو الطائرات)، كما تسمح بتطوير الصور اللوغاريتمية لمعالجتها، ويمكن عن طريق قياس الانعكاسات الطيفية (ويقصد بها قياس جودة ومقدار الضوء المنعكس عن جسم صغير سواء كان هذا الجسم فوق سطح الماء أو مغمور جزئياً) تحديد نوع هذا الجسم، حيث تم تسجيل الانعكاس الطيفي لرمال الشاطئ وقاع البحر والشعاب الحية والشعاب الميتة والطحالب والحشائش البحرية وغيرها من الأجسام، مما شكل نطاق طيفي كامل لصور الأقمار الصناعية، وتم استخدام هذه القياسات بالتوازي مع نظام النمذجة الموجود على الحاسب الآلي للمساعدة في تدقيق القراءات الناتجة عن المعالجة المباشرة لصور الأقمار الصناعية وللتأكد من دقة توزيع الكائنات الحية على صور الأقمار الصناعية والصور الملتقطة من الطائرات.



استخدام مقياس الطيف الغاطسة لقياس الضوء المنعكس من أنواع مختلفة من القيعان أعلى يسار: وضع المجس فوق المرجان. أعلى يمين: غواص يجمع أطيف منعكسة عن المرجان. أسفل: أطيف مجمعة من الوجه فوق رمال وحشائش بحرية وإسفنج وطحالب ومرجان

حساب عمق الماء

تم تطبيق نموذج رياضي لحساب نسبة لوغار يتم الطاقة الكهرومغناطيسية المقاس بالموجة الزرقاء الملتقطة من مجس القمر الصناعي إلى لوغار يتم الموجة الخضراء. وينتج عن ذلك رسم صورة عبرت بشكل دقيق عن تضاريس قاع البحر ولكنها لم تعبر بشكل دقيق عن خصائصه. وهذه الصورة القاعية تم بعد ذلك معايرتها على القياسات الدقيقة للأعماق الناتجة من المسح الصوتي التي تم قياسها خلال العمل الميداني. ونموذج الارتفاعات الرقمية (DEM) الناتج عن هذه العملية تمت إعادة معايرته وتحسينه إلى أقصى عمق يمكن أن تخترقه الطبقة الخضراء من الضوء (وهي الطبقة ذات الطول الموجي الأقصر) أي العمق الذي يتراوح بين 15 إلى 25 م.

وعادة ما تكون الدقة ±50 سم على عمق أقل من 5 م وتزيد إلى ± 1.5 م على عمق 20 م. وتوفر نماذج الارتفاعات الرقمية المعايرة بالمسح الصوتي للقاع صورة جيدة عن تضاريس القاع في جميع المواقع التي تم مسحها في هذا الأطلس. ويمكن استخدام نماذج الارتفاعات الرقمية في إعادة معايرة وتصويب الصور أثناء عملية تصنيف الكائنات الحية. حيث تشكل إضافة تضاريس قاع البحر عمل رسم ثلاثي الأبعاد للبيئة الرسوبية. ويمكن استخدام الخصائص المورفولوجية لقاع البحر لإنشاء تصور جيولوجي وايكولوجي على فترات زمنية متخلفة.

تصويب التشوه الناتج عن الماء

عادة ما يتعرض الطيف الضوئي للتشوه أثناء اختراقه لماء البحر مما يؤثر في عملية تصنيف موائل قاع البحر، وهو الأمر الذي يتطلب استخدام لوغار يتم للتصحيح قادر على حساب التشوه الحاصل للطيف الضوئي نتيجة مروره في الماء (هذا التشوه يمكن تقديره بدالة شبه أسية تزداد مع ازدياد الطول الموجي لطبقة الطيف الضوئي). وبسبب التفاوت الكبير في الجودة البصرية لقاع البحر فقد تم حساب المظهر الجانبي الطيفي لتشوه الضوء عملياً في الحقل من خلال جهاز سبكترورادوميتر مغمور، لكي يساعد على تحديد المعاملات التي تم استخدامها في ضبط نموذج التصويب. وقد تم حساب عمق الماء باستخدام صور الأقمار الصناعية المعايرة بالمسح الصوتي. وتم بعدها تصوير منطقة متجانسة من سطح البحر واستنتاج المظهر الجانبي الطيفي لها وتم استخدامه للتأكيد من دقة عملية «تصويب التشوه الناتج من الماء». وأتاح تنفيذ هذه العملية بنجاح – «عملية تصويب التشوه الناتج من الماء» استخدام طريقة التصنيف الطيفي لقاع البحر بدقة أعلى بكثير، حيث أن عدم القيام بهذه العملية سيؤدى إلى أن تمثل الخرائط الناتجة الخطوط الكونتورية لتضاريس قاع البحر فقط، بدلاً من تمثيلها لتوزيع الكائنات الحية الموجودة على قاع البحر.

طريقة حجب الصور

لتعظيم كفاءة التصنيف اللوغاريتمي الطيفي يتم أولاً حجب جميع المناطق غير الملائمة لاستخدامه في الصورة (الأرض – السحب – مناطق المياه العميقة – مناطق الظلال) فمن المعروف مثلاً أنه يتم امتصاص الأشعة تحت الحمراء خلال بضع سنتيمترات من الماء وبالتالي يسهل في هذه الموجة من الطيف الكهرومغناطيسي تحديد مكان الأرض والسحب – ومن ثم حجبها من الصورة – وفي حال ظهور السحب يتم إعادة توزيع

وزيادة المنطقة المحجوبة من الصورة بحيث تشمل أيضاً ظل السحب على سطح الماء والذي يظهر بسببه الماء غامقاً أكثر من القدر الطبيعي. وحيث أنّ هذه المناطق المحجوبة من الصورة لا تزال تحتوي على معلومات طيفية مهمة فمن الواجب معالجتها بشكل منفصل حيث أن هذه المناطق ستعكس قيم الطيف الضوئي بشكل مختلف تماماً.

وقد تم تحديد الأماكن العميقة في الصورة باستخدام طريقة نسبة اللوغار يتم لموجتين التي تم شرحها سابقاً، وتم ذلك عن طريق دراسة قيم الصورة على مساحة منحدره من قاع البحر وتميز بأن معظمها من الرمال وتم تحديد نقطة الانحدار التي توقف عندها حدوث أي زيادة في نسبة الموجتين بالرغم من ازدياد العمق، وتم أخذ هذه النقطة كمقياس لتحديد أقصى نقطة يمكن أن يستخدم فيها طريقة التصنيف الطيفي للكائنات، وفي الأعماق الأكثر منها يجب اعتماد طريقة المسح الصوتي لتحديد طبيعة وتركيب قاع البحر.

معالجة الصور الفائقة الطيف

معظم أدوات المعالجة للصور متعددة الأطياف يتم تحويلها بسهولة لمعالجة الصور فائقة الطيف. وحيث أن الصور الناتجة عن استخدام مجسات فائقة الطيف يكون عدد الموجات فيها أكثر بكثير، فيمكن من الناحية النظرية أن تستخدم لتحديد وتصنيف عدد أكبر من الأنواع على قاع البحر، فعلي سبيل المثال يمكن تفريق الشعاب الحية من الشعاب الميتة حتى ولو على نقطة واحدة من الصورة (تعرف هذه العملية بالأطياف المفقودة) ومعظم المجسات الفائقة الطيف الحديثة سيكون لها القدرة على التقاط مئات من الموجات الطيفية مقارنة بعشرات فقط في الأنواع القديمة، ونظراً لأن الاختلافات الطيفية بين الأنواع المختلفة لقاع البحر سيكون محدوداً للغاية ناهيك عن أنه في مساحة صغيرة جداً من الطيف المرئي، فإن الكثير من البيانات الفائقة الطيف التي يقوم المجس بتجميعها ستكون أكثر بكثير من البيانات التي تتطلبها معظم التطبيقات، ومن هنا تأتي أهمية معايرة مجسات الاستشعار عن بعد عن طريق تحديد الطبقات الطيفية المثلئ لتمييز أنواع الموائل المطلوب رصدها، لكي تقوم المجسات بالتركيز على هذه الأطياف من المجال الكهرومغناطيسي.

خرائط توزيع الموائل الحية

تمثل خرائط توزيع الموائل الحية معظم الخرائط في هذا الأطلس وقد تم إنتاجها اعتماداً على صور الاستشعار عن بعد، التي يتم فيها تمثيل توزيع الكائنات على نقاط الصورة، وبعكس طريقة التصنيف المعتمدة على الأطياف غير المختلطة فإن كل نقطة في الصورة لايد من تصنيفها وتخصيصها لأحد الموائل أو لإحدى المكونات، وكخطوة أولى تم تطوير مخطط للتصنيف. وتم بعدها استخدام عدد من التقنيات لإنتاج أكثر الخرائط من الصورة مع إتباع طريقة التدقيق الأرضي للتحقق من جودة البيانات. وخلال سير عملية التصنيف يؤخذ في الاعتبار الطيف، طبيعة التركيب، تحديد الحواف وأيضاً المنظور العام.

تصنيف الصورة

تحديد الحواف

طريقة تحديد الحواف هي عملية يتم من خلالها تحديد أماكن الحواف للأجسام داخل الصورة من خلال التعرف على التغير المفاجئ في المعان على مساحة صغيرة. وتستخدم هذه التقنية أساساً للتعرف السريع على الأجسام التي لها حواف ثابتة. ونظراً لان هذه العملية تتم بسهولة وبسرعة فهي توفر وقت أكبر لتنفيذ عملية تحديد الأجسام الأخرى التي لا تكون لها حواف محددة. وفي الظروف المثالية لتطبيق هذه التقنية فإن البرنامج يقوم برسم مجموعة من الأشكال لتمثل الحدود الفاصلة بين الموائل المختلفة ومن النادر أن تنجح هذه التقنية بالنسبة للصور تحت الماء، وذلك بسبب الفواصل التي تظهر نتيجة اختلاف الأعماق والسطوع وظلال السحب وأيضاً نتيجة لتغير طبيعة القاع نفسه (صخري أو رملي)، ناهيك عن أن الحواف الحادة الفاصلة بين الموائل المختلفة نادرة الوجود في الطبيعة وبناء عليه فلم يتم استخدام هذه التقنية على نطاق واسع أثناء إعداد هذه الدراسة، ولكن تم استخدامها في حالات محدودة مثل توقيع الحدود الفاصلة بين الموائل المتجاورة شديدة التباين في السطوع مثل الشواطئ الرملية والحشائش البحرية.

التصنيف الطيفي

تختلف كمية الضوء الممتصة والمرتدة عن كل نوع من الأنواع الموجودة في قاع البحر حيث تمتص كل منها وتعكس كمية مختلفة من الضوء عند طول موجي معين وبناء على هذه الحقيقة فإن التصنيف الطيفي يستخدم بكفاءة و على نطاق واسع في الاستشعار عن بعد. وهذه النماذج الرياضية تستخدم بالتكامل مع التصوير القاعي (الكاميرات المغمورة) حيث يتم فصل كل مجموعة لها نفس الخصائص الطيفية على حدة ويتم تحديد نوعها من خلال التصوير القاعي وتسجيله عن طريق اللوغار يتم وبالتالي يمكن الوصول إلى نتائج دقيقة لعملية التصنيف. ولكن من الضروري أن يتم أثناء هذه العملية فصل هذه التغيرات الناتجة عن التغير في العمق نتيجة لانحدار قاع البحر عن التغيرات الناتجة من اختلاف الموائل الطبيعية على قاع البحر خصوصاً في الأماكن التي لا ينجح فيها تطبيق عملية «تصويب التشوه الناتج عن الماء»، وهذه المناطق تعرف عادة بمنطقة الدراسة أو منطقة الاهتمام (ROI). وقبل تنفيذ عملية التصنيف فإن الطيف الناتج من عدد من مناطق الدارسة يتم تقسيمه على مجموعات مزدوجة الطيف – من خلال قياس قيمة كل نقطة في أحد الأطياف إلى قيمة نقطة أخرى، وفي الوضع المثالي فإن النقاط داخل هذه المجموعات سيتم تجميعها بشكل متماثل في مجموعات لتعبر كل مجموعة عن نوع من أنواع قاع البحر، مع القليل من التداخل بين كل نوع والآخر، وحيثما يظهر هذا التداخل يتم للجوء إلى تقنية فصل الحواف وتحليل الحبيبات وتم استخدام اللوغار يتم الرياضي لتحديد صنف كل نقطة من النقاط وانتماؤها لأي صنف ولكن لم يتم استخدام هذه اللوغار يتم على المناطق التي تم حجبها سواء لاحتوائها على مرتفعات أو على مياه عميقة أو سحب، وتم ضم كل نقطة إلى المجموعة الأكثر احتمالاً إلى اللوغار يتم الناتج عنها وتم في النهاية تصنيف النقاط الواقعة على أعماق مختلفة إلى الموائل التي تنتمي إليها.

تحليل المكونات

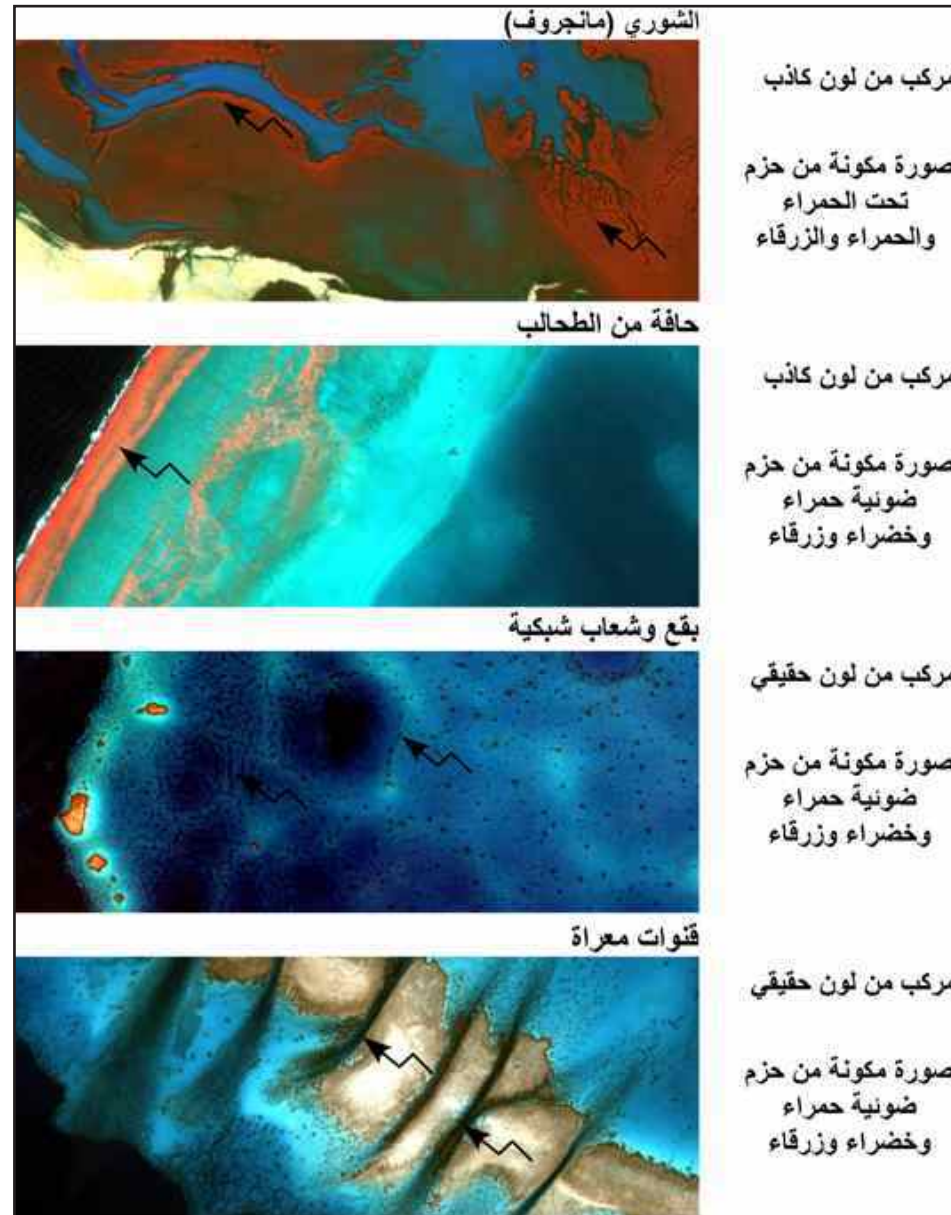
إذا كانت الموجات الطيفية المنعكسة عن الموائل المختلفة متداخلة ولا يمكن فصلها عن طريق التحليل الطيفي، فعلى الأرجح سنقشل عملية التصنيف المعتمدة على فصل المكونات الطيفية، وفي هذه الحالة يجب استخدام طريقة تحليل المكونات وتعتمد هذه الطريقة على ملاحظة التغير المنتظم في السطوح داخل مربع من النقاط المتجاورة – يطلق على مجموعة النقاط المتجاورة في الصورة النواة «لُب» في داخل كل نواة يتم فحص قيم السطوح الملتقطة بالمجس والتي قد تكون منتظمة ومرتبطة وربما تكون متفاوتة وعشوائية. وبالنسبة للمكونات الطيفية للصورة فستختلف هذه الخاصية مع اختلاف نوع قاع البحر. وبناء على ذلك سيؤدي استخدام اللوغاريتم الخاص بتحليل المكونات إلى إنتاج صورة إضافية (صورة مكونات) من البيانات الطيفية العادية. وصورة المكونات يمكن تصنيفها هي الأخرى ولكن بخلاف التصنيف الطيفي الذي يعتمد على تحليل موجات مختلفة من الصورة فإن تصنيف المكونات يمكن تنفيذها على موجة واحدة من الصورة وبالتالي يتم استخدام الموجة الزرقاء لأنها تتميز بقدرة عالية على اختراق الماء.

التعديل السياقي (الواقعي) للصور

التعديل السياقي للصور يعتمد على حقيقة ثابتة هي أن الفواصل الجيولوجية والجيومورفولوجية عبر النظام الجغرافي تعتمد على قواعد منطقية وعلى حقائق ثابتة، (فالرسوبيات القريبة من الشاطئ على سبيل المثال لا يمكن تواجدها على حافة الشعاب المرجانية). وبالتالي يتم إتباع هذه القواعد عند تصنيف الصور بحيث يتم منع الخريطة من عرض تداخل موائل لا يمكن تداخلها في الواقع. حيث يتم تقسيم الصورة إلى مناطق اعتماداً على جيومورفولوجية الشعاب المرجانية (مثلاً مجاورة للشاطئ – أهوار – شعاب خلفية ، قمة شعاب ومنحدر مرجاني). وحيث أن درجة بساطة من التصنيف الخاطئ للموائل تحدث حتى بعد استخدام التصنيف الطيفي وتحليل المكونات فإن استخدام «التعديل السياقي للصور» يقدم طريقة فعالة لاكتشاف هذه الأخطاء. حيث يتم تصنيف النقاط بشكل مناسب للمناطق التي تتواجد فيها. ومن الطبيعي أن يتم امتداد نفس المونل على عدة مناطق في الصورة فعلى سبيل المثال الحشائش البحرية يستحيل عملياً وجودها على الشعاب من نوع الشعاب القمية ولكن يمكن وجودها على الشعاب القريبة من الشاطئ كما في الأهوار. وفي إطار هذا المنهج فلا يمكن تصنيف نقطة في داخل مونل شعاب قمية على أنها حشائش بحرية حتى لو كان لها نفس الموجة الطيفية الخاصة بالحشائش البحرية. وكمثال آخر فإن التربة الطينية لا يمكن تراكمها في المناطق العالية الطاقة مثل مناطق الشعاب الأمامية والمنحدرات الضحلة، وبناء على ذلك فيمكن إتباع هذه القاعدة أثناء التصنيف. ويقدم نموذج الارتفاعات الرقمي دعماً إضافياً عند تطبيق التعديل السياقي للصور، فعلى سبيل المثال تتراكم الرسوبيات اعتماداً على الإنحدار ويستحيل عملياً تراكمها في الأماكن المرتفعة.

عملية التصفية أو الترشيح

إن الأخطاء التي تحدث أثناء التصنيف بسبب التغيرات الشاذة في بعض المواضع في صورة الاستشعار عن بعد، كذلك التي يمكن أن تنتج عن لمعان سطح الماء في بعض الأماكن يجب أن يتم التدقيق فيها ومن هنا تنشأ الحاجة إلى عملية ترشيح .



تجمعات الصور الملونة الكاذبة والحقيقية باستخدام ثلاثة من أربعة نطاقات لصورة القمر الصناعي كويك بيرد (الأشعة تحت الحمراء، الأحمر والأخضر والأزرق). يشار في اليمين من الصور إلى الحزمة التي تستخدم لخلق كل صورة. والظواهر المختلفة (موضحة بالسهم الأسود) مثل أشجار الشوري (مانجروف) والطحالب الحافية، ورقع الشعاب الشبكية والقنوات المعرأة يمكن بسهولة تصورها بناء على استجابتها الطيفية لحزم صور مختلفة. وتم أخذ هذه الأمثلة من شعاب الوجه

و يتم إجراء هذه العملية على عدد من النقاط المجاورة لنقطة مركزية وقد تم استخدام المرشح الملتف بشكل كبير في هذه الدراسة. وينتج هذا المرشح تأثيراً يتم فيه تعديل النقاط المحيطة بدلالة قيمة النقطة المركزية والقيمة النسبية لكل النقاط الموجودة حولها، وفي الطبيعة فإن المساحات التي ينتشر فيها نفس المونل تميل إلى أن تكون متوازنة وإذا كان هناك تشوه في بعض النقاط فقد ينتج عنه خطأ في عملية التصنيف وللتغلب على ذلك يتم اختيار مرشح وسيط لتحقيق هذه النتائج. وهذا النوع من المرشحات يقوم بإزالة التشوه الحادث بعد عملية التصنيف عن طريق تعديل قيمة النقاط في الصورة مع الحفاظ على نفس القيم النقطية خارج حواف منطقة المرشح، وعلى سبيل المثال فإن مرشح استخدم على مساحة مربعة سيقوم باستبدال قيمة النقطة في المنتصف بالوزن النسبي لقيم النقاط داخل المربع.

ضبط الجودة

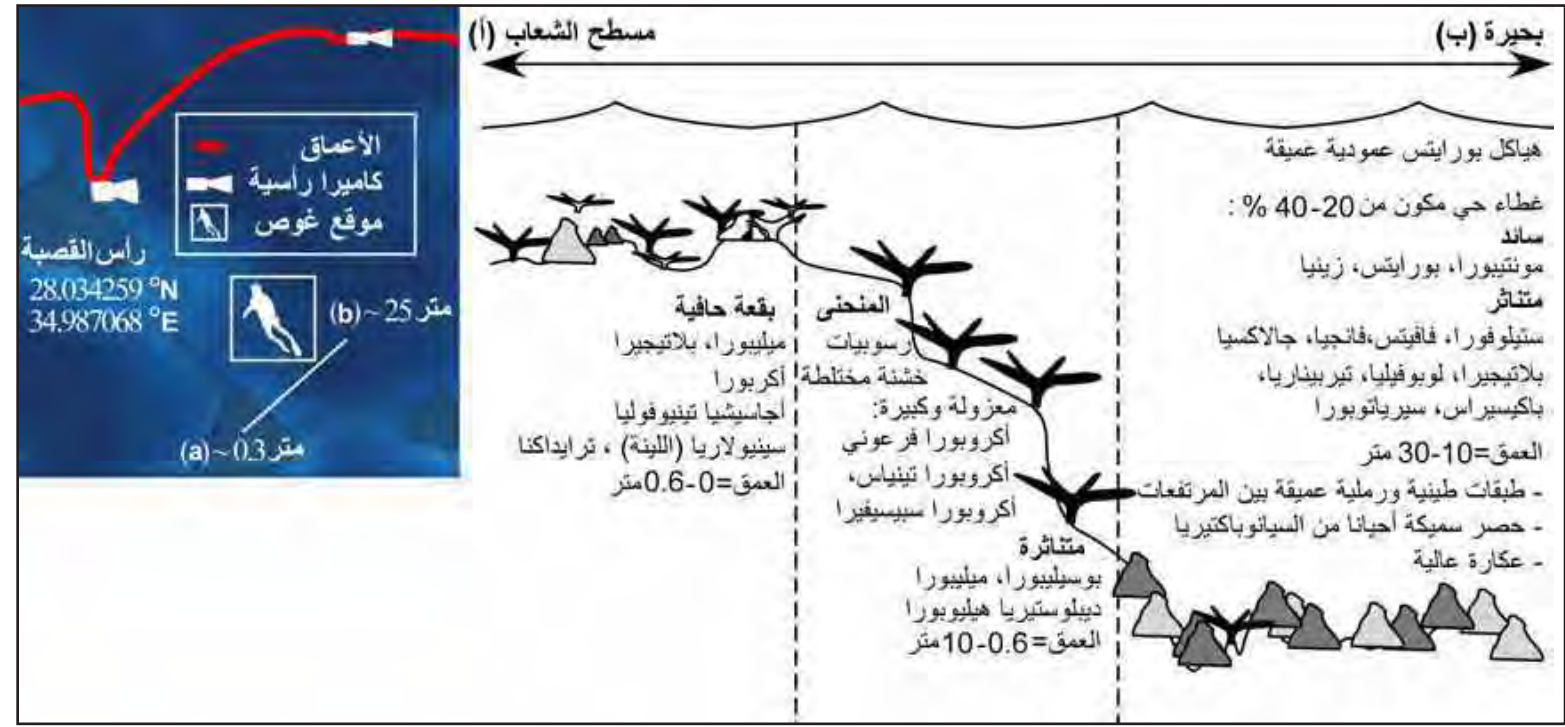
بعد انتهاء عملية التصنيف تبدأ عملية ضبط الجودة، حيث يتم فحص الخرائط النهائية والإجابة عن مجموعة من الأسئلة العامة مثل: هل تم توقيع جميع الموائل على الخريطة بشكل مقبول ويمثل التوزيع الطبيعي؟ هل الخريطة تغطي المنطقة التي كان من المطلوب دراستها؟ وهل البيانات عليها واضحة بالقدر الكافي؟ وللتأكد من هذا يتم إتباع إجراء لتحسين السطوح على منطقة الدراسة بهدف توضيح الموائل المختلفة وتميزها عن بعضها البعض، خصوصاً أن توزيع الموائل يكون منتشرراً على أعماق بحرية مختلفة. حيث أن صور الأقمار الصناعية تحتوي على مكونات كثيرة ولكل منها انعكاس طيفي مختلف فمعظمها مثلاً يحتوي على ماء وبابسة، ومن هنا فإن تطبيق خطوات تحسين السطوح سيقوم بتغيير قيم السطوح على كامل الصورة وبالتالي قد تتعرض بعض تفاصيل الموائل في المناطق شبه المغمورة بالماء للتشوه، وللتغلب على هذا يتم معالجة السطوح في هذه المناطق بشكل مركز (قطاع صغير من النقاط المتجاورة) ويتم توضيح الموائل المتشابهة ولكل منها خصائص انعكاس مختلفة بسبب موقعها في الصورة، وفي النهاية يتم مقارنة التصنيف الناتج لنفس الصورة قبل وبعد تطبيق كل مرحلة من مراحل تحسين السطوح.

تقييم مدى دقة البيانات

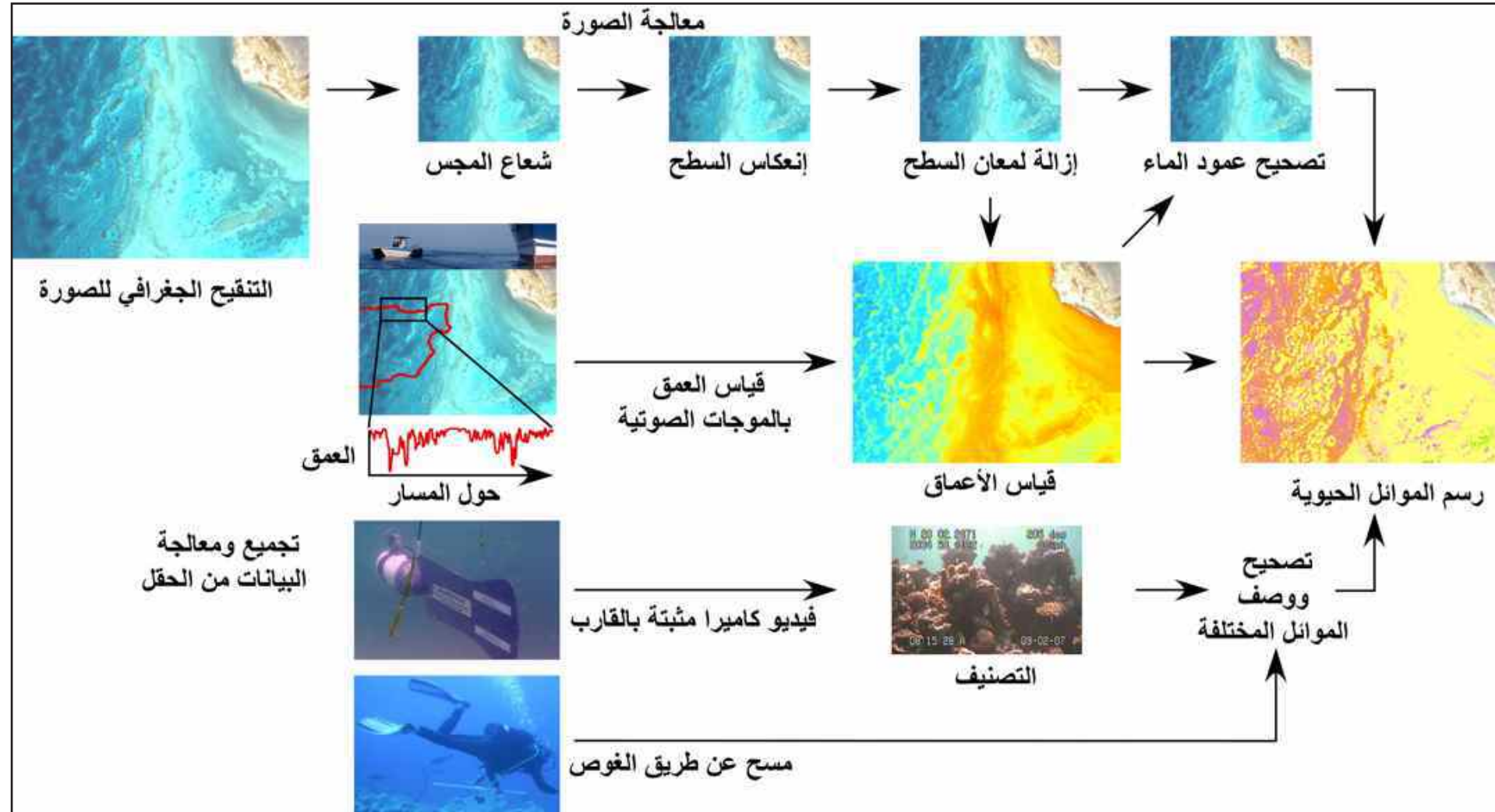
يتم القيام بتقييم الدقة بالاعتماد على عملية التحقق الأرضي، وتم مراعاة أن تستخدم فيها بيانات لم يتم استخدامها في عملية التصنيف، حيث تم إنشاء مصفوفة أخطاء التصنيف (التي تعرف أحياناً بجدول التشويش) بهدف تحديد مدى دقة البيانات في الصورة، وذلك من خلال مقارنة دقة تصنيف النقاط بالبيانات الموجودة في الواقع ويتم احتساب مدى الدقة الكلية ونسبة الأخطاء والقيام بتصويبها. ويتم احتساب النسبة المئوية لتصنيف كل نوع من خلال قسمة إجمالي عدد النقاط التي تم تصويبها لمونل معين على عدد النقاط التي وجدت سليمة، ويستخدم تعبير «دقة المستخدم» للتعبير عن نسبة طبقة في خريطة معينة إلى نسبة الطبقة التي تم تدقيقها أرضياً ويتم احتساب ذلك من خلال قسمة عدد النقاط الصحيحة في الصور على إجمالي عدد النقاط في نفس الصورة.

تحويل البيانات

يتم استخدام برمجيات الاستشعار عن بعد في عملية تحويل البيانات الناتجة عن تصنيف الموائل إلى خرائط على نظام المعلومات الجغرافية، حيث يتم تحويل البيانات النقطية المختزنة في صور الاستشعار عن بعد إلى بيانات خطية على الخرائط، من خلال تجميع بيانات النقاط التي تمثل كل موئل كوحدة واحدة إلى خطوط متجاورة. وحيث أن الخرائط التي تمثل فيها البيانات على هيئة خطوط وأشكال هندسية تكون أصغر بكثير في الحجم وأكثر فعالية من تلك التي تمثل فيها البيانات على هيئة نقاط مما يجعلها تستخدم في العديد من التطبيقات بسهولة. وأيضاً على الإنترنت، يتم إضافة العديد من الخصائص على التمثيل الخطي الموجود للموئل على الخريطة، وعلى سبيل المثال قد تتضمن هذه التفاصيل (المساحة والطول، والمقاييس البيئية مثل البعد عن خط الساحل والبعد عن المنطقة المأهولة بالسكان وكيفية الاستخدام الإنساني للموئل مثل الضغوط الناتجة عن الصيد والغوص). والبيانات البيئية في منطقة معينة مثل بيانات الطقس وعمق الماء، ودرجة حرارة الماء، وتلك الناتجة عن فحص ميداني دقيق لقاع البحر وإجمالاً أي بيانات يمكن قياسها وتوقيعها على الخريطة في إحداثيات معينة يمكن إضافتها إلى نظام المعلومات الجغرافية، وكمجموعة معلومات جغرافية فإن بيانات الموائل البحرية الموجودة في هذا الأطلس هي بيانات أولية وقابلة للمزيد من الفحص والتدقيق.



مثال لرسم جانبي للشعاب مأخوذ عن طريق الغوص تحت الماء، وكاميرا مغمورة ورسم الأعماق. ويوضح الشكل موقع المكان والعمق والرسم الجانبي والأنواع الموجودة والبيانات الجيومورفولوجية الأخرى



الخرائط الناتجة عن نظم المعلومات الجغرافية

نظم المعلومات الجغرافية الجاهزة هي تطبيقات حاسوب تستخدم لعرض وإدارة والتعامل مع البيانات الجغرافية. وفي أبسط صورها يمكن استخدامها لتعمل على المزاجه بين تقنيات البيانات وبين الخرائط. وفي البيئة الساحلية لا تتيح نظم المعلومات الجغرافية تجميع بيانات عن الموائل والكائنات البحرية وعرضها فحسب، بل هي تحتوي أيضاً على الأنظمة الساحلية وعلى العديد من الأنشطة الإنسانية مثل الصيد والسياحة والتعدين والصناعة والشحن والموانئ وغيرها. ومن هنا وبناءً على الملاحظات من أماكن مختلفة حول العالم تم التعرف على أن الأنشطة البرية للإنسان تؤثر على البيئات البحرية والساحلية، ومثال على ذلك الرسوبيات والتلوث الناتج من البر والمتزامن مع ازدياد الأحمال النيتروجينية على مياه البحار والمحيطات. وبفضل الدعم الذي توفره نظم المعلومات الجغرافية سواء لتخزين وإدارة البيانات أو لتحليلها فإن البيانات الناتجة من هذه المصادر المختلفة يتم تجميعها وتحليلها في ضوء موقعها الجغرافي، ومن هنا فإن برمجيات نظم المعلومات الجغرافية تنتج خرائط تعبر عن وجهة نظر أكثر شمولاً واتساعاً وقدرة على تحليل النظام الايكولوجي الساحلي.

أسفل يسار: خطوات العمل لتحديد عمق المياه وإنتاج الخرائط القاعية للموائل المرجانية. ويتم إعداد وتجهيز صور الأقمار الصناعية كويك بيرد للتحليل من خلال سلسلة من الخطوات، مما أسفر عن صور راديو مترية عالية الجودة والاتساق. والبيانات الميدانية توفر المراقبة الأرضية لتسهيل العمل باللو غاريمات الرياضية

البيئات الحيوية الرئيسية في البحر الأحمر

تختلف جيومورفولوجيا ساحل البحر الأحمر ما بين سواحل وعرة مع مدرجات بحرية وشواطئ صخرية، إلى سبخات ساحلية، وسهول غرينية وأودية، وكثيراً ما تصل إلى 30 كم في العرض. وهناك عدد كبير من قيعان الأنهار الجافة، والمراوح الغرينية ومصبات الأنهار التي تمتد على طول الساحل. في حين توجد في أماكن عديدة مجتمعات كثيفة من المستنقعات الملحية وغابات الشوري (مانجروف)، وعلى الجانب الآخر توجد شواطئ رملية وموحلة في مناطق أخرى. وتشمل البيئات الساحلية أحواض الجرف المفتوحة، والشعاب الشاطئية والحاجزة والرقع الصغيرة وموائل البحيرات الضحلة. وبالإضافة إلى البيئات الحيوية للشعاب، فإن البيئات البحرية الضحلة تحتوي على مسطحات الحشائش البحرية، وطبقات الطحالب وطحالب الشعاب وبيئات الرمال / الطين والتي قد تكون مستعمرة من قبل البكتيريا الزرقاء أو الطحالب.



شعاب شاطئية في جزر فرسان. تبدأ الشعاب بالقرب من الشاطئ، وتفتقر إلى مسطح شعاب وبحيرات ضحلة، وتنحدر بسرعة في المياه العميقة

الشعاب المرجانية

يشمل ساحل البحر الأحمر السعودي معظم الأنواع الرئيسية من الشعاب، بما في ذلك الشعاب الشاطئية، وحيود الشعاب المرجانية حول الجزر ورقع الشعاب المنبسطة والشعاب الحاجزية وشعاب البرج، وكذلك أنواع من الشعاب يقتصر وجودها في البحر الأحمر، وهي الشعاب القمية (Guilcher 1988). وفي كثير من الأحيان قد تنشأ وتنمو الشعاب في الشروم على طول الساحل الرئيسي، وهي أشكال تقتصر على شعاب البحر الأحمر. وفي حين أن معظم الشعاب المرجانية مرتبطة ومتلاحمة، فإن مستويات النمو والتطور تختلف على نطاق واسع. فعلى سبيل المثال: توجد رقع شعاب مرجانية مغمورة تحت سطح الماء مع عدم وجود مسطح شعاب؛ وشعاب شاطئية ضيقة مع وجود مسطح عرضه أقل من 30 م، وشعاب ضخمة منبسطة وشعاب حاجزية مع مسطح شعاب في كثير من الأحيان يزيد عرضه عن 100 م، وشعاب البرج التي تذكرنا بالجزر المرجانية. إن المنطقة الوسطى الشمالية الممتدة من شمال جدة إلى حقل في خليج العقبة تتميز بشعاب مرجانية قريبة ومتصلة، وتتألف من شعاب الجزر الشاطئية وأشكال مختلفة من رقع الشعاب المنبسطة وشعاب البرج والشعاب الحاجزة «الشريط» (Ormond et al 1984).

وضمن هذه المنطقة، تم تسجيل الشعاب الشاطئية الأكثر كثافة حول رابع، ورأس بريدي وأمّالج، والوجه وفي خليج العقبة. كما أن شعاب الجزر الشاطئية شائعة حول مياه منطقة تيران ومن ضفة الوجه وحتى منطقة أمّالج. كما تنتشر رقع من الشعاب المستطيلة والدائرية على نطاق واسع في المياه البعيدة (حتى عمق 50م). وبعض من هذه الرقع المرجانية ترتبط مع شعاب جزر رملية، في حين أخرى تبقى مغمورة (Riegl & Piller 1997). وكل هذه الأشكال شائعة في ضفة الوجه وفي الجنوب من أمّالج وحتى رابع. وهناك ما يعرف برقع الشعاب الشبكية، والمعروفة أيضاً باسم «المتاهات والدهاليز» (Ormond et al. 1984)، وهي شبكات مترابطة من مصفوفة الشعاب مفصولة عن بعضها بالرمل، وتشكل أنماط شبكية معقدة. وتتطور وتنمو هذه الأشكال وبشكل خاص في المياه الضحلة (0-1 م عمق) بالقرب من تيران وجنوب ضفة الوجه.



المجتمعات المرجانية الضحلة حول جزيرة صغيرة في ضفة فرسان



شبكات من رقع الشعاب قبالة جزيرة صغيرة في جزر فرسان

وتوجد الشعاب المرتفعة والبارزة (المعروفة أيضاً باسم مرافئ مرجانية تحيط بها الرمال) في المياه الضحلة (1م عمق) في ضفة الوجه ومنطقة تيران (DeVantier et al. 2000). وتقع الشعاب الحاجزة والتي تتكون من هياكل تشبه المنصة أو الشريط في المياه البعيدة، وخصوصاً على حافة المنحدر القاري، حيث تزيد أعماق المياه عن 50م حتى 200م. وتم تسجيل أفضل نظام متطور من الشعاب الحاجزة على طول الحافة في اتجاه البحر من ضفة الوجه، حيث يشكل خط متواصل من الشعاب التي تمتد لنحو 100 كم، ومفصولة بقنوات ضيقة (200م عرض) (Ormond et al. 1984, DeVantier et al. 2000). وتوجد شعاب حاجزة صغيرة جنوباً بالقرب من ينبع «تعتبر أيضاً نظام شعاب حاجزة» لكنها تمتلك بنية جيومورفولوجية مختلفة (Ormond et al. 1984, Sheppard & Sheppard 1985). ولا توجد شعاب البرج أو الجزر المرجانية في وسط شمال البحر الأحمر، وإنما هذه الشعاب هي سمة المناطق الجنوبية والصفاف الخارجية لفرسان (Ormond et al. 1984).

والى الجنوب من مدينة جدة، تصبح الشعاب أقل شيوعاً على طول الساحل الرئيسي، ويرجع هذا في المقام الأول إلى الاختلافات في الخصائص الطبوغرافية، والحمل العالي من الرواسب والعكارة (Price et al. 1998). وفي الصفاف الخارجية لفرسان وجزر فرسان توجد تراكيب وهياكل شعاب مرجانية معقدة (Ormond et al. 1984). وتشمل هذه الهياكل الشعاب البرج، والتي تشبه في الجيومورفولوجيا الجزر المرجانية، والشعاب التي تشبه التل (Guilcher 1988)، والتي تمتد كتلال على امتداد محور البحر الأحمر. ويعتقد أن هذه الشعاب تتشكل من مزيج من التصدع العادي من جراء الانفتاح التدريجي للبحر الأحمر، والشرائح المترسبة في الطبقات السفلى والمتحركة لأعلى. وكل هذه التصدعات غير موجودة أو نادرة الحدوث في المناطق الأخرى من البحر الأحمر السعودي.



شعاب البرج مع بنية تشبه الشعاب الحلقية داخل ضفة فرسان. مسطحات شعاب واسعة تشكل حافة، تفصل بين المنحدر المرجاني الخارجي والبحيرة المركزية

مسطحات الحشائش البحرية

يوجد في البحر الأحمر اثني عشر نوعاً من الحشائش البحرية، ينتمون إلى سبعة أجناس، (El Shaffai 2011). في حين تم تسجيل 8 أنواع في شمال البحر الأحمر (25°N)، بينما يوجد أكبر عدد من الأنواع في وسط البحر الأحمر (18°N - 25°N) (Jones et al. 1987). وتميل إلى أن تنمو هذه النباتات الزهرية المعمرة على القيعان الرملية أو الطينية، وعادة ما بين عمق 2.5 و 10 م، ولا سيما في المناطق المحمية من الموج، كما تنمو أيضاً أنواع قليلة على الشعاب. وتتأثر الكتلة الحيوية وغطاء الحشائش البحرية بمستويات الضوء، وأهمية العمق والعمارة، وكذلك نوع القاع، وحركة المياه ودرجة الحرارة والملوحة. وتزداد تدريجياً إلى الجنوب نسبة ووفرة الحشائش، ويرجع هذا إلى حد كبير بسبب وجود جرف أوسع وأقل عمقاً، ونسبة أعلى من الرواسب المفككة، ودرجات حرارة وملوحة أقل تطرفاً. ولكل نوع من الحشائش البحرية أفضلية لأعماق معينة وأنواع الرواسب. وعلى سبيل المثال، *Thalassodendron ciliatum* و *Thalassia hemprichii* تسكن الرواسب الخشنة في حين توجد *Enhalus acoroides* في الطين اللين (Price et al. 1988).

ومن المعروف أنّ ثلاثة أنواع من جنس:

Halophila (*H stipulacea*, *H ovata* and *H ovalis*)

(Hulings & Kirkman 1982; El Shaffai 2011)

قد توجد حتى أعماق من 30 - 70 م

وعلى حد سواء *Halodule uninervis* توجد في موائل المد والجزر والمناطق الضحلة. وهناك العديد من الأنواع تشكل مفردة تجمعات كثيفة مثل (*T. hemprichii*, *Thalassodendron ciliatum*, *H ovalis* and *H uninervis*) ، في حين أن أنواع أخرى تشكل تجمعات مختلطة:

(*T hemprichii* , *Cymodocea rotundata* , *Syringodium isoetifolium* and *H stipulacea*).



مسطحات متوسطة الكثافة من جنس *Thalassia* على عمق 6 م في رأس القصبية



صورة مقربة من الحشيش البحري الرقيق *Halophila ovalis* في أهوار الوجه على عمق 6 م



طحالب خضراء جيرية كبيرة من جنس (*Halimeda* sp) على مسطح رملي داخل أهوار الوجه على عمق 5 م

طبقات الطحالب وطحالب الشعاب

تسود الطحالب الكبيرة مساحات واسعة من الشعاب والقيعان الصلبة وكذلك في بعض الموائل الناعمة في منطقة المد والجزر. ومجتمعات الطحالب في البحر الأحمر متنوعة للغاية، وتتألف من أكثر من 500 نوع تم وصفه وأنواع جديدة كثيرة. وتتألف أساساً مسطحات الطحالب في شمال ووسط البحر الأحمر من الطحالب الخضراء الخيطية والأنواع الصغيرة من الطحالب البنية، بينما تسود الطحالب البنية الكبيرة (مثل *Sargassum* و *Turbinaria* spp) مسطحات الشعاب المرجانية الضحلة في جنوب البحر الأحمر. وعموماً فإن المحصول القائم للطحالب يميل إلى أن يكون منخفضاً، مع ارتفاع معدل التحول نتيجة لضغوط رعي مكثفة وبالتالي إنتاجية عالية. ومعظم مجتمعات الطحالب تظهر موسمية بقوة، مع وجود علاقة مباشرة مع درجات حرارة المياه، في حين أن أوراق بعض الأنواع (ما يشبه الأوراق أو السراخس) تستمر وتكون حولية، في حين أن السويقات (شبه الساق) والمثبتات (شبه الجزر) قد تبقى متصلة بالقاع لسنوات عديدة. ويتضاءل غطاء وكثافة الطحالب التي تغطي المسطحات الصلبة من 50 - 90% إلى أقل من 5% في أعماق تزيد عن 5 م. ومع ذلك، يمكن أن تغطي أعلى من ذلك بكثير وذلك في الموائل المرجانية التي شهدت اضطرابات حديثة وفي مناطق بها عاشبات منخفضة (الحيوانات المقتاتة على الطحالب) والتي تعج بالمدخلات الغذائية العالية. ويمكن أن تحتوي المجتمعات المدية الناعمة أيضاً على تجمعات بيولوجية غنية مع معدل إنتاجية عالية، ويرجع ذلك إلى وجود الدياتومات، وحصر الطحالب الزرقاء والخيطية. وفي بعض المناطق، فإن الطحالب الكلسية والحمراء القشرية أيضاً تصبح وفيرة، وتشكل بداية نواة حيث طاقة الأمواج كافية لتنميتها. وفي ظل ظروف انخفاض الطاقة في جزر فرسان، فإن شعاب الطحالب قد بنيت من قبل الطحالب الجيرية، مكونة قمم من الرمل الخشن في عمق يتراوح بين 2 - 4 م. وبالتالي تتطور هذه الطحالب وتنمو في المنحنيات الجانبية وفي كثير من الأحيان تصل إلى مستوى انخفاض المد.



مجتمعات الطحالب الكبيرة على مسطحات الشعاب في جزر فرسان على عمق 1 م

توجد أشجار الشوري (مانجروف) في جميع أنحاء البحر الأحمر، وبخاصة في المواقع المحمية من الأمواج وراء مسطحات الشعاب المرجانية، في الخلجان أو الجداول، وعلى الجانب المواجه للرياح من الجزر البحرية. وفي معظم المواقع، تنمو أشجار الشوري (مانجروف) على شكل غابات رقيقة نسبياً على طول خط الساحل، في الجزر القريبة والخارجية، وعلى هامش المد والجزر وفي خيران الشعاب الشاطئية وفي قنوات مختلفة الحجم. وتوجد أكبر تجمعات أشجار الشوري (مانجروف) في البحيرات الداخلية المحمية والخلجان المحمية حيث تتراوح أعماق المياه من 0.5 - 1.5 م، ولا سيما في الجنوب. كما أن أشجار الشوري (مانجروف) كثيراً ما ترتبط مع نهايات الأودية في اتجاه البحر.

وتتمثل أشجار الشوري (مانجروف) في اثنين من التجمعات المتميزة، إحداهما في موائل قاع لينة، والثانية وجدت أساساً في شمال البحر الأحمر، في موائل القيعان الصلبة وراء مسطحات الشعاب المرجانية. وهذه الأخيرة، غالباً ما يشار إليها بإسم «أدغال الشعاب» (Por et al. 1977) وتنمو مثل قشرة خشبية فوق قاع صخري أو شعاب أحفورية، مع أشجار متقزمة مثبتة في شقوق صغيرة مليئة بالرواسب. وبالتزامن مع الاختفاء التدريجي لموائل الشعاب المرجانية الصلبة في الموائل القريبة من الشاطئ والتحول إلى المواقع البحرية البعيدة، يزداد نمو الشوري (مانجروف) كلما اتجهنا جنوباً، وإلى الجرف القاري الواسع، وإلى مياه ذات درجات حرارة مرتفعة، وتوافر القيعان الطينية، وارتفاع المواد الغذائية، ووفرة من المياه العذبة. وقد يصل عرض هذه الغابات من الشوري (مانجروف) إلى ما يقرب من 100 - 500 م، مع ارتفاع قد يصل من 5 - 7 م.

وبشكل عام، فإن غابات الشوري (مانجروف) في شمال منطقة الليث (ضفة فرسان) عبارة عن بقع، مع وجود رقع أكبر وأكثر نمواً في الأماكن التالية: بالقرب من شرم الزبير، وعلى الخط الساحلي بين الوجه وأملج، وعلى ضفة الوجه وبالقرب من مدينة ينبع وبين الريس ومستورة ومنطقة رابع وجنوب جدة وخليج كشران. وفي جنوب الليث تنمو أشجار الشوري (مانجروف) بكثافة على طول الشاطئ مكونة ما يشبه الشريط أو الحزام. وتوجد رقع الشوري (مانجروف) الأضخم والأكثر كثافة في الجنوب من خور أبو سابا ومضايا وبيصاري (Mandura et al. 1987) والقوهم وخور إتواد وشعاب الكبيروخور الجعفرية (Price et al. 1987).

هناك أربعة أنواع من أشجار الشوري (مانجروف) مسجلة تاريخياً على طول الساحل السعودي للبحر الأحمر هي *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata* و *Bruguiera gymnorhiza* و *Ceriops tagal*. ويعتبر نوع الشوري (مانجروف) (*Avicennia marina*) إلى حد بعيد أكثر الأنواع شيوعاً، والتي تزدهر في البيئات القاسية، بل تبقى وتحمل ملوحة عالية (40 - 50 جزء في الألف)، وتفاوت رهيب في درجة حرارة المياه (12° - 40°). والحد الشمالي لتوزيع ووجود أشجار أفيسنيا مارينا هو على طول شبه جزيرة سيناء، وبالقرب من شرم زبير (27° 25' N) وحتى خلف جنوب جزر فرسان والى الحدود مع اليمن. أما نوع القنديل (*Rhizophora mucronata*)، فهو أقل انتشاراً مع أنه يوجد جنوباً إلى جنب مع الشوري (مانجروف) (*Avicennia marina*) في 11 موقعاً (AI- Wetaid 2003). وأكثر البقع اتساعاً والتي يسود فيها نوع القنديل توجد في جزر فرسان وضفة الوجه.



مساحات واسعة من أشجار الشوري (مانجروف) في الخلجان داخل جزر فرسان



أشجار الشوري (مانجروف) من نوع أفيسينيا مارينا تعيش في الجانب المواجه للرياح من الجزر البحرية البعيدة في ضفة الوجه

مخطط تصنيف الموائل

نتيجة لهذا الأطلس، تم تعريف «الموئل» على أنه مزيج فريد من مجموعة من تراكيب و هياكل طبوغرافية، ومجتمع حيوي، ورواسب/أرض صلبة التكوين تظهر باستمرار على الأقل عبر نطاق من بكسل صورة (2.4 م²). وبالنظر إلى النطاق الجغرافي من هذه الدراسة، كان نظام التصنيف على حد سواء صعب بما فيه الكفاية لتسهيل سرعة رسم الخرائط، ومفصل بما فيه الكفاية حتى الآن للتعرف على مجموعة من الموائل موجودة على طول البحر الأحمر. والأهم من ذلك، هو تصنيف لصور الاستشعار عن بعد على أساس أبعاد المشهد ليكون ممكناً. وفي المقام الأول تم تطوير نظام التصنيف في جزر فرسان ومناطق رأس القصبية. وتمثل هذه الأماكن معظم المحاولات لرسم خرائط للرقع الشمالية والجنوبية. ومخطط رسم الخرائط ينطبق على مناطق أخرى تم تعيينها مع حاجة كبيرة للتعديل والضبط. وجرى استعراض لقطات الفيديو المرتبطة بجزر فرسان ورأس القصبية، وتصنيفها على أساس التباين في الطبوغرافيا، ومكونات ووفرة المجتمعات الحيوية، فضلاً عن توزيع الرواسب أو القاع الصلب. واستخدمت الملاحظات الميدانية والتصوير الفوتوغرافي الدقيق عن طريق الغوص تحت الماء للتحقق من وتعديل هذا التصنيف عند الضرورة. وحيث أن أدوات تصنيف الصورة لا يمكن أن تميز بين الموائل، فتم الإدماج بين هذه الموائل. فعلى سبيل المثال، لم يكن من الممكن التفريق فعلياً بين الحشائش البحرية ذات غطاء وكثافة مرتفعة (غطاء حوالي 50 - 100 %) وأخرى متوسطة الكثافة والغطاء (غطاء حوالي 15 - 50 %)، ومن ثم تم دمج الفئتين لتشكيل الطبقة «مسطحات الحشائش البحرية» (بغطاء حوالي 15 - 100 %). ولم يكن ممكناً فصل الحشائش البحرية ذات الغطاء الخفيف (غطاء 0 - 15 %)، عن الطبقة الرملية وذلك بسبب محتوى الرواسب العالية، وبالتالي تم دمجها إلى طبقة الرمال الضحلة أو الطبقات الرملية العميقة داخل الأهوار. والمخطط النهائي لتصنيف الموائل يضم خمسة عشر فئة مختلفة على النحو التالي:

- 1) قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح، 2) قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح، 3) بقع أكروبوراً كثيفة، 4) الهياكل العمودية، 5) الجدران المرجانية المنخفضة بحدة، 6) المرجان المتناثر والحجارة والرمل، 7) مسطحات الحشائش البحرية، 8) الطحالب الكبيرة والإسفنجيات على القيعان الصلبة، 9) طبقات اليكتيريا الزرقاء على الرمال، 10) أشجار الشوري (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ، 11) القنوات المعرأة، 12) القيعان الكربونية ومسطحات الشعاب، 13) طبقات الرمال الضحلة، 14) رمال الأهوار العميقة، 15) مسطحات الرمل والطين.

أنواع الموائل

خرائط الموائل التي أنشئت لساحل البحر الأحمر في المملكة العربية السعودية تمتد من خط الساحل، من المستوى المنخفض للماء وحتى عمق من 20 - 30 م. وتمتد الموائل من البر الرئيسي وحتى ما يصل إلى 100 كم من الخط الساحلي، وتشمل الشعاب المرجانية وما يرتبط بها من المجتمعات التي تحيط بالجزر البعيدة، فضلاً عن الشعاب المرجانية المغمورة والموائل ذات القيعان الصلبة. وتم دمج كلاً من أنواع الغطاء الحي وأنواع الهياكل الجيومورفولوجية لتحديد موئل أو موطن معين. وعرف «الموئل» على أنه مزيج فريد من مجموعة من تراكيب وهياكل طوبوغرافية، ومجتمع حيوي، ورواسب/أرض صلبة التكوين تظهر باستمرار على الأقل عبر نطاق من بكسل صورة (2.4 م²).

قمم مرجانية حافية لمواجهة للرياح

القمم المرجانية الحافية لمواجهة للرياح متنوعة، وذات طاقة عالية تهيمن عليها تجمعات الشعاب المرجانية الصلبة والمبنية على هياكل ضخمة وعمودية من جنس البورايتس *Porites*. وتقع هذه التجمعات مباشرة في اتجاه البحر عقب مجتمعات مسطح الشعاب، وتتضمن موائل واجهة المنحدر المرجاني وتلال ومدراج الشعاب المرجانية. وتميل الشعاب المرجانية إلى أن تكون أنواع ضخمة قليلة التضاريس، تتخللها الأنواع المتفرعة والصفوحة والعمودية التي لديها أفرع أو أعمدة غليظة وقصيرة بما في ذلك الأنواع من *Acropora* و *Pocillopora* و *Stylophora* و *Favia*. وقد توجد أنواع أخرى من الشعاب المرجانية مثل *Favites* و *Seriatopora* و *Fungia*. وفي هذه المناطق عادة ما يكون الغطاء الحي من الشعاب المرجانية عالي (50 - 80%) في حين تكون الطحالب الكبيرة نادرة الوجود، والعمق السائد من 1 - 5م.



منحدر مرجاني في مواجهة للرياح قبالة الأعماق الحادة، الحاجز المرجاني بينبع، عمق 5 م



منحدر مرجاني في مواجهة للرياح، ضفة فرسان، عمق 4 م



نوع الأوروبورا يهيمن على مصطبة الشعاب عند عمق 3 م، ضفة فرسان

قمم مرجانية حافية غير مواجهة للرياح

وتتميز القمم المرجانية الغير مواجهة للرياح بوفرة الغطاء المرجاني الصلب والتي تهيمن عليها مستعمرات *Acropora* الصغيرة، وأيضاً أنواع من *Favia* و *Favites* و *Seriatopora hystrix*. ويصل الغطاء الحي من الشعاب المرجانية حوالي 50 - 80%. كما توجد القمم المرجانية الأكثر تنوعاً على حواف الأهوار الضحل. وفي بعض الشعاب الجنوبية (ضفاف وجزر فرسان)، تكون الطحالب الكبيرة أكثر وفرة ومختلطة مع المرجان، مع هيمنة من الطحالب البنية القوية بما في ذلك *Sargassum* و *Turbinaria*، وعموماً هذه الأصناف من الطحالب تشكل تجمعات كثيفة على مسطحات الشعاب المتاخمة، وخصوصاً في الشعاب القريبة من الشاطئ. عمق نموذجي: والعمق السائد من 1-5م.



منحدر مرجاني غير مواجه للرياح، ضفة الوجه، عمق 3 م



مجتمع متنوع من الشعاب المرجانية، شعاب غير مواجهة للرياح، ضفة فرسان، على عمق 5م

الجدران المرجانية /حاداة العمق

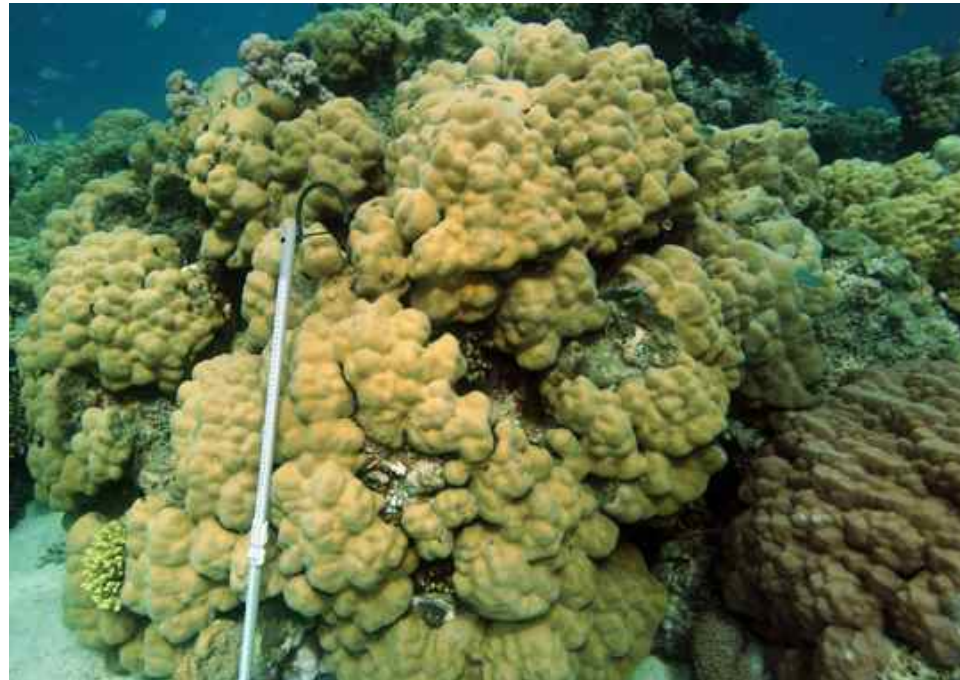
عادة ما تكون الجدران المرجانية حادة العمق، وشبه عمودية مع غطاء مرجاني يتراوح بين (10 - 70%). وجميع أشكال نمو الشعاب المرجانية ممثلة على تلك الجدران، ولكن بصفة رئيسية فإن أشكال النمو المغلفة والورقية توجد على الأماكن المكشوفة. ويتكون مجتمع المرجان أساساً من الأنواع: *Pachyseris* و *Echinopora* و *Mycedium* و *Favia* و *Favites* و *Millepora*. والمسافات بين تلك المستعمرات ممكن أن تكون خالية أو محشوة بالإسفنجيات والطحالب الكبيرة والطحالب المرجانية وزينيا (*Xenia*) وأنواع أخرى من المرجان اللين. وقد توجد أخاديد ومنخفضات قليلة التضاريس بشكل متقطع أسفل واجهة الشعاب العمودية. وتتراكم بقايا الأنقاض الخشنة القادمة من قمة الشعاب عند قاعدة هذه الأخاديد. والعمق السائد من 3 - 40 م.



حائط شعاب عمودي في جزيرة قبالة منطقة الوجه. وهذا الحائط مكسو بالشعاب المرجانية اللينة (في الغالب زينيا *Xenia*) مع مستعمرات معزولة من سيات البحر (antipatharians)



هيكل مستعمرة بورايتس *Porites* في قاع شعاب ضحلة في منطقة الوجه على عمق 12 م



مستعمرة حية كبيرة من بورايتس ليوتا *Porites lutea* في ضفة فرسان. طول المقياس في الصورة 1 م

الهيكل العمودية

تعتبر هياكل الشعاب العمودية موائل ذات طوبوغرافيا معقدة وقد بنيت من مستعمرات عمودية معقدة التضاريس من أنواع *Porites*. وعادة ما يكون الغطاء المرجاني الحي منخفض (أقل من 15%) بالرغم من وجود مناطق بها مستعمرات وفصوص كبيرة من *Porites* والتي لا تزال أعمدة حية في كثير من الأحيان ومستعمرة جزئياً بالمرجانيات الصغيرة، بما في ذلك الأشكال المغلفة والصفحية وشبه الضخمة. وكلما ازداد العمق، تصبح الهياكل والتراكيب المرجانية أقصر وأعرض. وتمتلئ المنخفضات والشقوق داخل هذه الهياكل بالرواسب، في حين تمتلئ الشقوق العميقة بالحببيبات الدقيقة والرواسب الطينية. ويمكن أن تكون هذه الهياكل مورفولوجياً كارستية (جيرية) من قديم الأزل، ولكن المنخفضات المليئة بالرواسب تشير أيضاً إلى أن المنظر نتيجة تدخلات خارجية بحتة. والعمق السائد من 5 - 40 م.



مستعمرة بورايتس *Porites* عمودية في رأس القصبية. لاحظ أن قمم الفصوص فقط هي التي على قيد الحياة

بقع كثيفة من مرجان أكروبورا *Acropora*

توجد بقع كثيفة من مرجان الأكروبورا *Acropora* في كل من: رقع الشعاب داخل الأهوار المحمي والمصاطب الضحلة المعرضة للأمواج الضعيفة والمتوسطة وحواف الشعاب المكشوفة. وتتميز هذه المناطق بوجود رقع كثيفة من أفرع المرجانيات الإصبعية المتشابهة، وفي كثير من الأحيان مع طبقات ظل متعددة. وعادة ما يتراوح الغطاء المرجاني الحي بين (40 - 80%)، ولكن قد يتجاوز 100% وذلك نتيجة للطبقات المظلمة وأنماط التفرع الكثيفة. وتحتوي هذه المجتمعات على تنوع عالي، ولكن غالباً ما يهيمن عليها نوع *Acropora clathrata*. والعمق السائد من 5 - 15 م، على الرغم من وجود أعماق ضحلة (1 - 3 م) في المناطق ذات العكارة العالية.



بقعة من الأكروبورا إصبعية الشكل (*digitate Acropora spp*) على قمة الشعاب المواجهة للرياح، ضفة فرسان



تداخل طبقات مظلمة من أكروبورا المنضدة (*table acroporides*)، في جزر فرسان، 10 م عمق



بقعة كثيفة من نوع أكروبورا *Acropora* في منحدر الشعاب الخارجي في ضفة فرسان



مجتمع أكروبورا متفرعة، في شعاب غير مواجه للرياح، ضفة فرسان، على عمق 7 م



مجتمع مختلط من أنواع أكروبورا (*Acropora spp*) على رقعة شعاب مرجانية ضحلة (5 م) في منطقة الوجه



بقعة من شعاب أكروبورا في هور ضحل (عمق 2 م) في ضفة الوجه

القنوات المعرّاة

تحتوي هذه القنوات على مسطحات ذات تضاريس صلبة، مع مجتمعات متفرقة من المرجان اللين في الغالب (*Padina* و *Xenia*) وغيرها من الطحالب الكبيرة، وبعض المرجانيات الصلبة المعزولة والمنخفضة التنوع. وتتحرك المياه مدفوعة بالتيارات المدّية من خلال قنوات ضيقة بين البحيرات والبحر المفتوح. وهذا التدفق ذو السرعة العالية يزيل الترسبات الغير-ملتصقة وينظف قاع البحر. والعمق السائد من 1 - 20 م.



قناة معرّاة بين الموانئ المرجانية عالية التضاريس قبالة ينبع، 14 م عمق. هذه الموانئ كثيراً ما تنشأ على قاعدة من الشعاب. وعادة ما يحتوي القاع على قشرة رقيقة من الرمال والشعاب المرجانية الميتة والأحجار مع قليل جداً من المرجان الحي

القيعان الكربونية ومسطحات الشعاب

توجد المناطق صلبة القاع تحت خط المد المنخفض أو منبثقة وبارزة عند انخفاض المد. كما توجد قشرة رقيقة (سنتيمتر واحد) من الرواسب، وبقع صغيرة من الطحالب الكبيرة، والمرجانيات الصغيرة المعزولة، ومسطحات الطحالب الخيطية. ومسطحات الشعاب المكشوفة غالباً ما تكون خالية من الرواسب مع طبقة طحالب عليا في المناطق متوسطة الانكشاف، وفي المقام الأول على الحواف المرجانية في المنخفضات. أما مسطحات الشعاب البعيدة، في المناطق التي بها أمواج عاتية وتيارات قوية، لديها غطاء منخفض ومتناثر من كل من؛ الطحالب الكبيرة، ومستعمرات مرجانية صغيرة من *Stylophora* و *Pocillopora*. في حين مسطحات الشعاب القريبة من الشاطئ، وخصوصاً حول جزر وضفة فرسان، فقد سادت فيها موسمياً الطحالب البنية الكبيرة بما في ذلك *Sargassum* و *Dictyota*. وأيضاً مجتمعات مسطح الشعاب المحمية تسود فيها مستعمرات مسطحة من *Millepora* و *Acropora* و *Porites* وغيرها من الشعاب المرجانية بسيطة التضاريس. وتسود الطحالب الحمراء الجيرية في المسطحات الشاطئية المكشوفة (عمق 1 - 2 م) والتي قد ترتفع مكونة سياجاً مرتفعاً. والعمق السائد من 0 - 1 م.



أمثلة لمجتمعات مسطح الشعاب في البحر الأحمر. (A) مسطح الشعاب الخارجي مكشوف وبه مستعمرات معزولة من *Stylophora* في ضفة فرسان. (B) سياج بارزة من الطحالب المرجانية المتكلسة مع الطحالب البنية الكبيرة في مسطحات الشعاب القريبة من الشاطئ في ضفة فرسان. (C) مجتمع مسطح الشعاب في الحاجز المرجاني لمنطقة الوجه ويحتوي على *Millepora*، و *Pocillopora*، وشعاب مرجانية أخرى. (D) مسطح شعاب في جزر فرسان، مستعمرات ضخمة من *Porites* تنافس الطحالب البنية الكبيرة. (E) مجتمع مسطح قبالة ينبع مع هيمنة من مستعمرات *Acropora* المسطحة



أشجار الشوري (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ

توجد أشجار الشوري (مانجروف) في جميع أنحاء البحر الأحمر، بصفة خاصة في المناطق المحمية و وراء مسطحات الشعاب المرجانية وفي الخلجان أو الجداول وعلى الجانب الغير مواجه للريح من الجزر البعيدة عن الشاطئ. وفي معظم المواقع، تنمو أشجار الشوري (مانجروف) كغابات رقيقة نسبياً على طول خط الساحل وفي الجزر القريبة والبعيدة وعلى حواف جداول المد والجزر والقنوات مختلفة الحجم. وتوجد أكبر تجمعات أشجار الشوري (مانجروف) في البحيرات المحمية الداخلية والخلجان المحمية حيث تتراوح أعماق بين 0.5 - 1.5 م، وخصوصاً في الجنوب.



أشجار الشوري (مانجروف) (*Avicennia marina*) ونباتات ساحلية أخرى في ضفة فرسان



شجرة الشوري (مانجروف) (*Avicennia marina*) والجذور الهوائية عند حافة الماء في منطقة الوجه



نباتات ساحلية في جزيرة بريم في ضفة الوجه

مسطحات الحشائش البحرية

تظهر الحشائش البحرية في البيئات الغير مواجهة للريح والمحمية وراء الجزر، وعلى مقربة من الشاطئ، وعلى قاع الشعاب الخلفية. ومعظمها تنمو في موائل ذات قاع ناعم في المياه الضحلة، وفوق الرمال الطينية الغنية بالكربونات العضوية، وفي أعماق أقل من 7 م، وبعض أنواع من الحشائش البحرية توجد في المياه العميقة (عمق 10 - 40 م).



صورة مقربة لأوراق وريزومات (شبه الجذر) الحشيش البحري هالوفيل (*Halophila*)

العديد من أنواع الحشائش البحرية تكون تجمعات كثيفة أحادية النوع مثل:

Thalassia hemprichii و *Thalassodendron ciliatum* و *Halophila ovalis* و *Halodule uninervis*.

كما لوحظ تجمعات مختلطة من الحشائش البحرية التي تهيمن

Thalassia hemprichii و *Cymodocea rotundata* و *Syringodium isoetifolium* و *Halophila stipulacea*.

ويتراوح غطاء كثافة رقعة من الحشائش من أقل من 5% إلى 60% وأنها كثيراً ما كانت مختلطة مع الطحالب الخضراء والبنية الكبيرة. وفي بيئات ضحلة، تكون الرقع الكثيفة (غطاء أقل من 50%) من الحشائش البحرية صغيرة الحجم نسبياً (5 - 10 م)، بينما في أعماق أقل من 10 م تكون هذه الرقع أكثر اتساعاً. والعمق السائد من 1 - 10 م إلى 40 م في المياه الشفافة.



مناطق حشائش بحرية متناثرة تسود فيها *Syringodium isoetifolium* وتقع عند قاعدة الشعاب في عمق 8 م في رأس القصبية



رقعة كثيفة من نوع وحيد هو *Thalssia hemprichii* مكشوفة عند المد المنخفض

طبقات الرمال الضحلة

طبقات الرمال غيرالمتماسكة تتكون من بقايا المرجانيات والطحالب الجيرية والرخويات والجلدشوكيات. ويلاحظ على نطاق م² بقع من الطحالب الكبيرة (على سبيل المثال *Laurencia* و *Caulerpa racemosa* و *Cladophora*) والمرجانيات المقاومة والمتحملة للرواسب الرواسب، مثل *Favia spp*. في مناطق الطاقة المنخفضة، فإن الرمال قد تغطي بحُصر من الطحالب الخيطية (مثل: *Rhizoclonium tortuosom* و *Chaetomorpha gracilis* و *Cladophora coelothrix*). والعمق السائد من 0 - 20 م.



مسطحات رمال في مناطق المد الضحلة تقع قبالة جزيرة في ضفة فرسان



مسطح رمال في قاعدة شعاب على عمق 15 م، في ضفة الوجه. وتوجد المرجانيات الصغيرة وبقايا مرجان ميت على القاع

طبقات البكتيريا الزرقاء على الرمال

توجد طبقات واسعة من البكتيريا الزرقاء (الطحالب الخضراء المزرققة) أو الطحالب الخيطية التي تهيمن عليها الأنواع (*Rhizoclonium tortuosom* و *Chaetomorpha gracilis*) في المناطق الرملية والبيئات المحمية، خصوصاً على الجانب الغيرمواجه للرياح من الجزر والمناطق القريبة من الشواطئ. كما توجد في قاعدة الشعاب في بعض المناطق والعمق السائد من 1 - 40 م.



طبقات من البكتيريا الزرقاء فوق رمال وأحجار مرجان في منطقة أهوار

الأهوار الرملية العميقة

رمال الأهوار عبارة عن هياكل مرجان وطحالب وحببيات رمل دقيقة وطين. وغالباً ما تحتوي على رقع متناثرة من الحشائش البحرية (في الغالب *Cymodocea serrulata*) وطحالب الخضراء الجيرية (مثل *Halimeda*) وأحجار وهياكل المرجانيات ومن حين لآخر مستعمرات من المرجان اللين زينيا (*Xenia*). كما يلاحظ غياب الشعاب المرجانية الحية أو وجود نسبة ضئيلة جداً من غطاء الشعاب المرجانية الحية. والعمق السائد من 20 - 40 م.



مسطح رملي بعمق 15 م في رأس القصبه مع غياب كامل للمرجان وطحالب الزرقاء

مسطحات الرمل والطين

عادة ما تتعرض رمال الهياكل المرجانية والطحلبية والرواسب الطينية إلى انخفاض المد وانحسار المياه، وتتفاوت أعماق هذه الرواسب. وبما أن طبقة الرواسب ضئيلة، يلاحظ في رقعة من القاع الصلب أو شبه المتماصك أنها مغطاة بقشرة رقيقة من الطحالب الخيطية الجيرية الكبيرة. في حين أن المناطق شبه البارزة أو المرتفعة قد تشكل ما يعرف بالسبخات (مسطحات ملحية). والعمق السائد من 0 - 1 م.



مسطح طيني في منطقة محمية قريبة من الشواطئ، ضفة الوجه



بيئة رملية طينية تقع بجوار الشاطئ، وتوجد على القاع الطحالب الكبيرة، الدياتومات والبكتيريا الزرقاء

المرجان المتناثر والحجارة والرمل

يوجد خليط من الرمل الخشن غير المتماسك وركام الطحالب المرجانية أسفل منحدر من القمم المرجانية الحية أو المترسبة في المناطق الساحلية المحمية جزئياً. وقد تسود في هذه المناطق الأحجار الصغيرة (مع عدم وجود مرجانيات حية)، والرمل مع رقع من الركام والمرجانيات الصغيرة، أو الرمل مع بعض قمم المرجان المنزلة والإسفنج. وتتماسك وهذه الرواسب وتلتصق مع بعضها عن طريق الطحالب المرجانية أو الإسفنج، والسماح لبعض المرجانيات بالنمو، مما يؤدي إلى مجتمع متناثر من المرجانيات يتكون أساساً من الأنواع: *Xenia* و *Acropora* و *Fungia* و *Favites* و *Favia*. (المرجان اللين) والعمق السائد من 3 - 10 م.



قطع صغيرة من المرجان الميت في الرمال في قاعدة شعاب، ضفة فرسان، عمق 10 م



أحجار وطحالب مرجانية وبقايا مرجانية في قاعدة شعاب، ضفة الوجه



رصيف مغطى بالرواسب والأحجار والإسفنجيات المعزولة، جزر فرسان، عمق 8 م



طحالب خضراء كبيرة في قاعدة شعاب مغطاة بالرمل، ضفة فرسان، عمق 10 م

الطحالب الكبيرة والإسفنجيات على رمال قيعان صلبة

تسود الطحالب الكبيرة المسطحات المرجانية وغيرها من القيعان الصلبة في المناطق الجنوبية وكذلك بعض الموائل المدية الناعمة على طول البحر الأحمر. ويتضاءل غطاء الطحالب بحدة من 50 - 90% عند 1 - 4 م إلى أقل من 5% عند أعماق تزيد عن 5 م. ومجتمعات مسطحات الشعاب، والشعاب المنبسطة (تشبه المنصة) وغيرها من الموائل البحرية الضحلة غالباً ما تحتوي على قيعان صلبة تتخللها بقع من الرمال التي استعمرت في المقام الأول من قبل الطحالب الكبيرة وتجمعات الإسفنج. في حين تسود في الموائل الضحلة (0 - 5 م)، الطحالب البنية *Sargassum* و *Padina* والتي توجد عادة في نسب متساوية. وغالباً ما تكون هذه البقع بقطر حوالي 1 - 5 م وأقل في الارتفاع من 50 سم، ويفصل بينها وبين قمم تلك المنصات (الشعاب المنصة) أقل من 1 م من الرمال. وعلى الجانب الآخر تهيمن على المناطق العميقة (5 - 15 م) الطحالب البنية *Sargassum* و *Padina* فوق القيعان الجيرية، وكثيراً ما تختلط مع الإسفنج *Drysidea*، والمرجان اللين *Xenia* وبعض المرجانيات الصلبة المعزولة. والعمق السائد من 1-15 م.



الطحلب البني *Dictyota* وطحالب بنية أخرى فوق مسطح الشعاب القريب من الشاطئ، ضفة فرسان، عمق 1 م



الطحالب البنية الكبيرة (*Sargassum* و *Padina*) فوق رصيف صلب، جزر فرسان، عمق 1 م

المراجع

- Al-Wetaid, A. 2003. Status of Red Sea mangrove in Kingdom of Saudi Arabia (Draft Report). PERSGA, Jeddah (in Arabic).
- Behairy, A.K.A., C.R.C. Sheppard and M.K. El-Sayed. 1992. A review of the geology of coral reefs in the Red Sea. UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 152, 39 pp.
- Braithwaite, C.J.R. 1987. Geology and paleogeography of the Red Sea region. In: Head, S.M. (Ed.) Red Sea – Key Environments. Pergamon, pp. 22-45.
- Chazot, G., M.A. Menzies and J. Baker. 1998. Pre-, syn-, and post-rift volcanism of the south-western margin of the Arabian plate. In: Purser, B.H., and D.W.J. Bosence (Eds.) Sedimentation and Tectonics in Rift Basins. Red Sea – Gulf of Aden. Chapman & Hall, pp. 50-56.
- Davison, L., I. Davison, M. Al-Kadasi, S. Al-Khirbash, A.K. Al-Subbary, J. Baker, S. Blakey, D. Bosence, C. Dart, R. Heaton, K. McClay, M. Menzies, G. Nichols, L. Owen and A. Yelland. 1994. Geological evolution of the southeastern Red Sea Rift margin, Republic of Yemen. GSA Bulletin 106 (11):1474-1493.
- DeVantier, L., E. Tourak, K. Al-Shaikh and G. De'ath. 2000. Coral communities of the central-northern Saudi Arabian Red Sea. Fauna of Arabia 18:23-66.
- El Shaffai, A. 2011. Studies on the seagrass ecosystems in Wadi El Gemal National Park, Red Sea. MSC Thesis, Suez Canal University, Ismailia.
- Girdler, R.W. and T.C. Southren. 1984. Structure and evolution of the Red Sea. Nature 330:716-721.
- Guilcher, A. 1988. A heretofore neglected type of coral reef: the ridge reef. Morphology and origin. Proceedings of the Sixth International Coral Reef Symposium 3:399-402.
- Head, S.M. 1987. Introduction. In: Head, S.M (Ed.) Red Sea – Key Environments. Pergamon, pp. 1-20.
- Hulings, N. C. and H. Kirkman. 1982. Further observations and data on seagrasses along the Jordanian and Saudi Arabian coasts of the Gulf of Aqaba. Tethys 10:218-220.
- Jones, D.A., M. Ghamrawy and M.I. Wahbeh. 1987. Littoral and shallow subtidal environments. In: Edwards, A. (Ed.) Key environments: The Red Sea. Pergamon Press, Oxford, pp. 169-193.
- Lambeck, K. and J. Chappell. 2001. Sea level change through the last glacial cycle. Science 292:679-686.
- Makris, J., and C.H. Henke 2007. Pullapart evolution of the Red Sea. J Petroleum Geology 15:127-134.
- Mandura, A.S., S.M. Saifullah and A.K. Khafaji. 1987. Mangrove ecosystem of southern Red Sea coast of Saudi Arabia. Proceedings of Saudi Biology Society 10:165-193.
- McClay, K.R., G.J. Nichols, S. Khalil, M. Darwish and W. Basworth. 1998. Extensional tectonics and sedimentation, eastern Gulf of Suez, Egypt. In: Purser, B.H. and D.W.J. Bosence (Eds.) Sedimentation and Tectonics in Rift Basins. Red Sea – Gulf of Aden. Chapman & Hall, pp. 223-238.
- Ormond, R.F.G., A. Dawson-Sheppard, A. Price and R.G. Pitts. 1984. Report on the distribution of habitats and species in the Saudi Arabian Red Sea. International Union for Conservation of Nature / Meteorological and Environmental Protection Administration / PERSGA, Kingdom of Saudi Arabia. 123 pp.
- Orszag-Sperber, F., B.H. Purser, M. Rioual and J.-C. Plaziat. 1998. Post-Miocene sedimentation and rift dynamics in the southern Gulf of Suez and northern Red Sea. In: Purser, B.H. and D.W.J. Bosence (Eds.) Sedimentation and Tectonics in Rift Basins. Red Sea – Gulf of Aden. Chapman & Hall, pp. 427-444.
- Perrin, C., J.-C. Plaziat and B.R. Rosen. 1998. Miocene coral reefs and reef corals of the south-western Gulf of Suez and north-western Red Sea: distribution, diversity, and regional environmental control. In: Purser, B.H., and D.W.J. Bosence (Eds.) Sedimentation and Tectonics in Rift Basins. Red Sea – Gulf of Aden. Chapman & Hall, pp. 296-320.
- Por, F.D., I. Dor and A. Amir. 1977. The mangal of Sinai: limits of an ecosystem. Heloglander wiss. Meeresunters 30:295-314.
- Price, A.R.G., P.A.H. Medley, R.J. McDowall, A.R. Dawson Shepherd, P.J. Hogarth and R.F.G. Ormond. 1987. Aspects of mangal ecology along the Red Sea coast of Saudi Arabia. Journal of Natural History 21: 449–64.
- Price, A.R.G., G. Jobbins, A. Dawson Shepherd and R.F.G. Ormond. 1998. An integrated environmental assessment of the Red Sea coast of Saudi Arabia. Environmental Conservation 25:65-76.
- Purkis, S.J., G.P. Rowlands, B.M. Riegl and P.G. Renaud. 2010. The paradox of tropical karst morphology in coral reefs of the arid Middle East. Geology 38:227-230.
- Purser, B.H. and D.W.J. Bosence. 1998. Organization and scientific contributions in sedimentation and tectonics of rift basins: Red Sea-Gulf of Aden. In: Purser, B.H. and D.W.J. Bosence (Eds.) Sedimentation and Tectonics in Rift Basins. Red Sea – Gulf of Aden. Chapman & Hall, pp.3-8.
- Riegl, B. and W.M. Piller 1997. Distribution and environmental control of coral assemblages in Northern Safaga Bay (Red Sea, Egypt). Facies 36: 141-162.
- Rihm, R. and C.H. Henke. 1998. Geophysical studies on early tectonic controls on Red Sea rifting, opening and sedimentation. In: Purser, B.H. and D.W.J. Bosence (Eds.) Sedimentation and Tectonics in Rift Basins. Red Sea – Gulf of Aden. Chapman & Hall, pp. 27-48.
- Sheppard, C.R.C. and A.L.S. Sheppard, 1985. Reefs and coral assemblages of Saudi Arabia 1. The central Red Sea at Yanbu al Sinaiyah. Fauna of Saudi Arabia 7:17-36.
- Sheppard, C., A. Price and C.X. Roberts. 1992. Marine ecology of the Arabian Region. Patterns and processes in extreme tropical environments. Academic Press, New York, 359 pp.
- Siddall, M., E.J. Rohling, A. Almogi-Labin, C. Hemleben, D. Meischner, I. Schmelzer and D.A. Smeed. 2003. Sea-level fluctuations during the last glacial cycle. Nature 423:853-858.



رأس القصبية





تتألف أساساً مجتمعات الشعاب الأمامية في منطقة رأس القصبية من مستعمرات كبيرة فضية عمودية من *Porites lutea*، والتي تعتبر مكون الشعاب الرئيسي للمنطقة. وهذه غالباً ما تكون مئة جزئياً ومستعمرة من قبل المرجانيات الأخرى، بما في ذلك *Acropora*، و المرجانيات اللينة (*Xenia*)، كما يلاحظ في هذه الصورة



مجتمعات شعاب ضحلة مع وجود المرجانيات المتفرعة من جنس *Acropora* و *Seriatopora* و *Pavona* والمرجان المفرد (*Fungia*) والمرجانيات اللينة

رأس القصبية

تقع رأس القصبية داخل منطقة مديان، إلى الشرق من شبه جزيرة سيناء. الساحل قرب رأس القصبية غير معقد، مع الأودية، وسفوح المرتفعات، والتلال الناعمة، والخلجان الصغيرة العديدة من الشواطئ الرملية. و قبالة السواحل توجد جزر صغيرة عدة. وأكبر جزيرتين في المنطقة هما الفرشة في الطرف الشمالي وأم قصور في الطرف الجنوبي. هناك أيضاً جزيرة برقان في الخارج، وتحيط بها هياكل الشعاب المرجانية والمياه العميقة.

وتحتوي المنطقة على العديد من الشعاب المرجانية المتاخمة للساحل وجزر الشعاب الشاطئية البعيدة. وتشمل هذه الشعاب الحادة شروم على حافة الوديان، التي تتدفق من جبال الهيسا محملة بالرمل والحصى. أما المنطقة المدية فغالباً ما تحتوي على مسطحات رملية غرينية تمتد على طول الخط الساحلي في أحزمة ضيقة تصل إلى 1 كم. وعند مصبات بعض الأودية، يمكن العثور على المستنقعات المالحة التي تسود عليها *Halocnemum strobilaceum* وتوجد أيضاً السبخات الجافة. وتوجد أشجار الشوري (مانجروف) (في المقام الأول *Avicennia marina*) حول مداخل الأودية، وغالباً ما يتوقف شكل النمو في المناطق الصخرية.

الموائل البحرية في رأس القصبية تختلف اختلافاً كبيراً، وتتضمن تراكيب الشعاب المرجانية، مسطحات الحشائش البحرية، المسطحات الرملية المدية، ومناطق واسعة من المرجانيات اللينة والرمال، وبقع الطحالب. ومعظم الشعاب تتكون من هياكل شبكية أو «شبيه بقرص العسل» مبنية على هيكل من المرجان الكبير من جنس *Porites*. وتشكل هذه الهياكل سلاسل ما يقرب من 1 - 10 م عبر الهياكل العظمية المرجانية أو المرجانيات الحية التي تحيط بها بقع الرمال والأحجار. وتوجد مسطحات واسعة من الحشيش البحري *Thalassodendron* في البيئات الرملية العميقة، وعادة في عمق 15 - 25 م.



أعلى: شاطئ صخري في شمال البحر الأحمر قرب رأس القصبية. الشاطئ الصخري يشكل ما يسمى طبقات مترابطة (منخفضة في اتجاه البحر) ويتكون من رمال الشاطئ المتماسكة. وهذه الصخور تتشكل فقط في منطقة المد والجزر، وبالتالي فهي مفيدة لتصوير الشواطئ القديمة أو مستويات البحر. ويمكن أن تتآكل بشدة الطبقات العليا، كما يلاحظ في يمين الصورة السابقة وتسمى هذه الظواهر من عمليات التآكل «الكارستية»

الصفحة المقابلة، يمين: موقع رأس القصبية. مصدر الخريطة الأساسية:

ESRI, i-cubed, USFSA, USGS, AEX, GeoEye, AeroGRID, Getmapping, IGP.

الصفحة المقابلة، أعلى يسار: الطبقات الرسوبية في رأس القصبية. ويرجع انخفاضها بشدة نحو حوض البحر الأحمر إلى ارتفاع المورفولوجيا الأصلي جزئياً. وتحتوي الطبقات السميكة على الشعاب الأحفورية، في حين تكون الطبقات الرفيعة متواليات رملية في المياه الضحلة.

الصفحة المقابلة، أسفل يسار: ساحل من الحجر الجيري مرتفع قرب رأس القصبية. وتؤدي قوة الضغوط الممتدة على طول البحر الأحمر إلى تصاعد السواحل، وتعرية الرواسب البحرية المترسبة في العهود السابقة. كما تسجل أيضاً أعلى مستويات سطح البحر للحقبة القديمة على الحجر الجيري التي ارتفعت، وما يزيد عن خمسة مرات عن المصاطب الموجودة في شمال البحر الأحمر.



المرجان الناري (*Millepora*) على قمة الشعاب غير مواجهه للرياح (عمق 3 م)

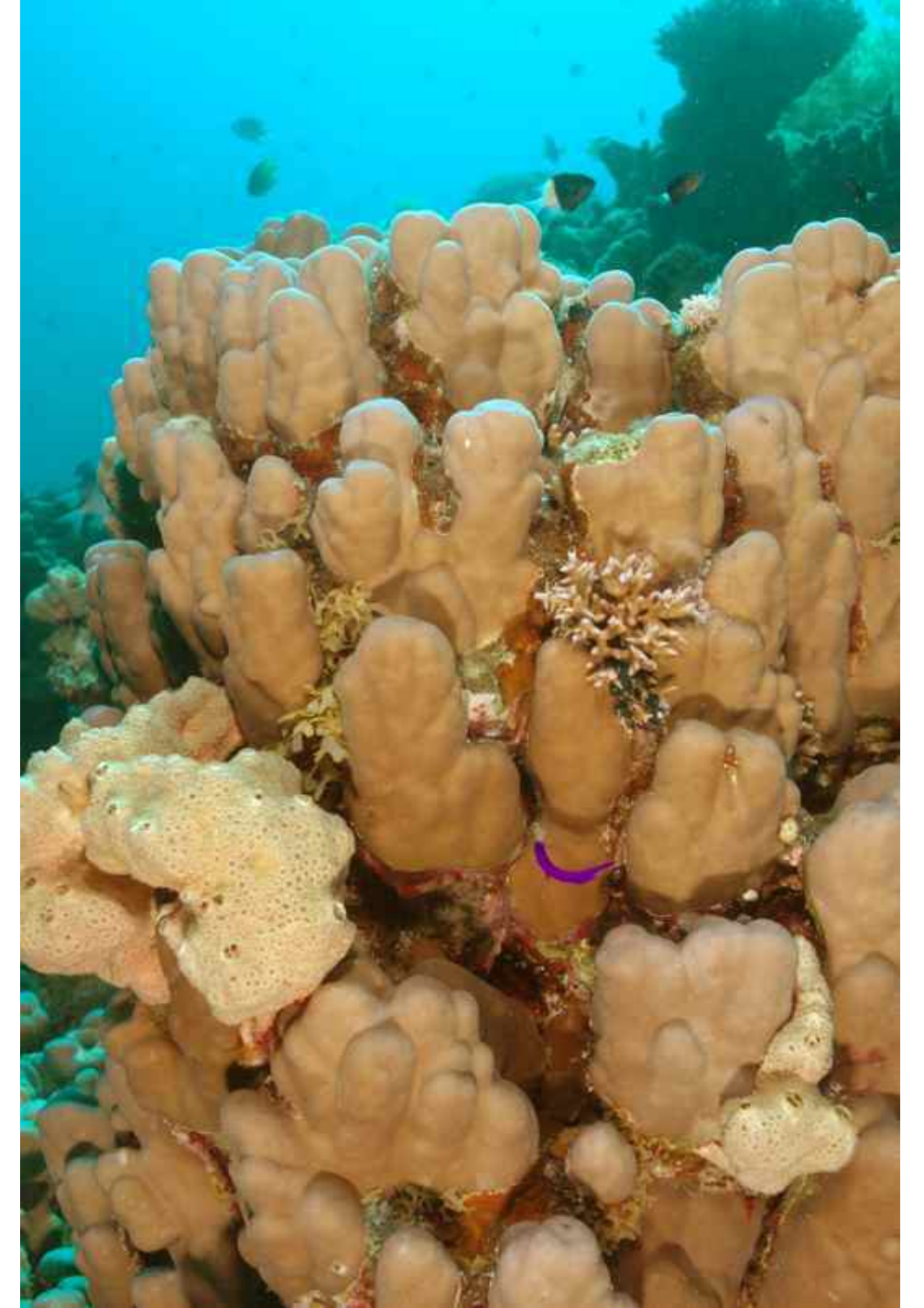


توجد في بعض الشعاب، بعض المستعمرات المنعزلة الكبيرة المصمتة والتي نجت من فترات غير عادية من التوتر في درجة الحرارة، مثل هذا مستعمرة من نوع *Platygyra daedalea*



هيكل مستعمرة *Porites* مات معظمها واستعمرها المرجان المتفرع الصغير والمرجانيات اللينة (في مقدمة الصورة). كما توجد في الخلفية مستعمرة ضخمة (يزيد قطرها عن 3 م) من *Porites*

أسفل يسار: في بعض الشعاب البعيدة يلاحظ وجود حالات موت قديمة واسعة النطاق واضحة، ولكن معظم هذه الهياكل تم استعمارها من قبل المرجان المتفرع مثل مستعمرة *Acropora* في المقدمة، ومستعمرات صغيرة من *Goniastrea* وفصوص من مستعمرات *Favia stelligera* كما تظهر في أقصى يمين الصورة



أشكال نمو عمودية من *Porites* تشكل الإطار الأساسي لغالبية الشعاب في معظم أنحاء منطقة البحر الأحمر، بما في ذلك الشعاب المرجانية في رأس القصبية. وهذا المرجان له شكل نمو هائل، ويزداد في الحجم بمقدار بضعة سنتيمترات فقط في السنة. وفي معظم المنطقة، شهدت الشعاب المرجانية عمليات فناء وموت واسعة بسبب ارتفاع درجات الحرارة بشكل غير طبيعي خلال عام 1998. وقد ساهمت الضغوطات الأخرى، مثل الافتراض من قبل نجوم البحر ذات التاج الشوكي، إلى المزيد من الخسائر في هذه الشعاب المرجانية. وفي معظم الشعاب التي تم بحثها في المنطقة، فإن المناطق الضحلة فقط (3 - 5 م عمق) لا تزال تحتوي على غطاء عالي من الشعاب المرجانية الحية (30 - 50 %)، بينما تصل النسبة في المناطق العميقة في كثير من الأحيان إلى 5 - 10 % مرجانيات حية أو أقل. ومستعمرة *Porites lutea* المبينة أعلى يصل طولها إلى حوالي 50 سم ومعظمها ما زال على قيد الحياة. في حين يوجد اثنان من الفصوص قد ماتا واستعمرتا من قبل الإسفنج المغلف والمرجان المتفرع الصغير (*Seriatopora*) وقد استقرا أيضاً على الهيكل العظمي لمستعمرة *Porites*.

صور وخرائط موائل رأس القصبية

توضح الصفحات من 27 - 51، صور الأقمار الصناعية وقياسات الأعماق وخرائط الموائل لمنطقة رأس القصبية. وتم رسم مساحة ما يقرب من 290.6 كم² وتقسيمها إلى 12 فئة من الموائل البحرية الضحلة مع مناطق تحت عمق 25 م تظهر زرقاء داكنة مثل المياه العميقة.

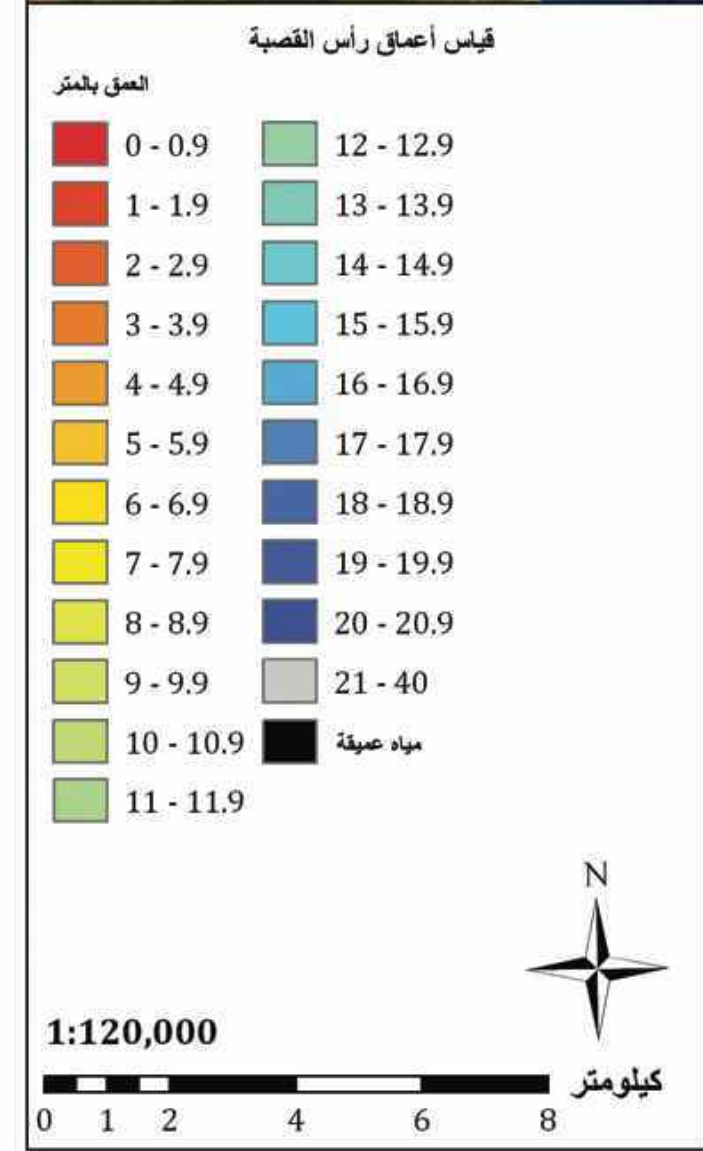
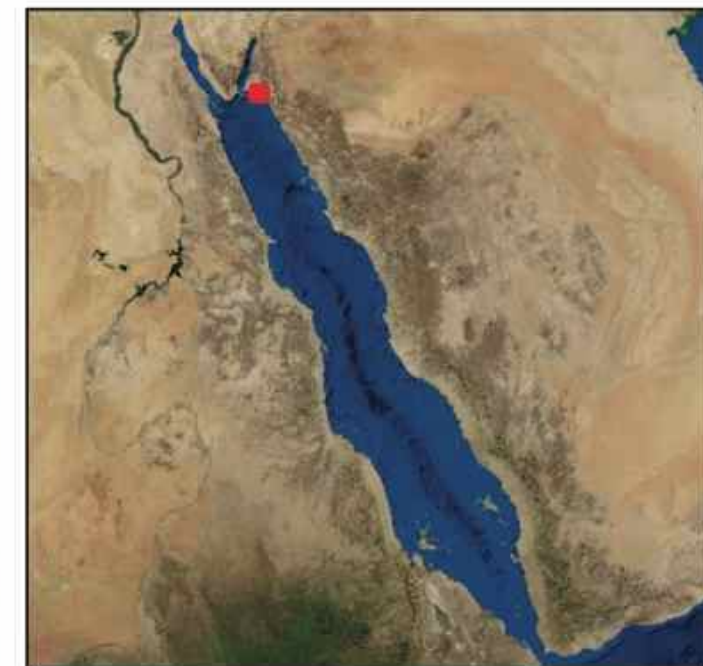
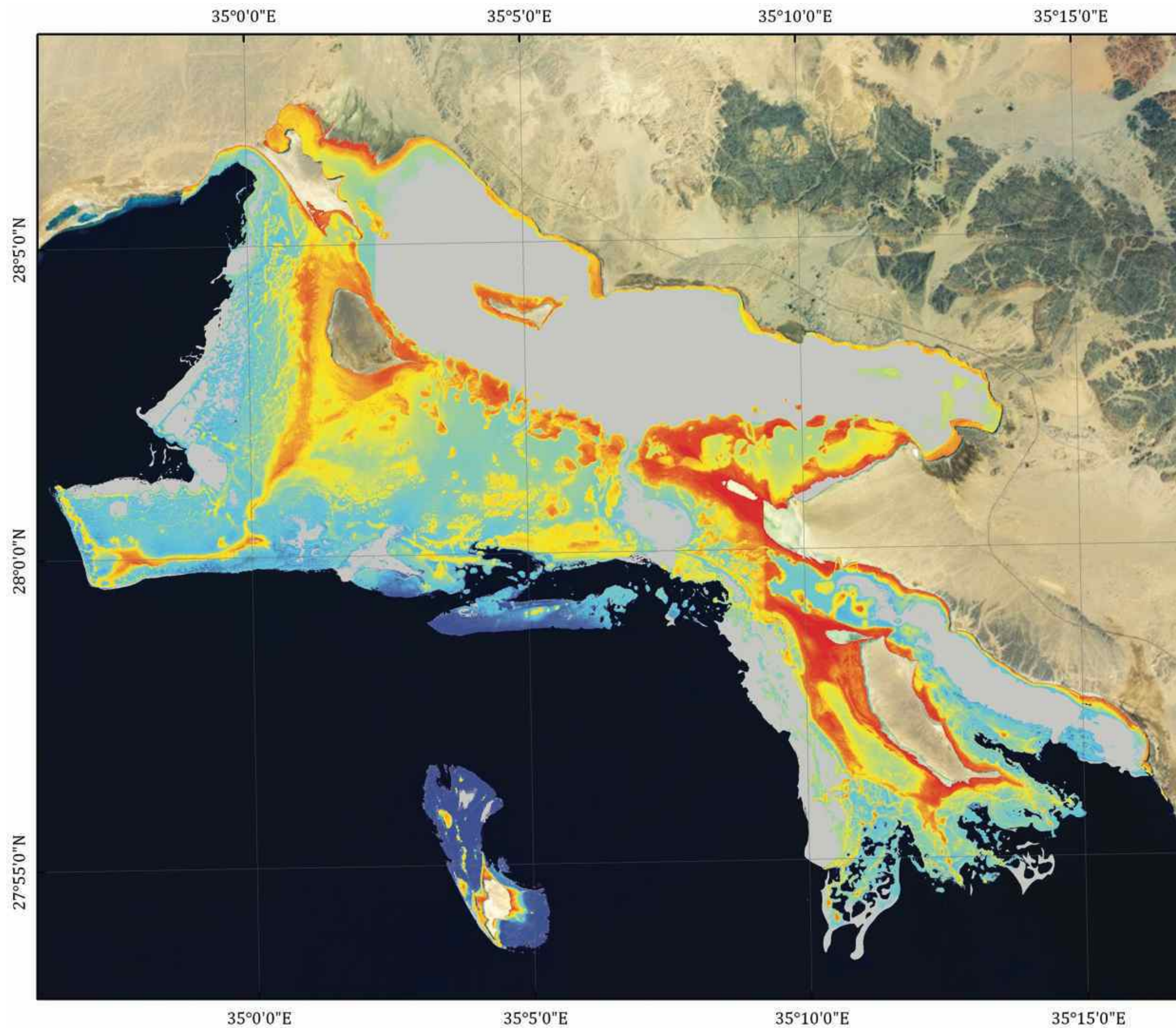
وتظهر صور الأقمار الصناعية متعددة الأطياف كويك بيرد لرأس القصبية (يمين)، وقياسات الأعماق (صفحة 28) وخريطة الموائل الناجمة عن نفس المنطقة (صفحة 29) على مقياس من 1:120,000. كما توجد خريطة لتحديد المواقع لخرائط الموائل في صفحة 30. في حين توجد في صفحات لاحقة خرائط أكثر تفصيلاً للموائل (1:24,000)، وخرائط الأعماق لمناطق ممثلة داخل منطقة رأس القصبية. وكل مقياس رسم من الخمسة 1:24,000 لخرائط الأعماق مدرجة في هذا الباب تكون في يسار الصفحة (الصفحة الزوجية) وتظهر خريطة الموائل لنفس المنطقة على اليمين (الصفحة الفردية). ومصدر صورة الخريطة الأرضية الأساسية المستخدمة في جميع خرائط الموائل وخرائط الأعماق هي:

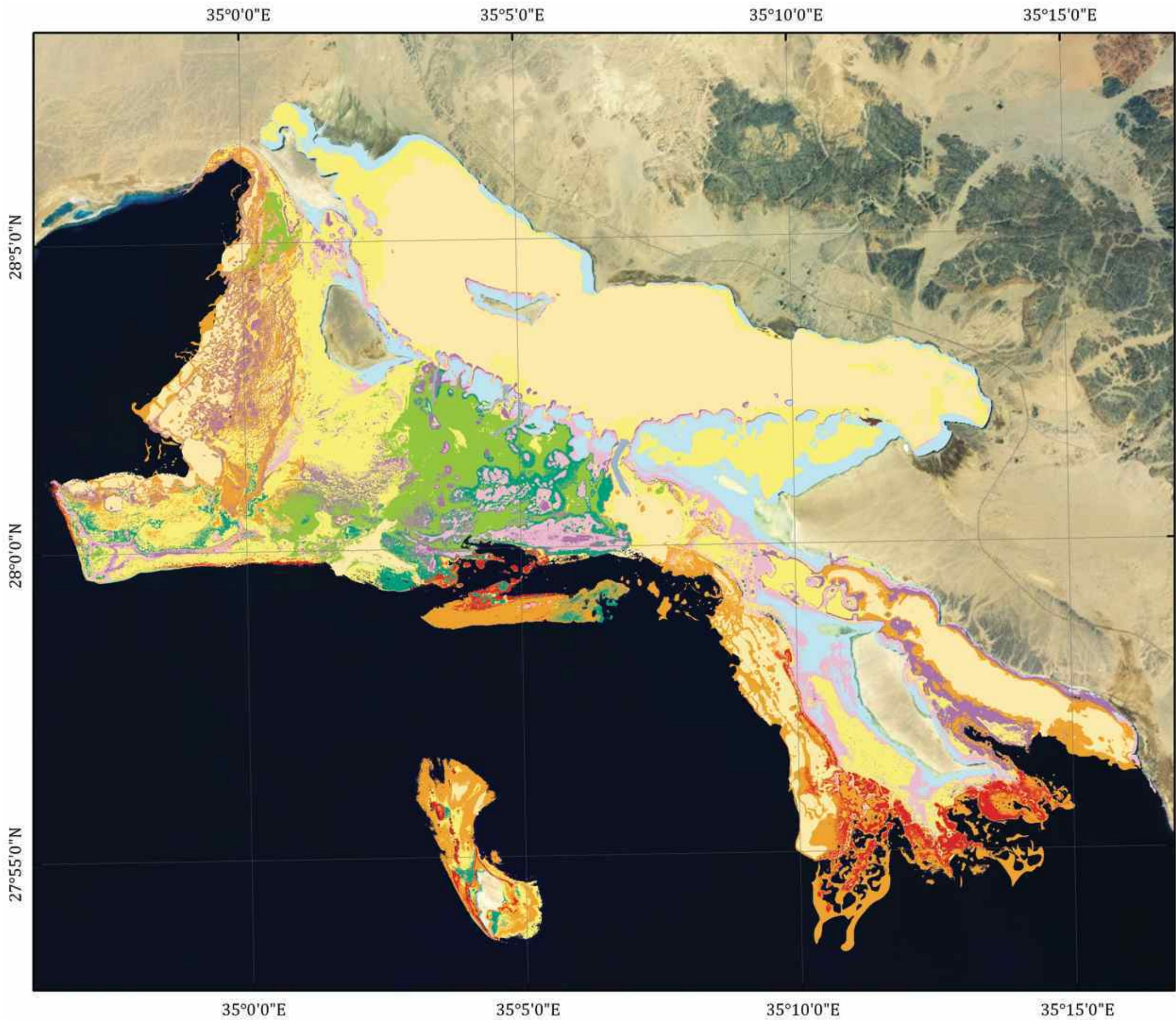
ESRI,i-cubed,USFSA,USGS,AEX,GeoEye,
AeroGRID,Getmapping,IGP.

وتم رسم مساحة قدرها 290 كم² من الموائل البحرية الضحلة وتنقسم إلى 12 نوع مختلفة من الموائل، ستة منها تحتوي على الشعاب المرجانية. الكثير من الموائل الساحلية المغمورة تتكون من هور عميق رملي القاع محاط بإطار من الشعاب. كما تمتد موائل الشعاب أيضاً إلى الخارج وحول الجزر الصغيرة البعيدة.

النسبة إلى المنطقة الكلية %	المساحة الكلية (كم ²)	موائل رأس القصبية
0.10	0.22	جدران مرجانية منخفضة بحدّة
2.70	7.89	قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
5.60	16.36	قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
13.70	39.87	هياكل عمودية
3.60	10.52	مرجان متناثر وحجارة ورمال
6.10	17.78	مسطحات الحشائش البحرية
0.00	0.09	طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
0.20	0.72	قنوات معرّة
7.20	21.05	قيعان كربونية ومسطحات شعاب
22.90	66.54	طبقات رمال ضحلة
29.50	85.83	هور رملي عميق
8.20	23.75	مسطحات رمل وطين
100	290.60	المساحة الكلية للمنطقة





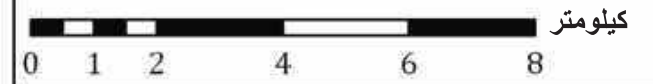


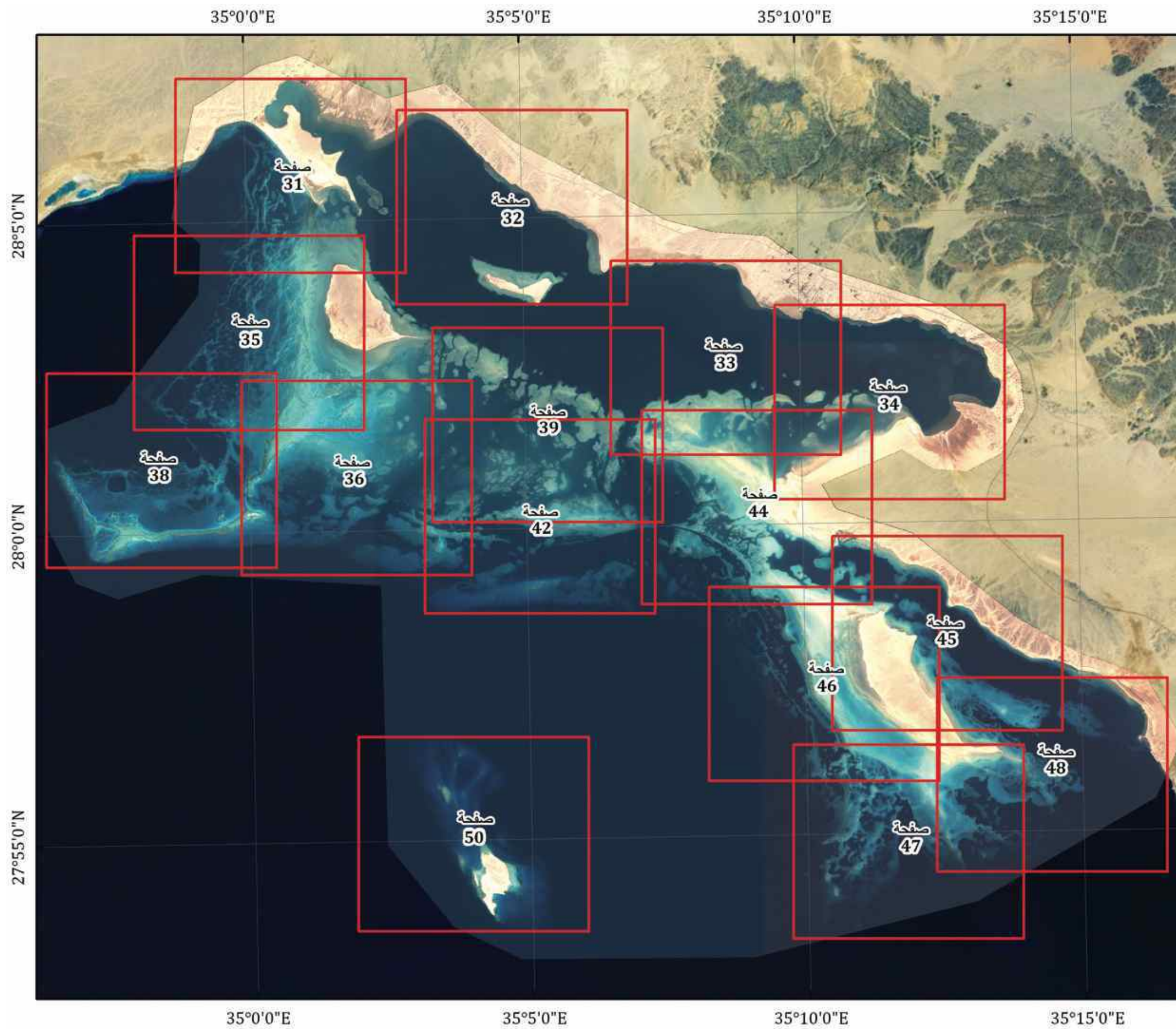
موائل رأس القصيبة

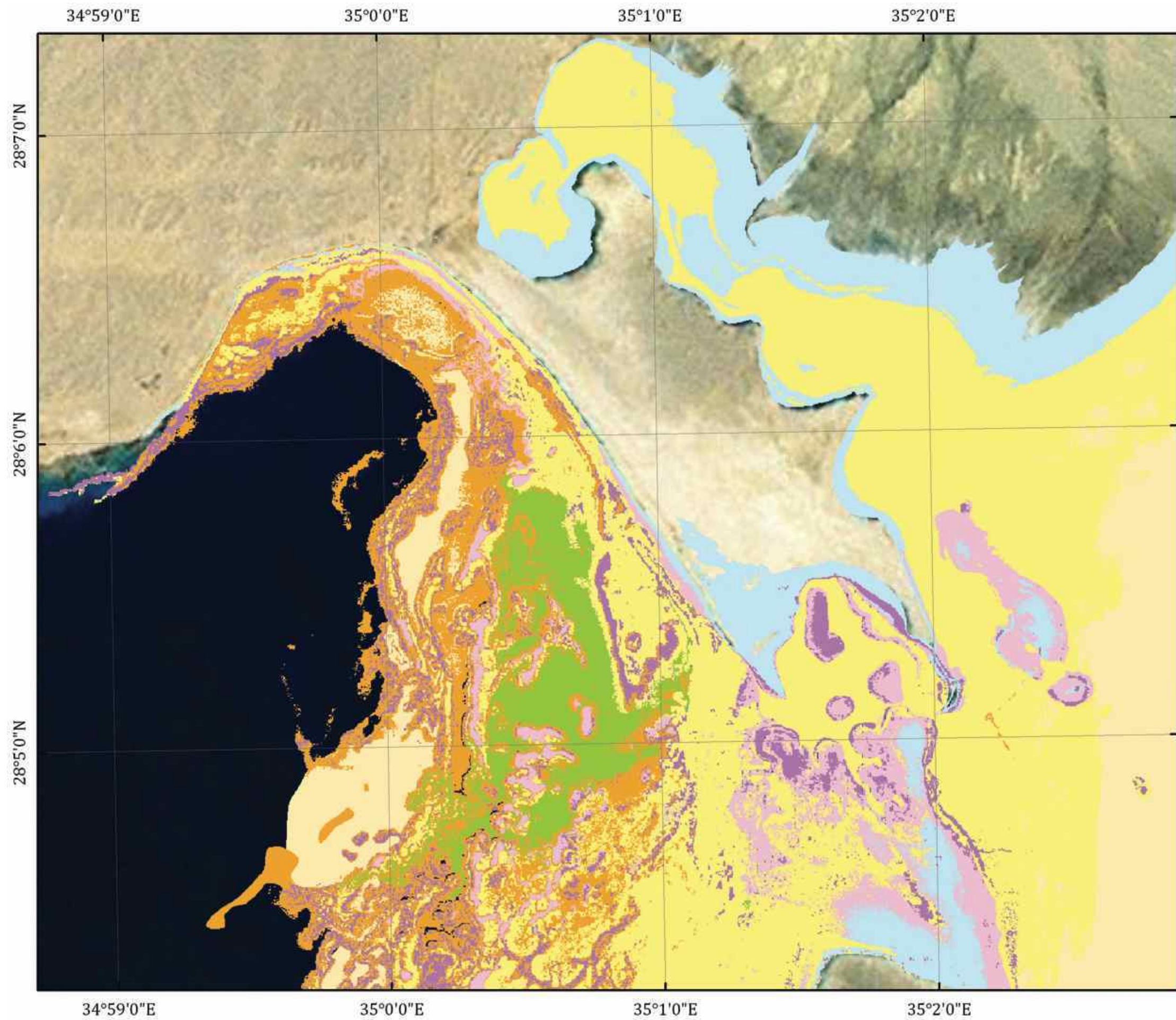
- قمة حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمة حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- هيكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة واستنحيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:120,000





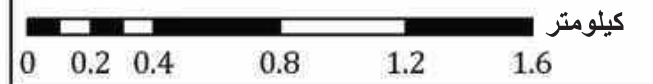


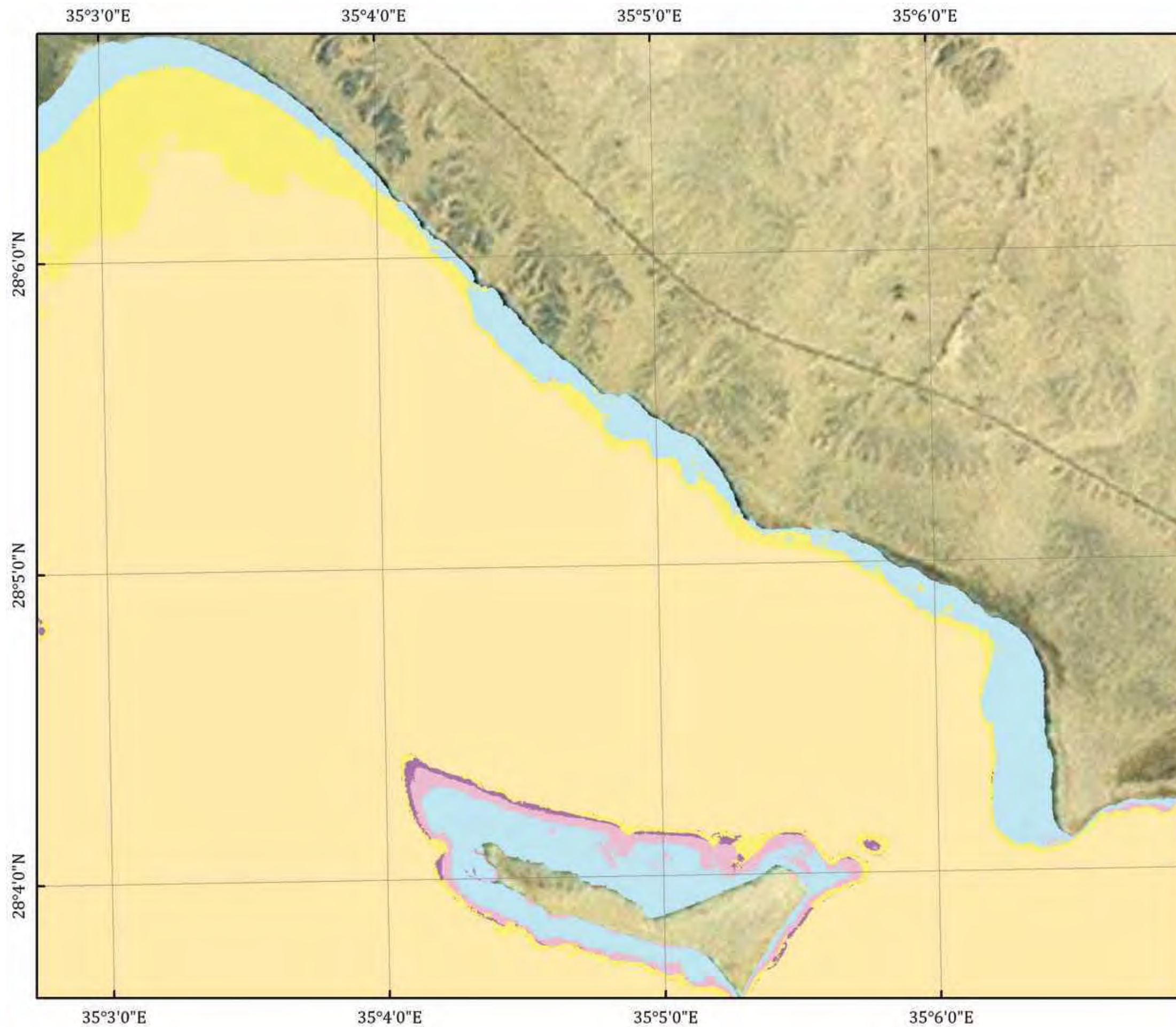
موائل رأس القصبية

- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000



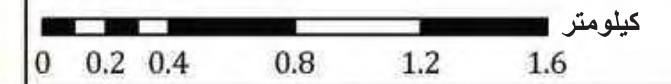


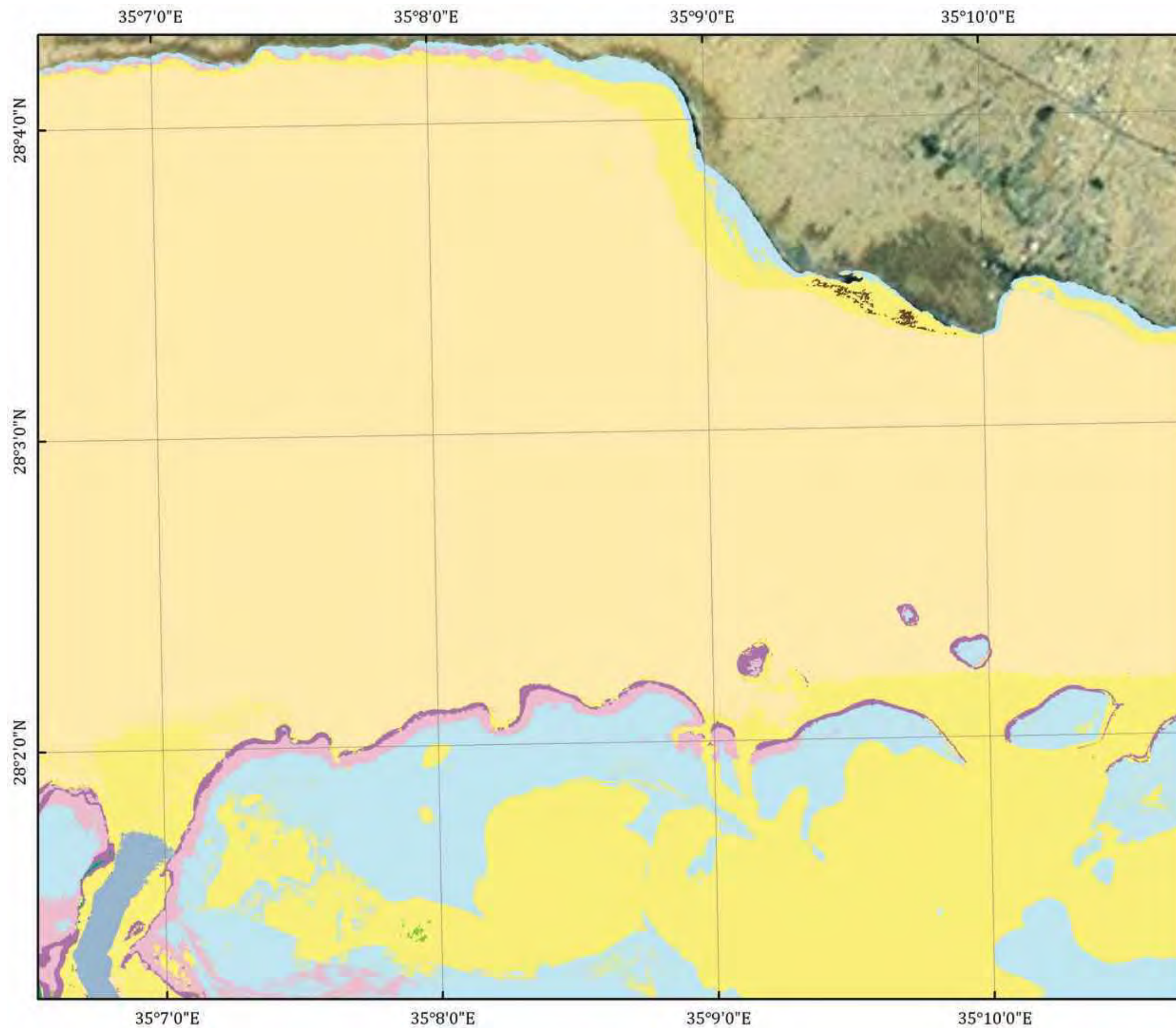
موائل رأس القصيبة

- قعد حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قعد حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات ممرات
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضخنة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000



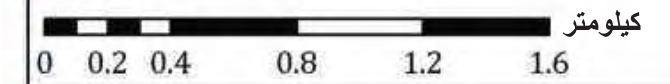


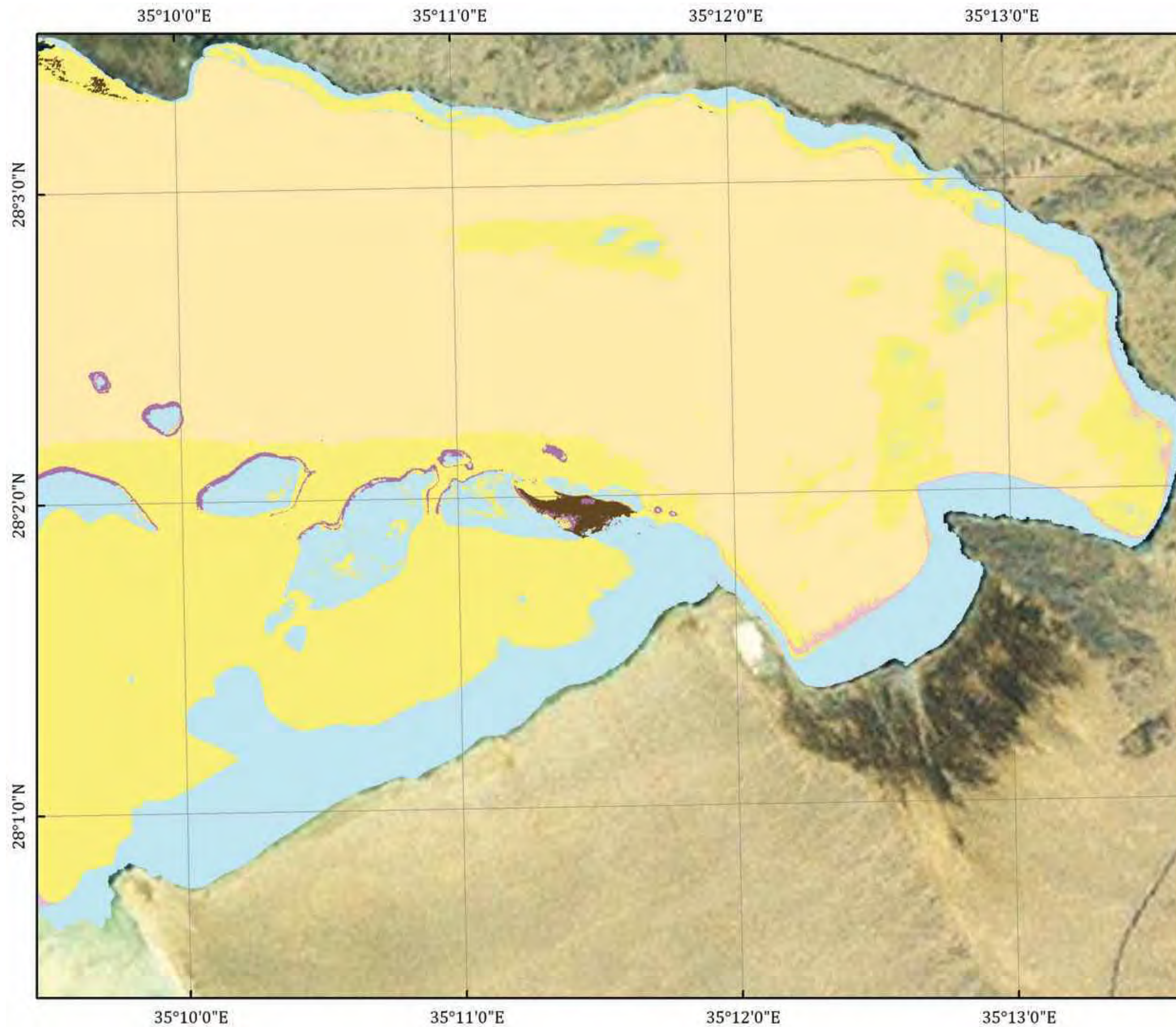
موائل رأس القصبية

- قَم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قَم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحدّة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات العشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرّة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000



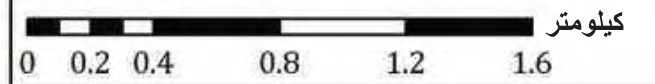


موائل رأس القصبية

- قُدم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قُدم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحدّة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات ممرّاة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000

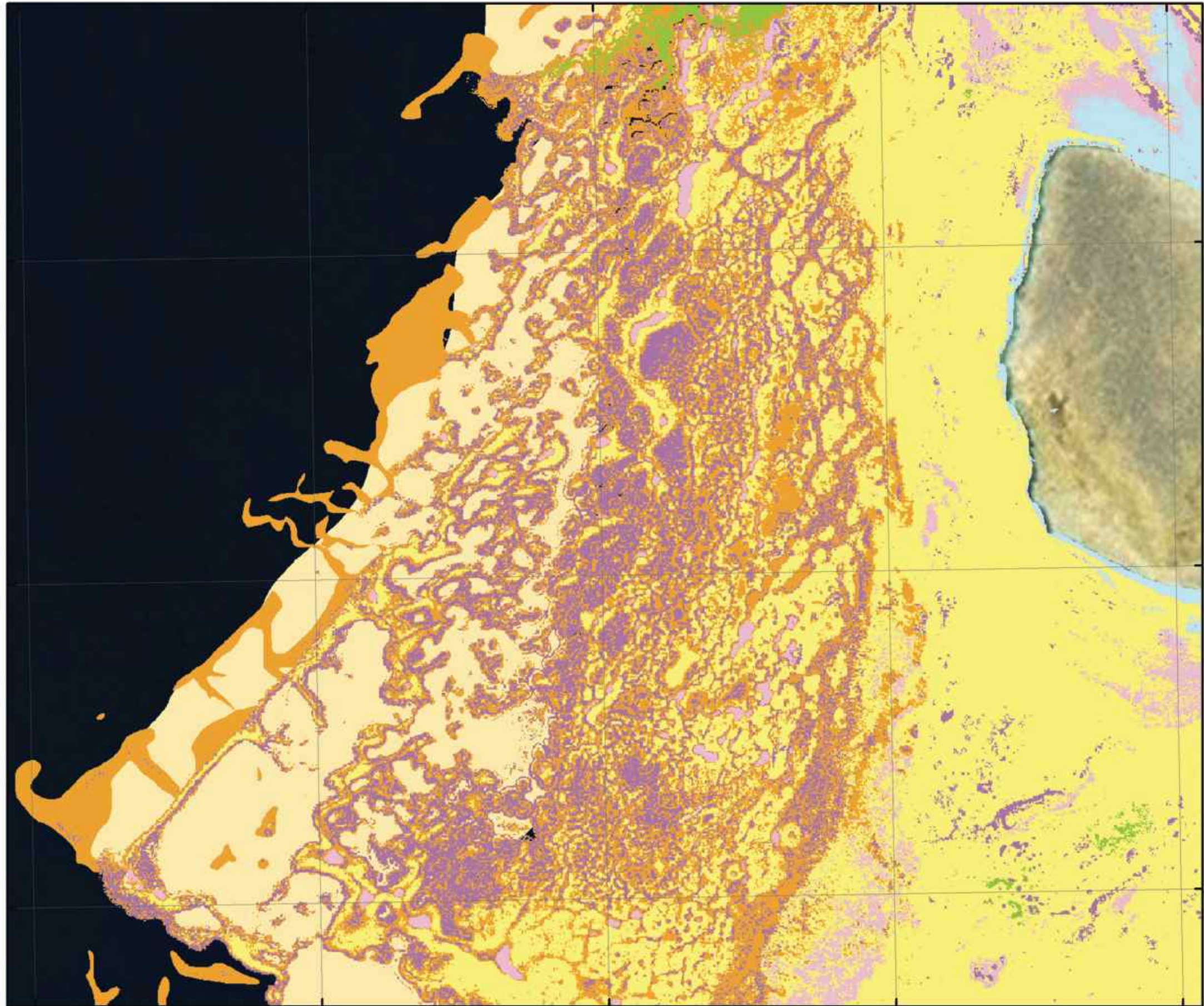


34°58'0"E 34°59'0"E 35°0'0"E 35°1'0"E 35°2'0"E

28°4'0"N

28°3'0"N

28°2'0"N

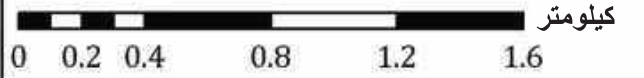


موائل رأس القصبية

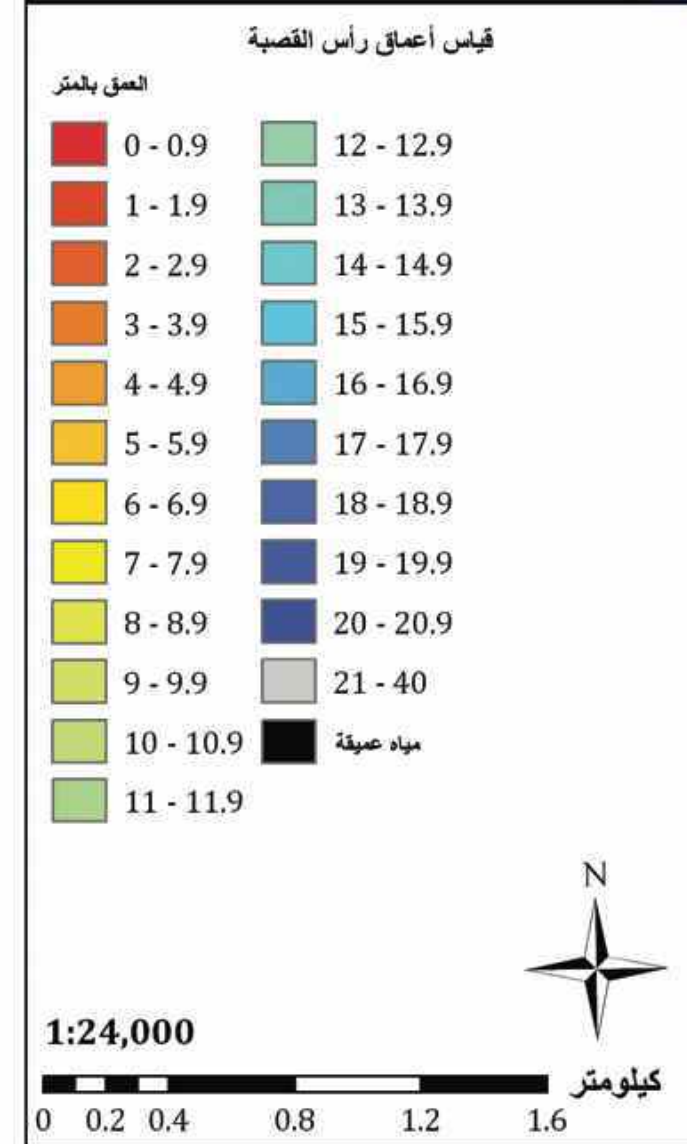
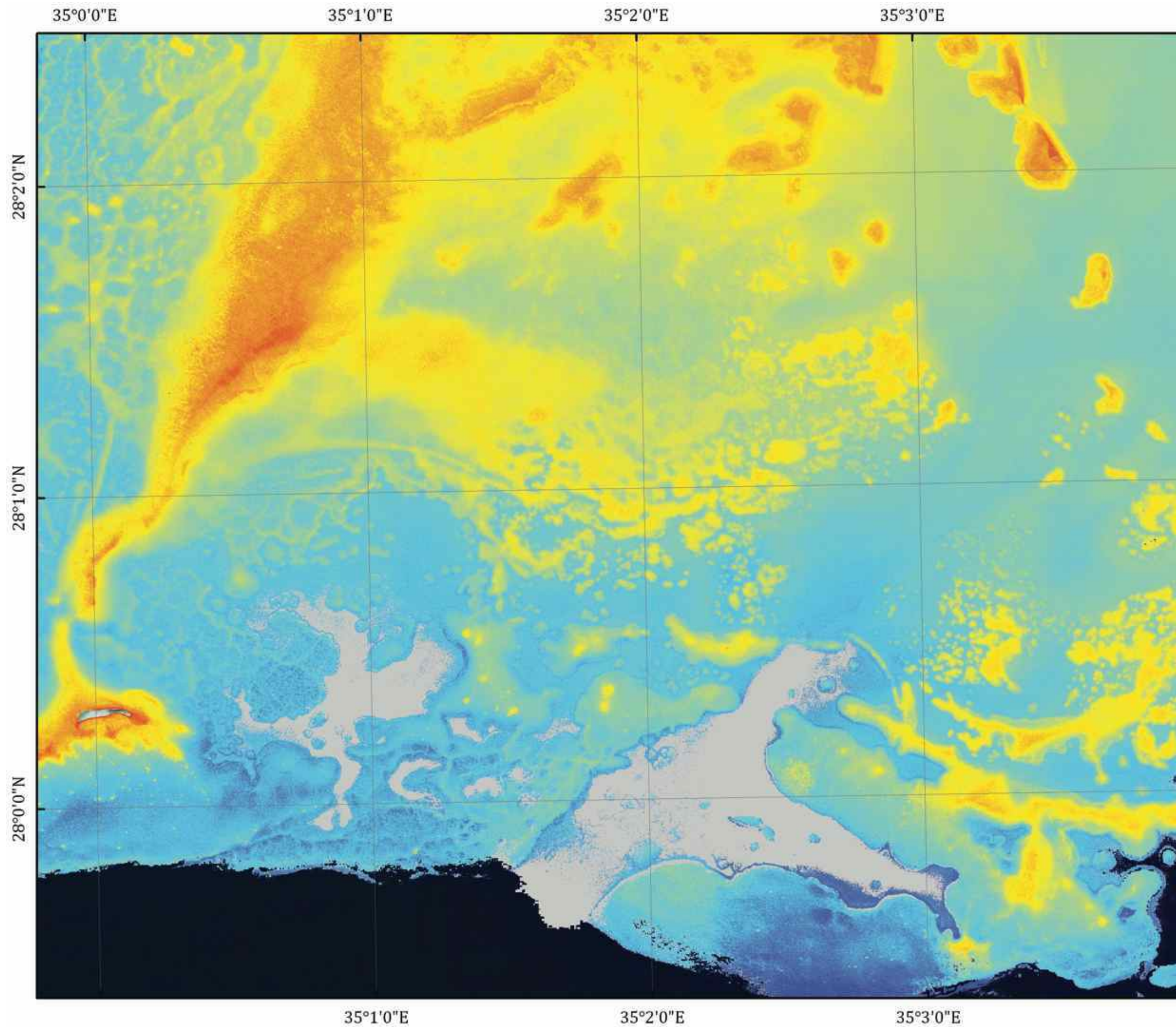
- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحدّة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات العشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرّة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة

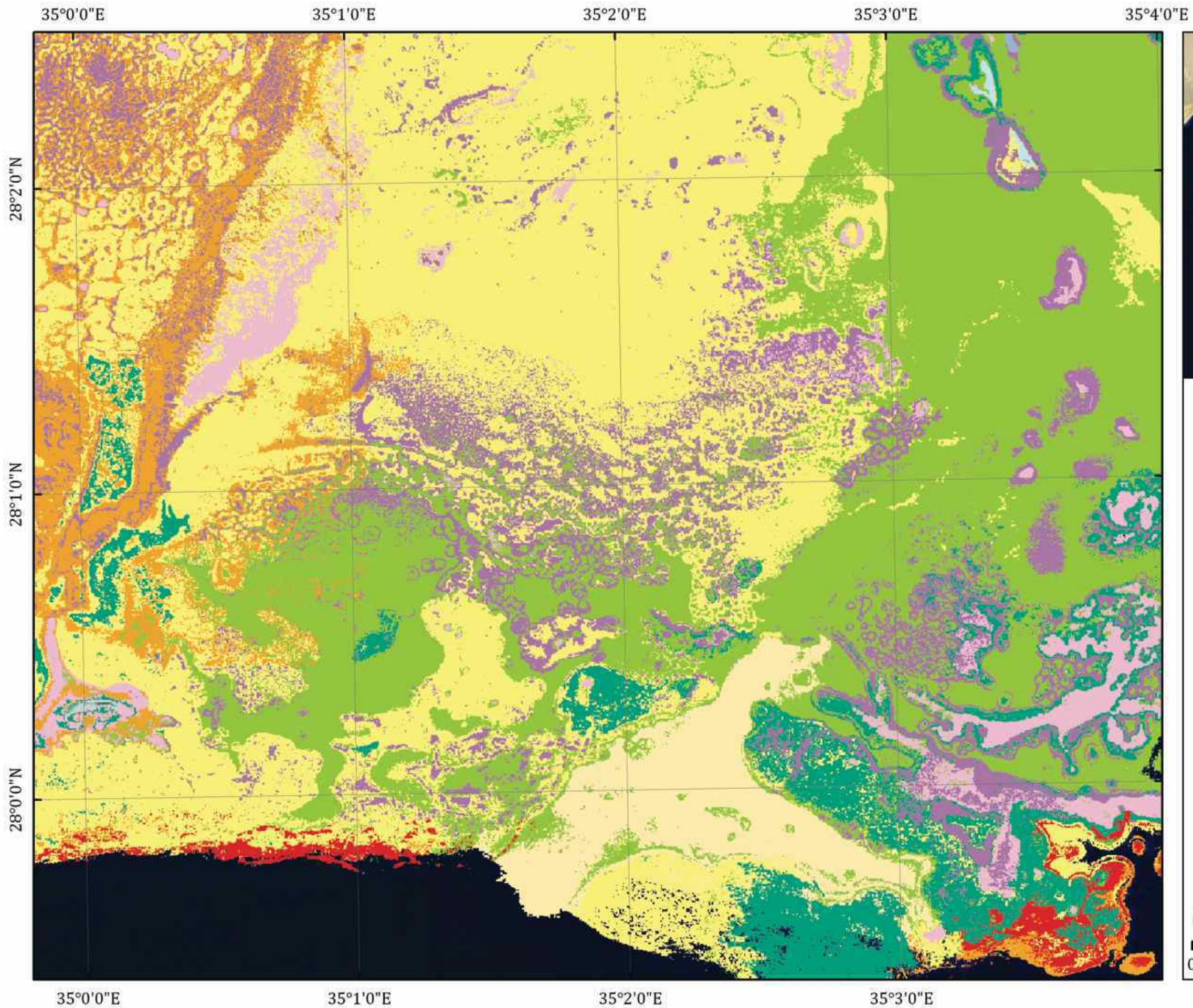


1:24,000



34°58'0"E 34°59'0"E 35°0'0"E 35°1'0"E 35°2'0"E



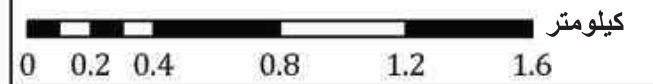


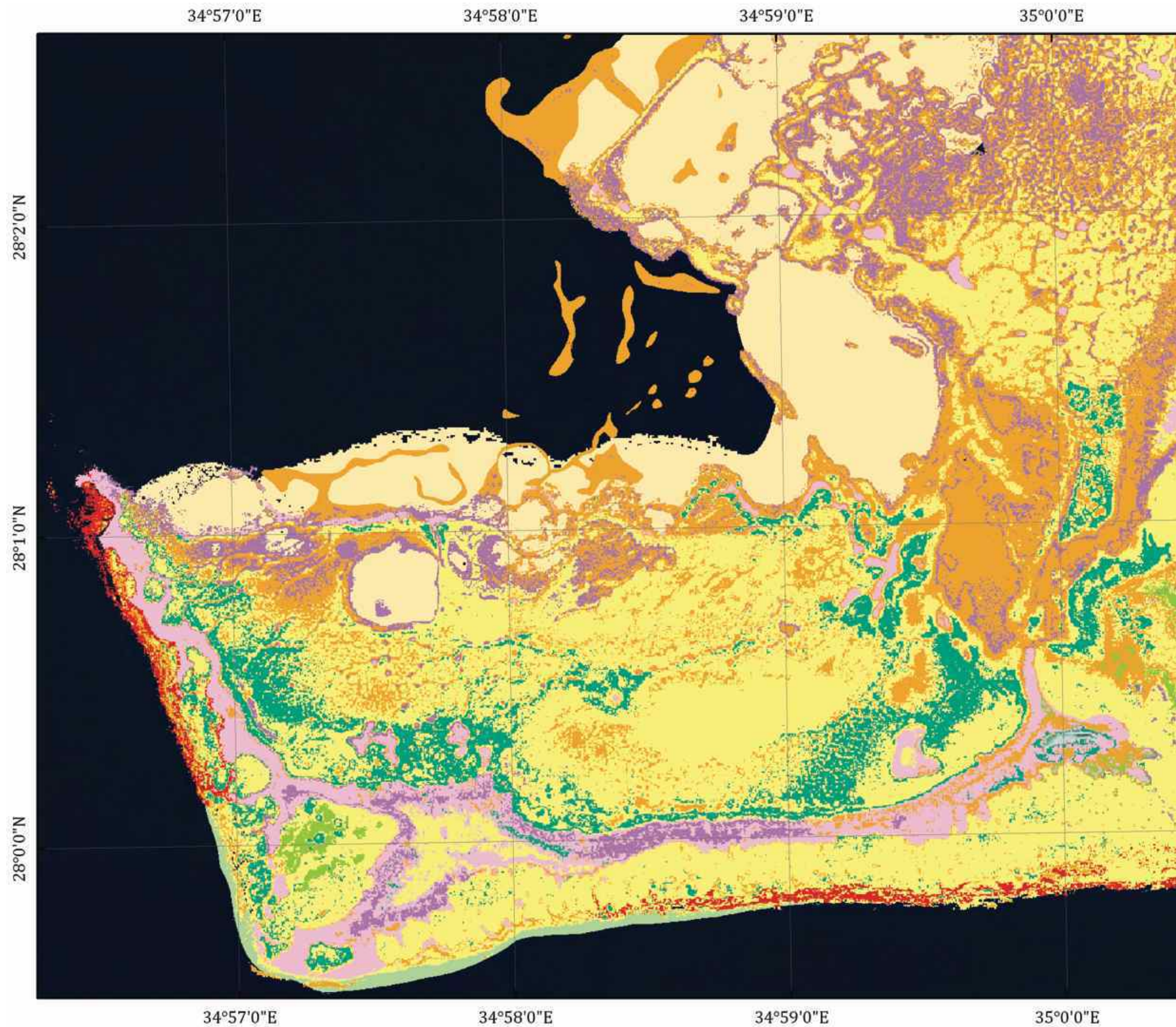
موانئ رأس القصبية

- قدم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قدم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على التقيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- تقيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000



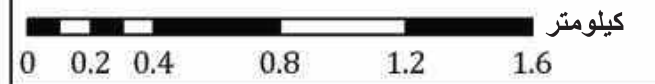


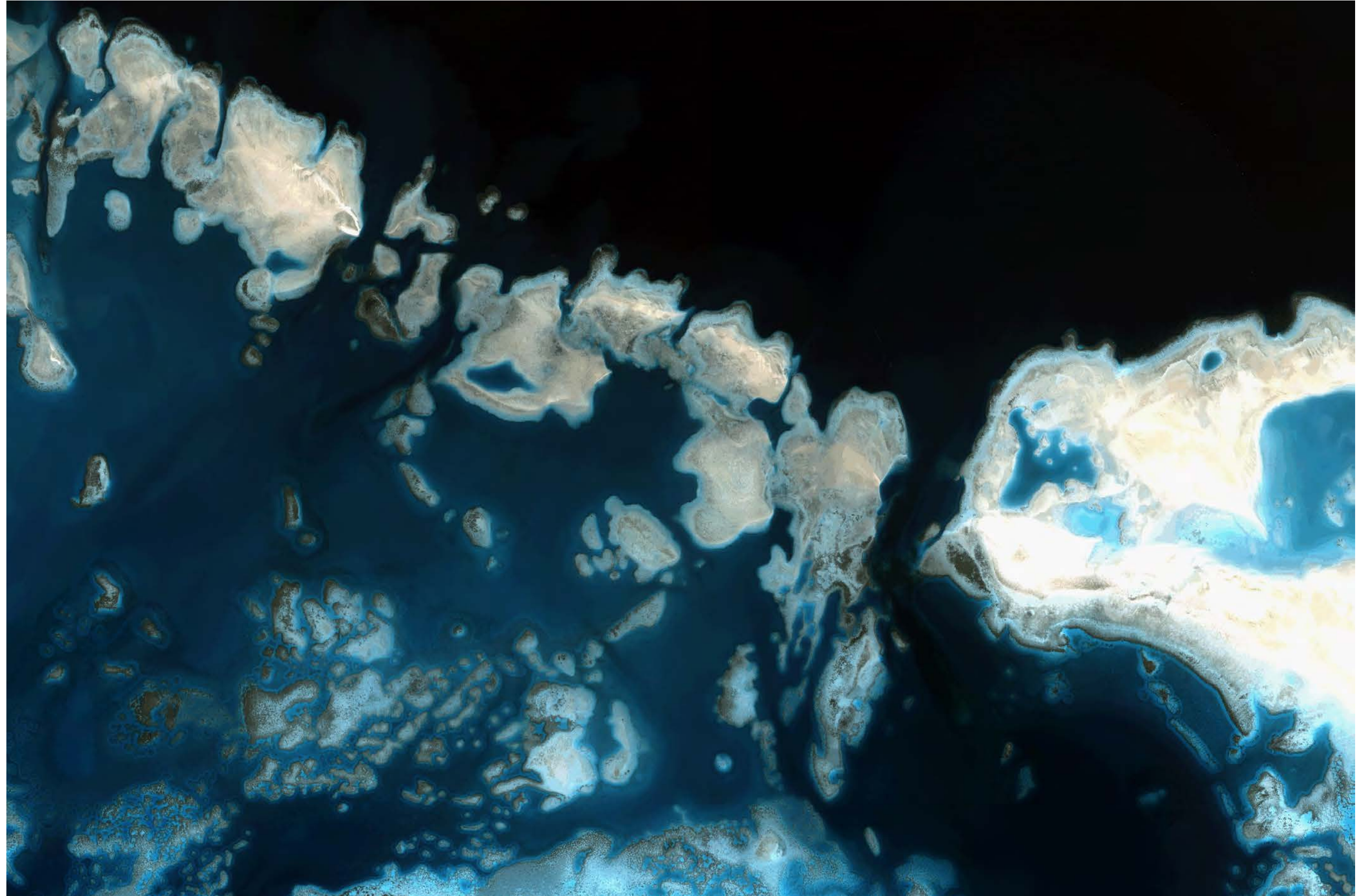
موائل رأس القصيبة

- قُدَم حافِيّة مرجانيّة مَواجهَة لِتَريخ
- قُدَم حافِيّة مرجانيّة غير مَواجهَة لِتَريخ
- هياكل عموديّة
- جدران مرجانيّة منخفضة بحدّة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحريّة
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصليّة
- قنوات مَعراة
- قيعان كربونيّة ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحنة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة

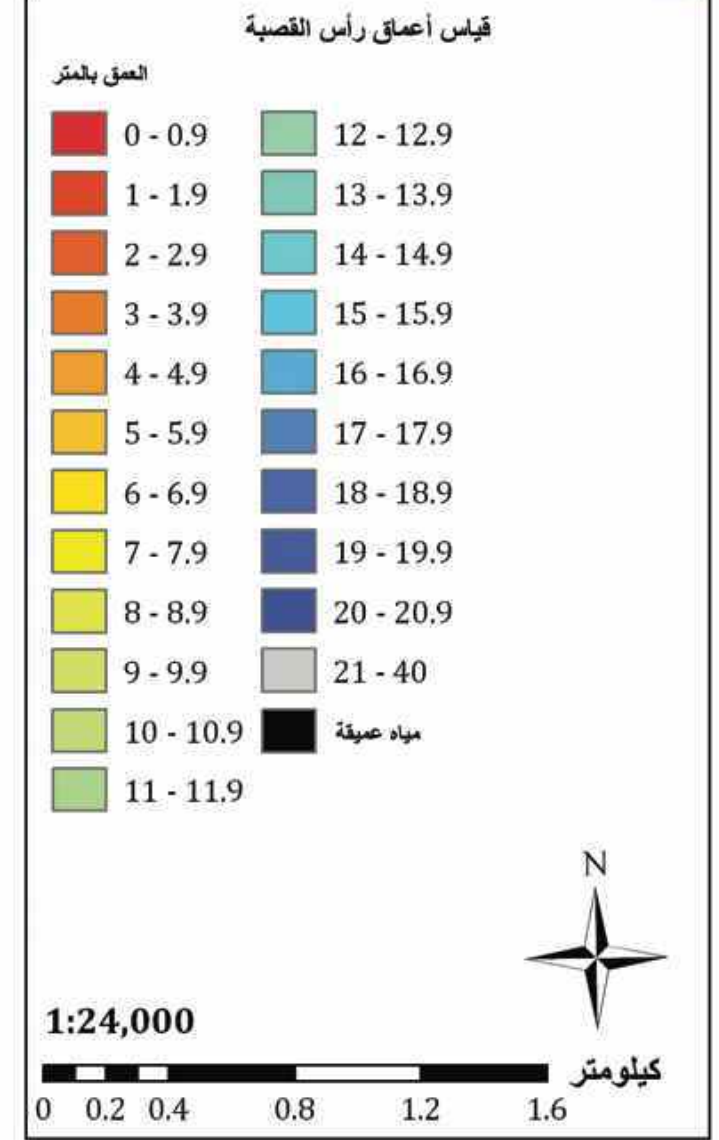
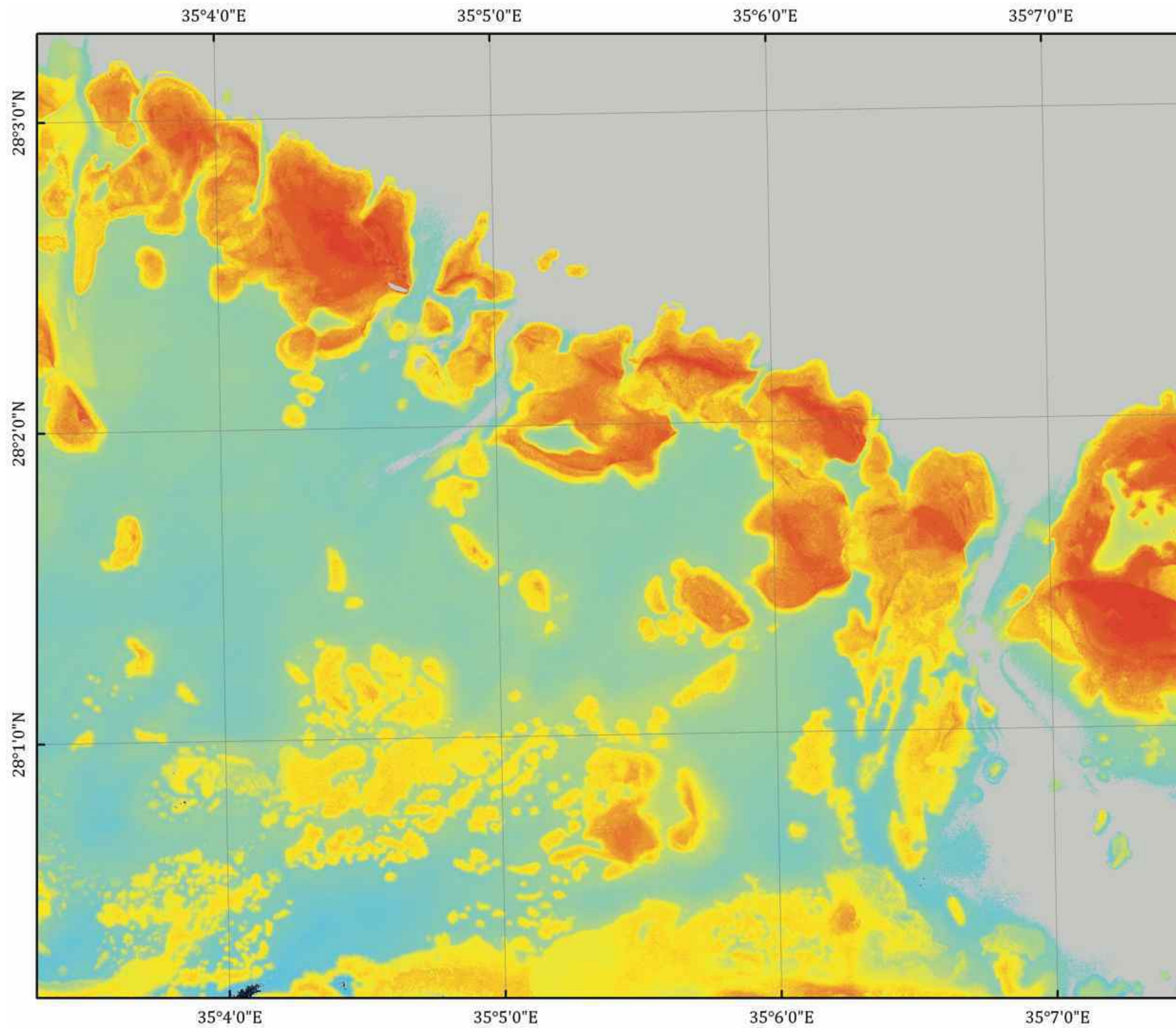


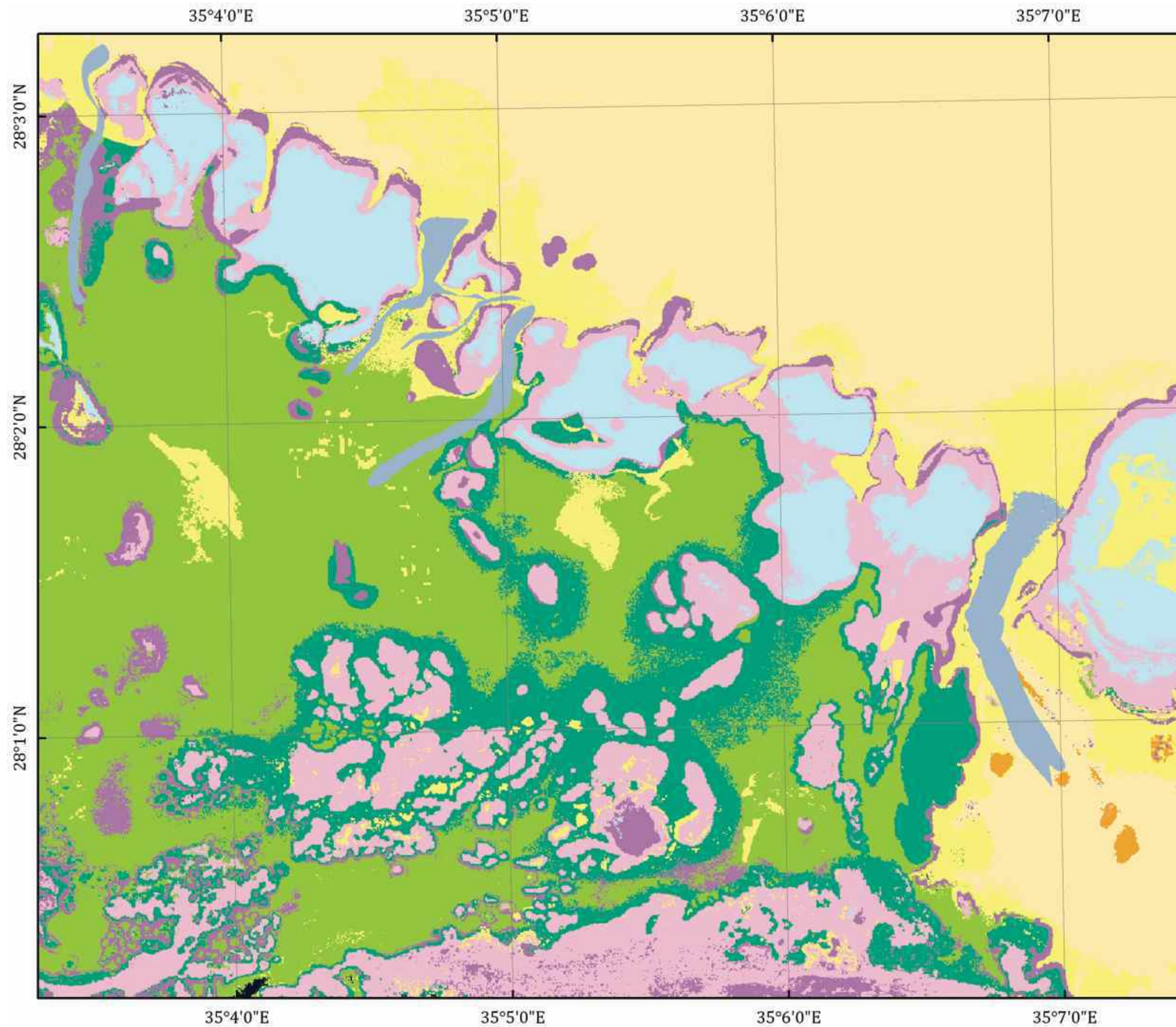
1:24,000





صورة أقمار صناعية عالية الدقة للموانئ البحرية البعيدة بمقياس رسم 1:24,000. قياسات الأعماق وخرائط الموانئ في صفحة 40 - 41



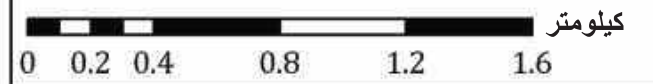


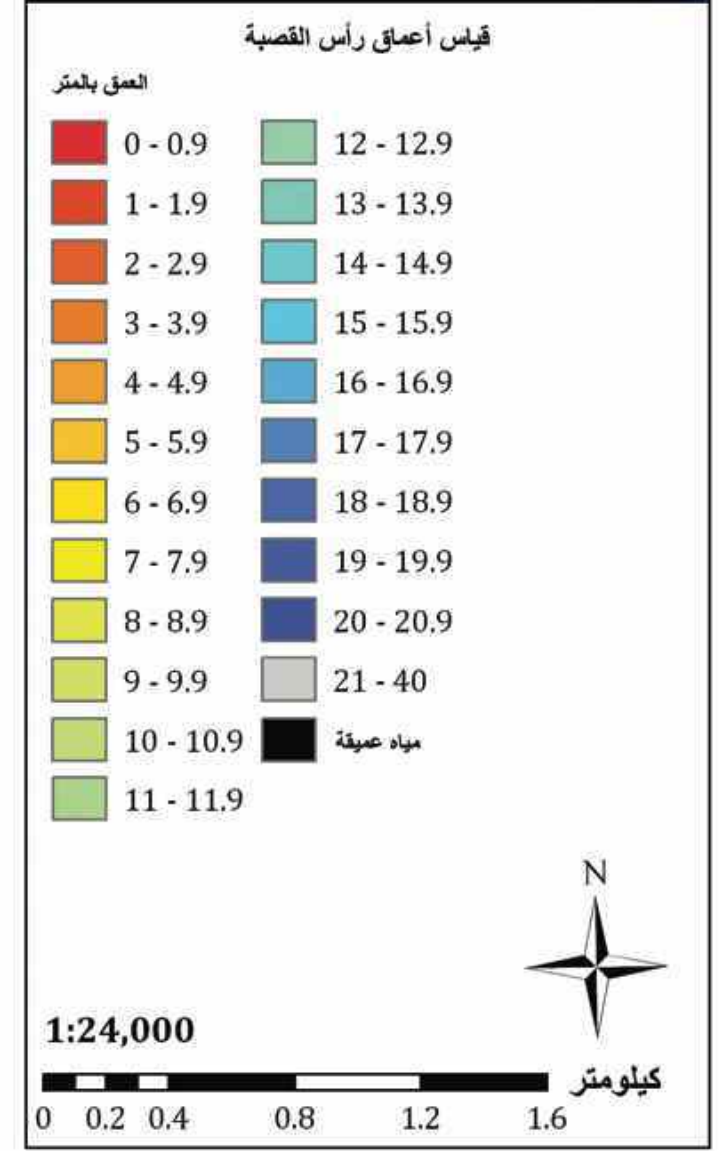
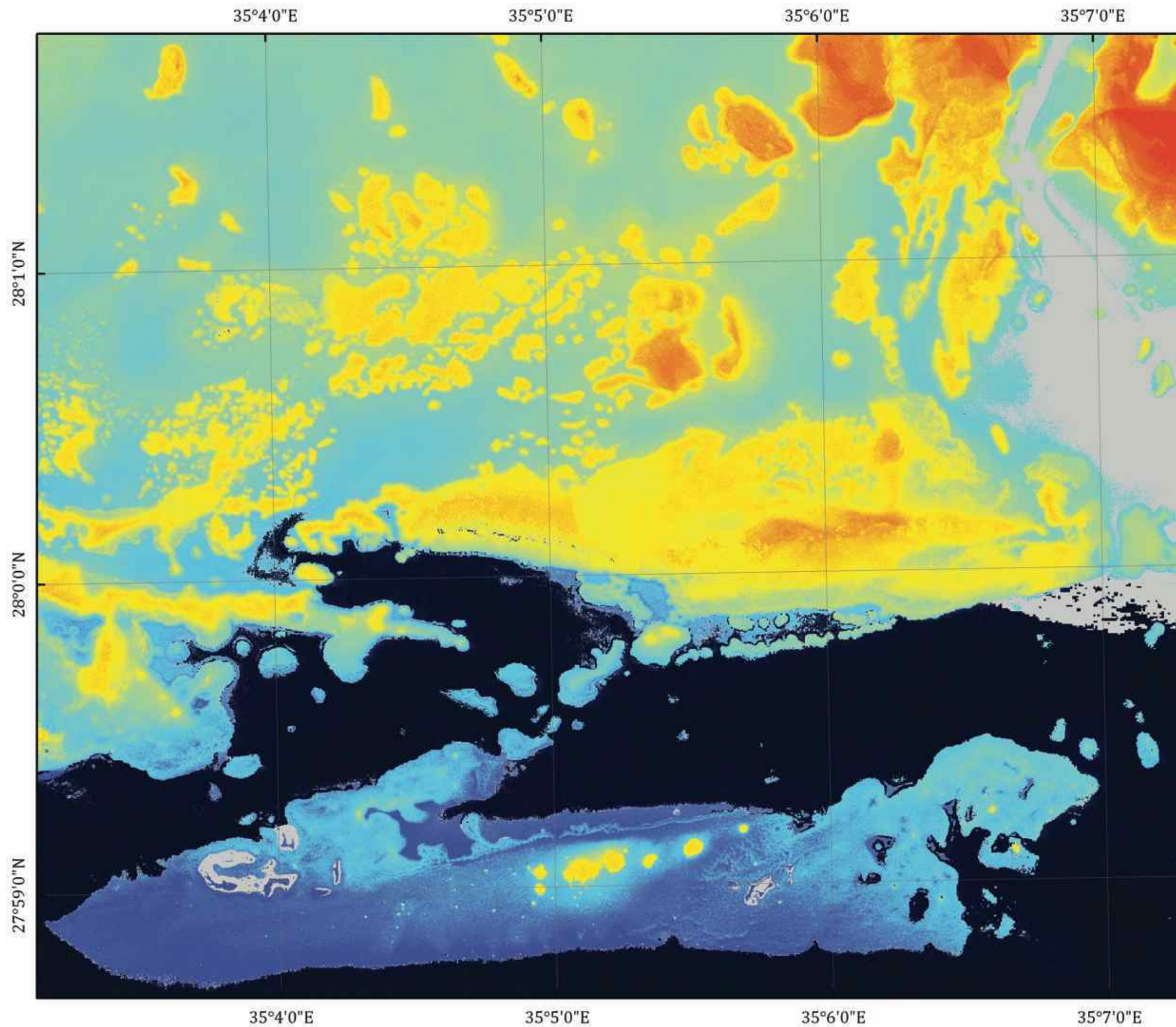
موائل رأس القصبية

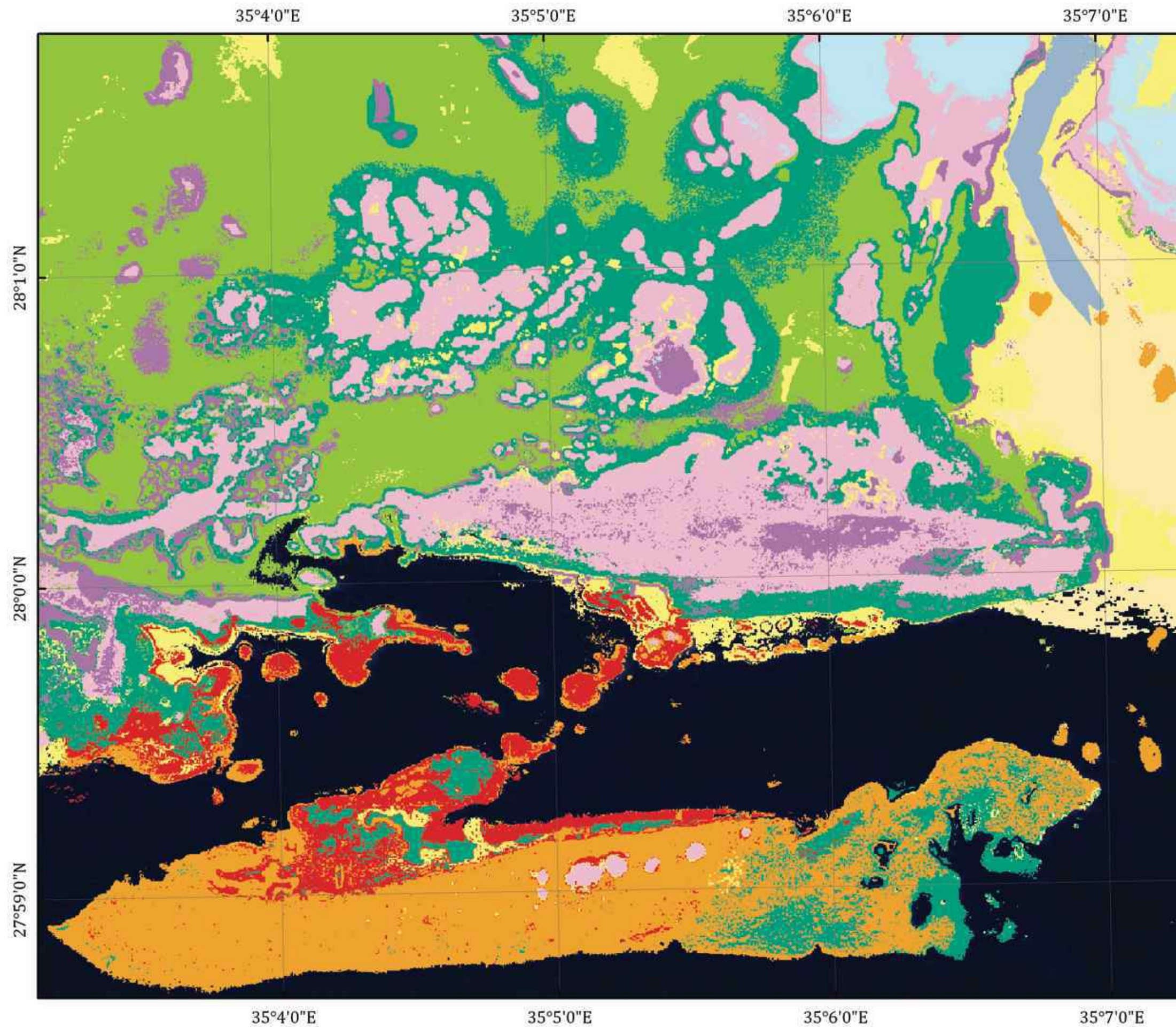
- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000





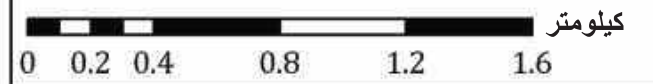


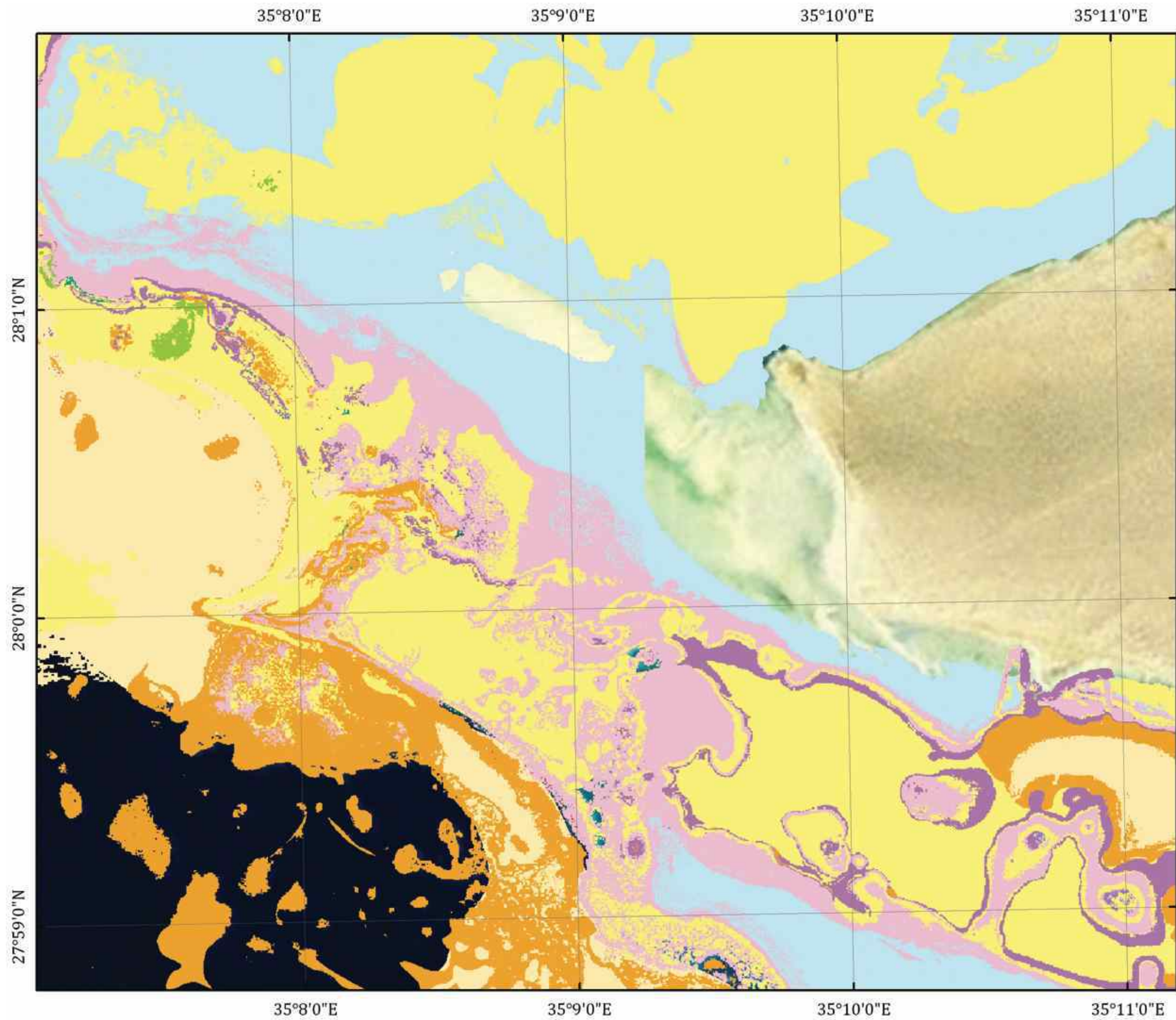
موائل رأس القصبية

- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



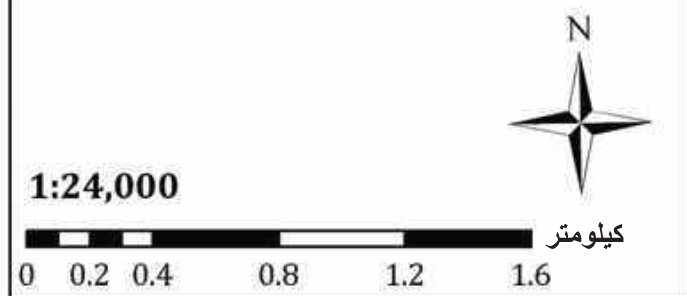
1:24,000

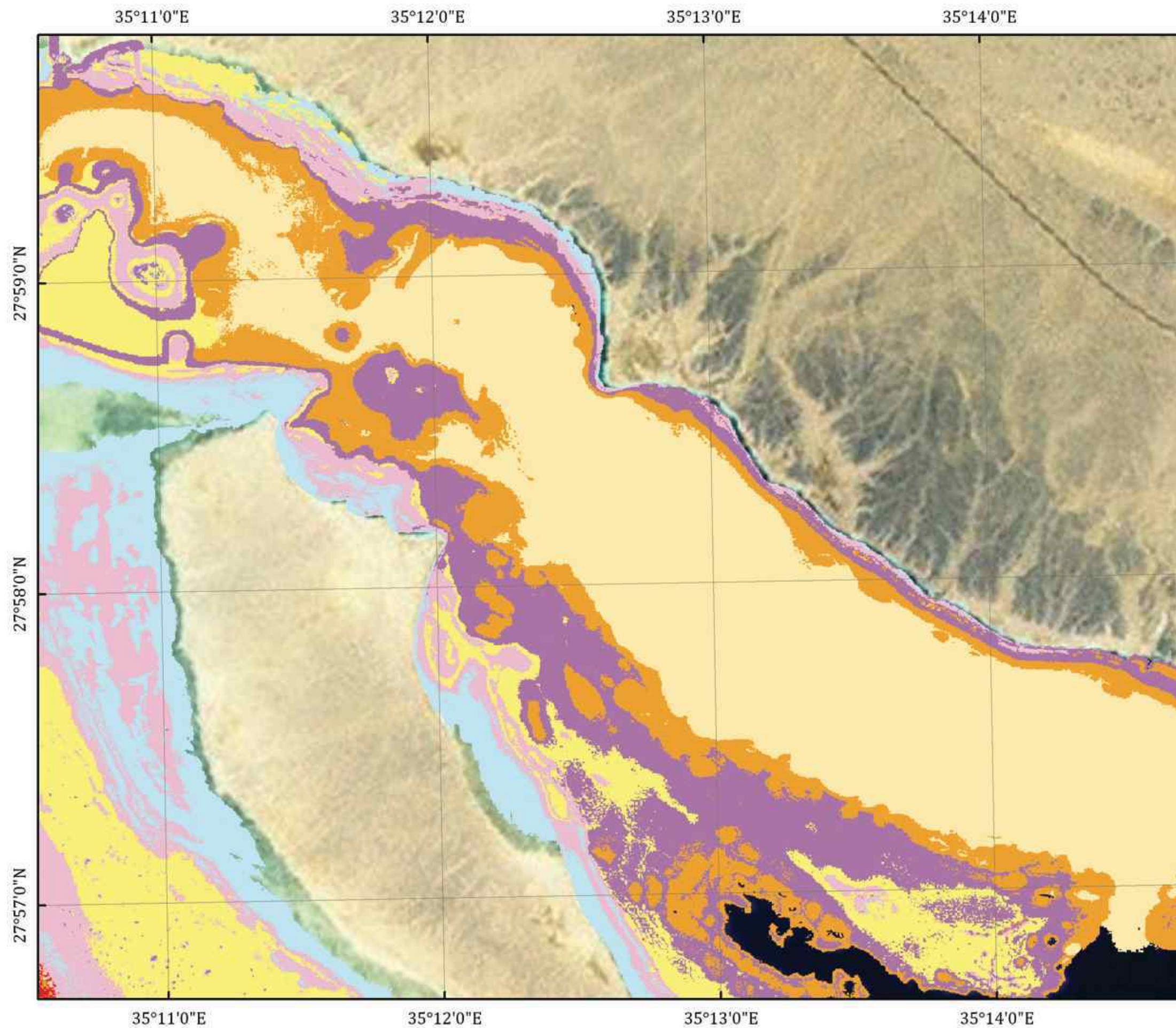




موائل رأس القصيبة

- قُعد حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قُعد حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحدة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات ممرات
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



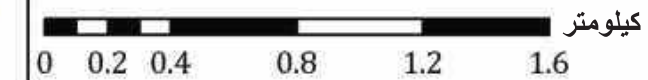


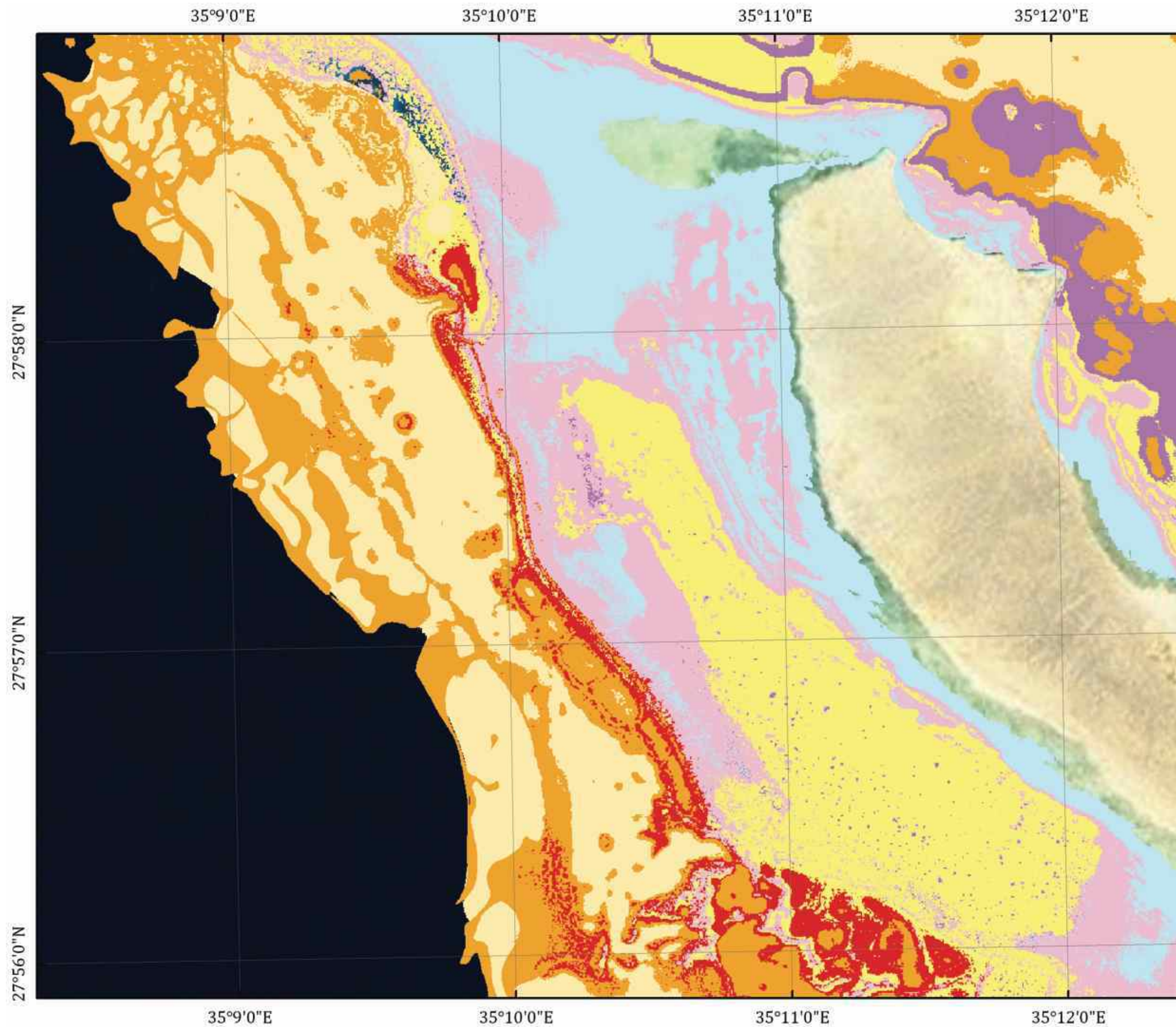
موائل رأس القصبية

- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان منتشر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضخمة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000



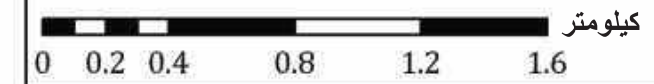


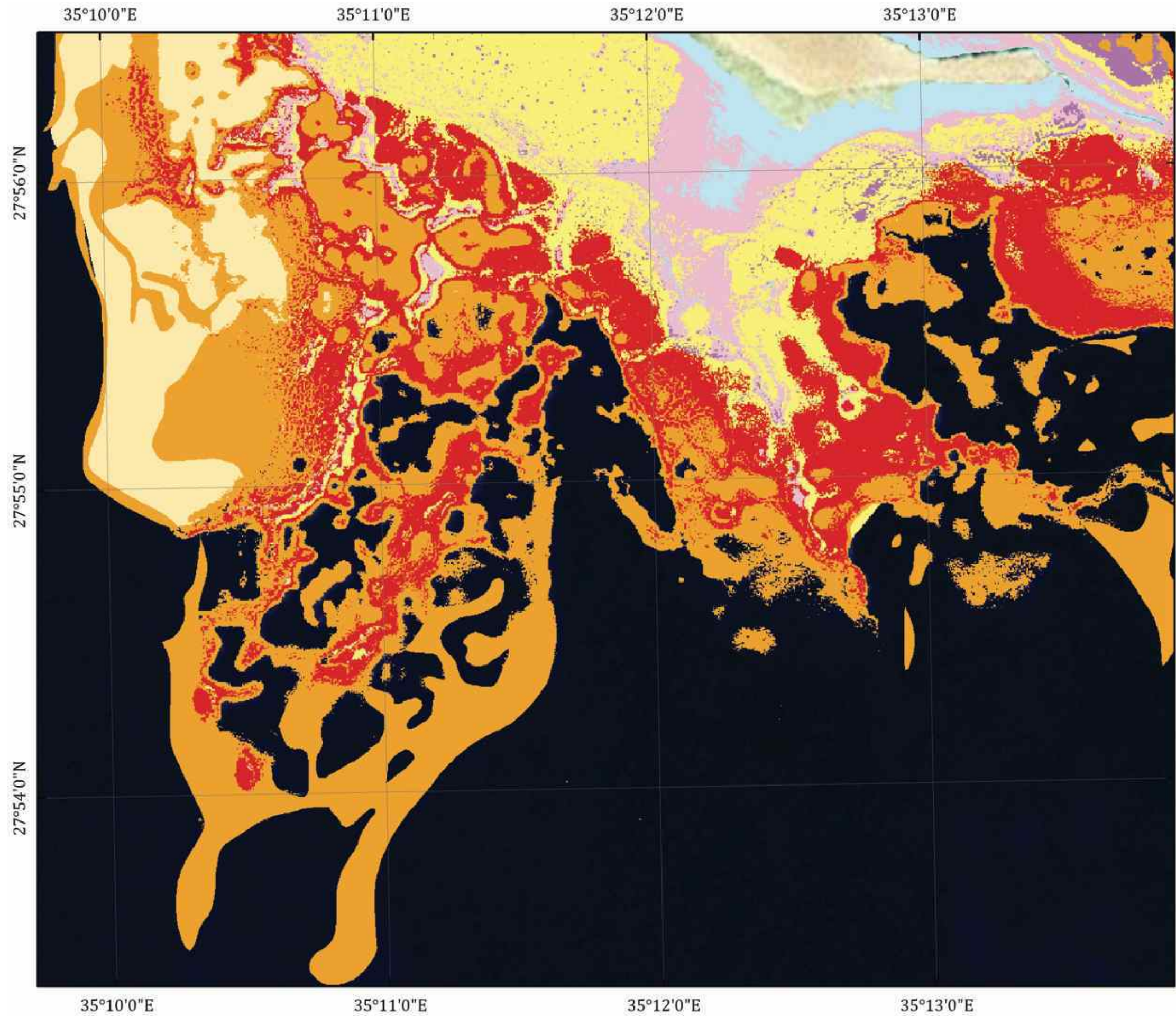
موائل رأس القصيبة

- قُدم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قُدم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحدّة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرّاة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000



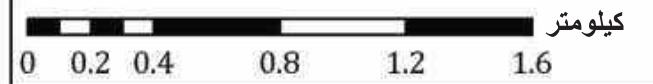


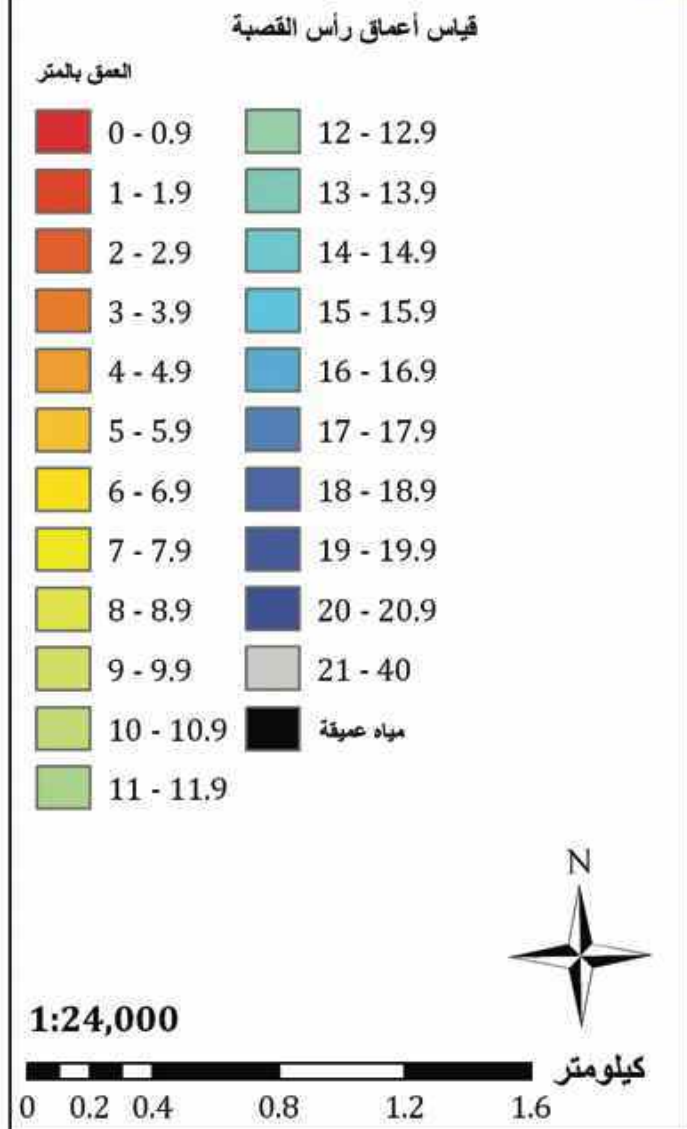
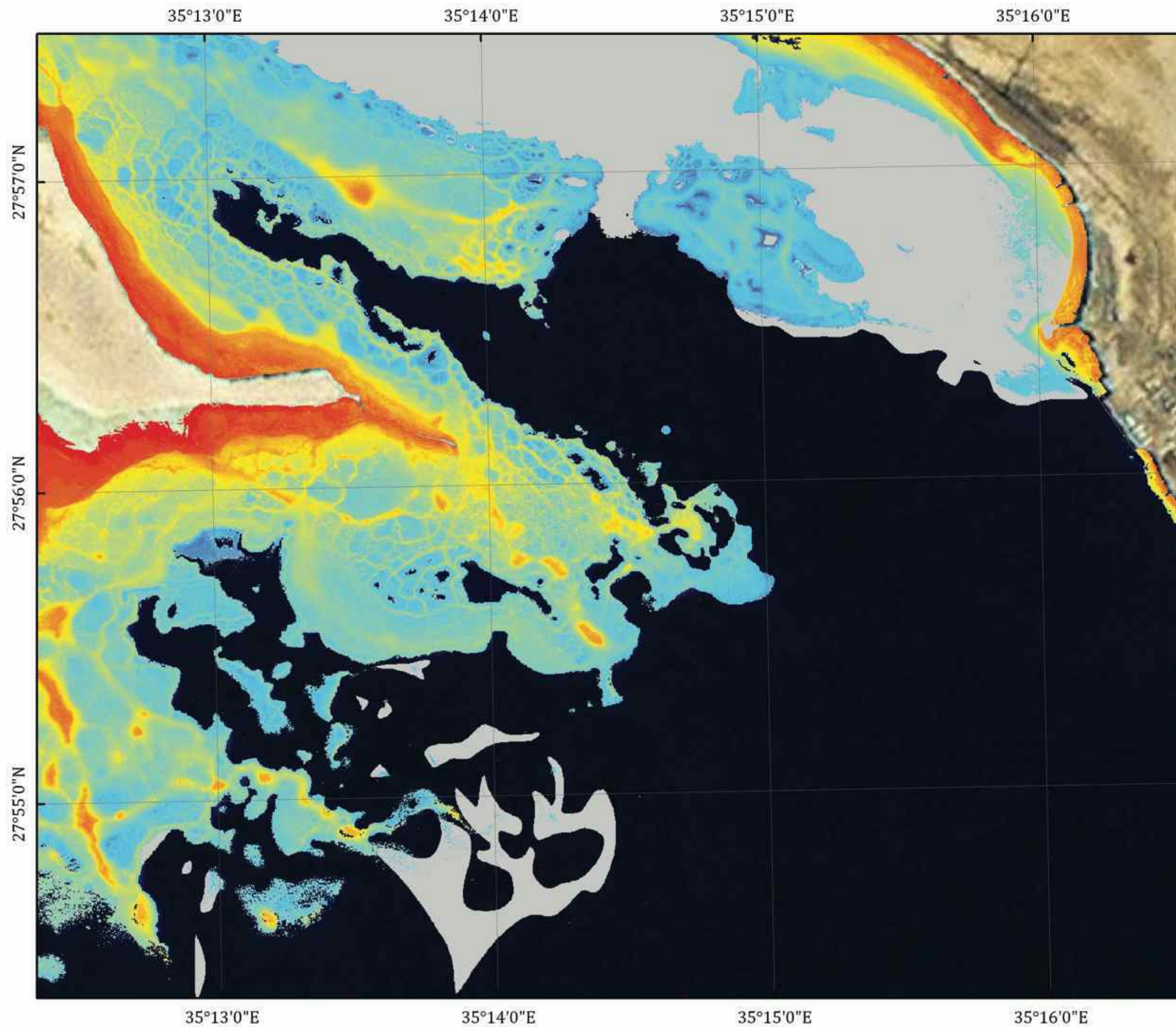
موائل رأس القصبية

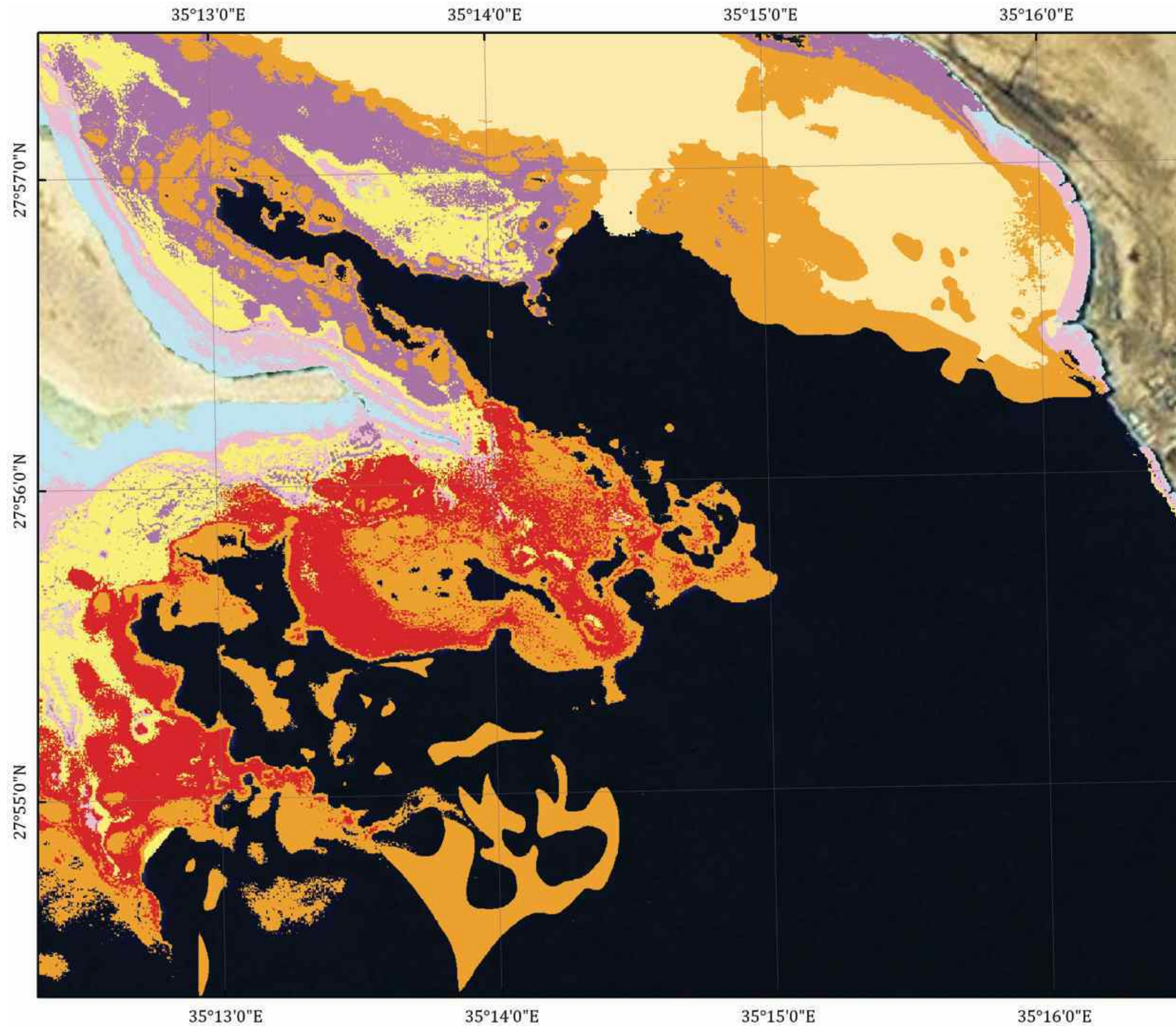
- قبة حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قبة حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان منتشر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضخمة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000





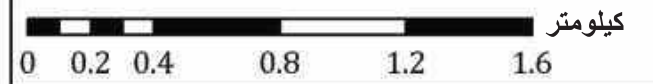


موائل رأس القصبية

- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضخمة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000



35°2'0"E

35°3'0"E

35°4'0"E

35°5'0"E

35°6'0"E

27°56'0"N

27°55'0"N

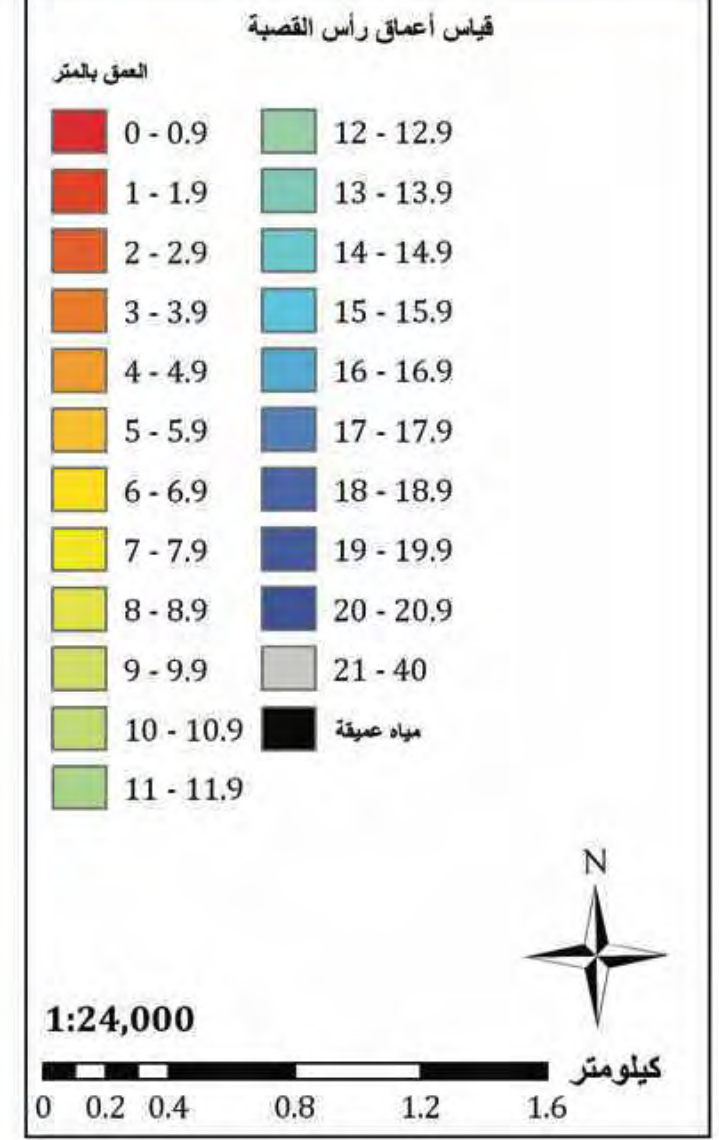
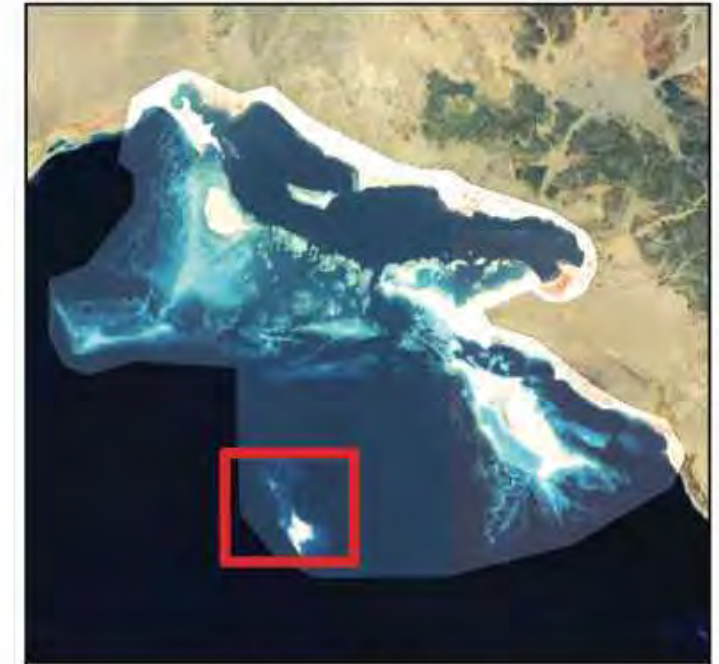
27°54'0"N

35°3'0"E

35°4'0"E

35°5'0"E

35°6'0"E

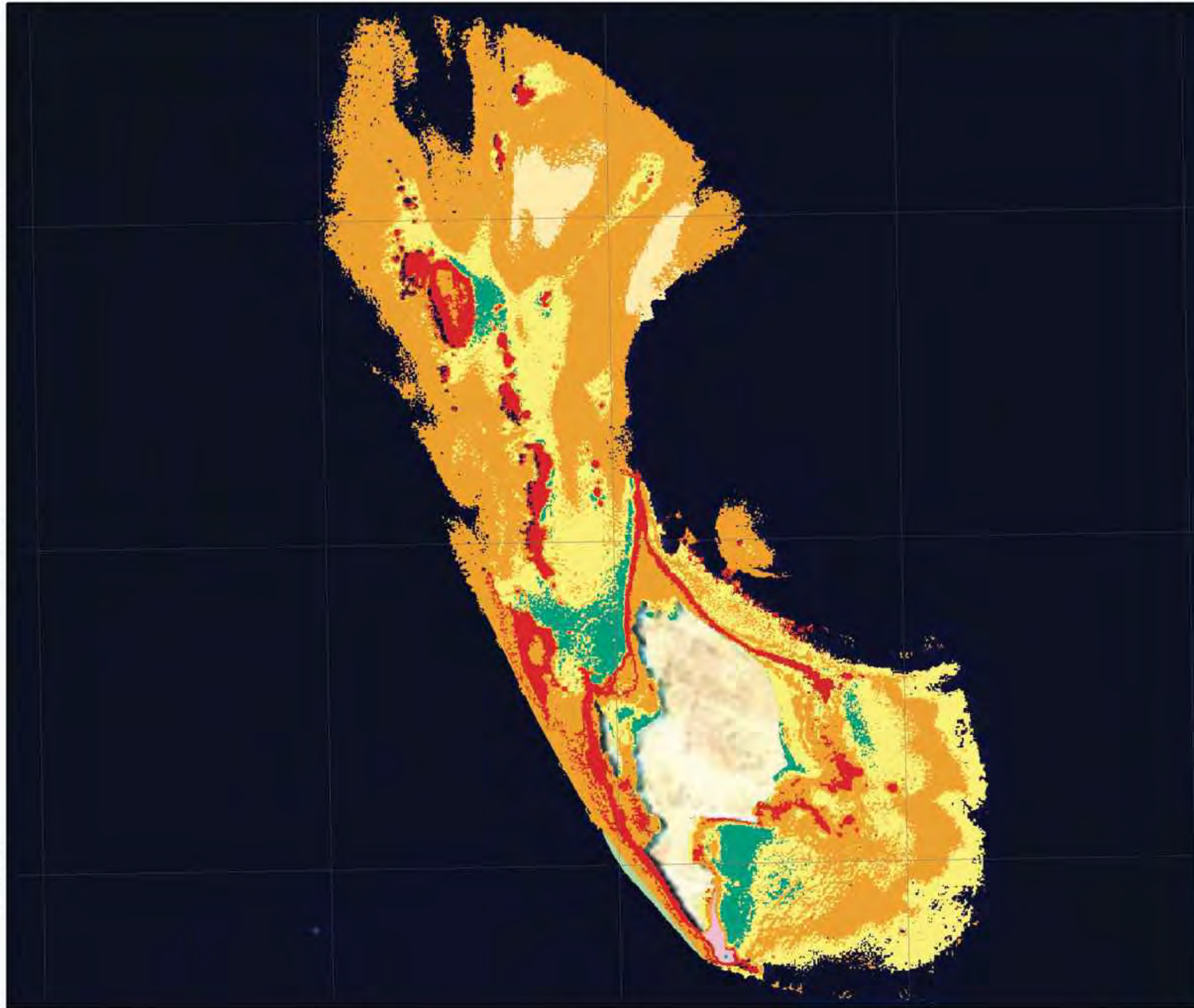


35°2'0"E 35°3'0"E 35°4'0"E 35°5'0"E 35°6'0"E

27°56'0"N

27°55'0"N

27°54'0"N

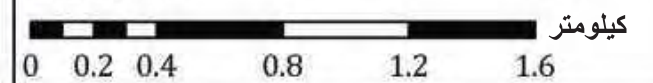


موائل رأس القصبية

- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضخمة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000



35°2'0"E 35°3'0"E 35°4'0"E 35°5'0"E 35°6'0"E



ضفة الوجه



ضفة الوجه

تقع ضفة الوجه (25° 35'N, 36° 45'E) في الجزء الشمالي الشرقي من البحر الأحمر في منطقة تبوك، بين مدينتي الوجه في الشمال وأمّالج في الجنوب. وتبلغ مساحتها حوالي 2,880 كم²، وتمتد 26 - 50 كم عن الشاطئ، من البر الرئيسي، وتمتد بالتوازي مع الخط الساحلي لنحو 50 كم قبل تغيير مسارها باتجاه اليابسة في الطرفين الشمالي والجنوبي.

وتتألف ضفة الوجه من موانئ ساحلية على اليابسة، وهور مركزي يحتوي على مسطحات حشائش بحرية ومجتمعات الطحالب وأشجار الشوري (مانجروف) ونظم شعاب معقدة وعدد كبير من الجزر. وتحاط ناحية البحر (غرب) من هذا الحوض بحاجز مرجاني واسع، الذي ينحدر فجأة إلى عمق 500 م أو أكثر على حافته باتجاه البحر. كما توجد العديد من الجزر والشعاب المرتبطة بها على الرف داخل الحاجز المرجاني، وتقع أيضاً العديد من الجزر قبالة المنطقة بين و الوجه وأمّالج، وغيرها والتي تشكل عنصراً رئيسياً من عناصر نظام الحاجز المرجاني. ويتميز الساحل الرئيسي بوجود مسطحات رملية طينية مع تجمعات عديدة من الأهوار الملحية في المسطحات الرملية بالقرب من الشاطئ وعدد من مخرات سيول الوديان الواسعة. ويغطي الهور المركزي مساحة حوالي 1,400 كم²، مع أقصى عمق 30 - 40 م ويصبح أقل عمقاً تدريجياً باتجاه الأرض. والجزء الجنوبي من الضفة غالباً أكثر ضحالة من الجزء الشمالي، ويحتوي على حشائش بحرية كثيفة ومسطحات مدية. ويتم تجديد مياه الهور عن طريق العديد من القنوات الضيقة (عرض 200 م) التي تربط بين الداخل والخارج من الضفة. وعلى الرغم من أن درجة المد والجزر عادة ضعيفة (1 م)، إلا أن ضيق الفتحات بين الضفة والمياه المفتوحة يولد تيارات قوية.

ويحتوي الأرخيبيل على ستة جزر رئيسية وأكثر من 40 جزيرة صغيرة يتراوح حجمها ما بين 0.01 كم² إلى 11 كم². ومعظم الجزر رملية ومسطحة في حين البعض الآخر صخري مع منحدرات منخفضة، وبمعدل ارتفاع أقل من 5 م. وتحتوي الجوانب المحمية من الجزر في كثير من الأحيان أشجار الشوري (مانجروف)، الحشائش البحرية ومسطحات الرمال والطين المدية. وتقع على الحاجز المرجاني الخارجي ثلاثة جزر رئيسية هي جزيرة أم رومه وجزيرة بريم وجزيرة شيبارة. في حين أن جزيرة قمعان، تعتبر أكبر جزيرة في الهور، وهي جزيرة رملية مسطحة نسبياً، ويحيط بها شعاب مرجانية شاطئية ضحلة. وفي الجنوب من جزيرة قمعان وأقرب إلى الشاطئ، توجد جزر رملية أخرى كبيرة عديدة بما في ذلك جزر شريرات و سويل وأبو لاحق. وفي الشمال من جزيرة قمعان توجد جزر صغيرة ومنخفضة داخل الهور. في حين تقع جزيرة الشيخ مربوط على حدود الطرف الشمالي من الضفة وهي جزيرة صخرية شديدة الانحدار.

وبعض الجزر في المنطقة بها غطاء نباتي، ويتألف في الغالب من أشجار الشوري (مانجروف) والشجيرات المتحملة للملوحة، ولكن بعض الجزر الأخرى قاحلة. وتوجد أشجار الشوري (مانجروف) الكثيفة من نوع *Avicennia marina* على طول الساحل، ولوحظ على حد سواء أشجار *Rhizophora mucronata* و *Avicennia marina* في الجزر حول الحاجز المرجاني الخارجي.

كما توجد رقع كثيفة من أشجار الشوري (مانجروف) في جزيرة حنك وهي جزيرة قريبة تقع بين خطي عرض (25°N و 26°)، في حين أن أكبر تجمعات لأشجار القندل *Rhizophora mucronata* سجلت حول جزيرة أم رومه وعلى شاطئ البر الرئيسي عند دقم سبق. وساحل البر الرئيسي المجاور للضفة يتألف في الغالب من سهل طيني رملي تتخلله الأودية الصغيرة. وفي الطرف الشمالي والجنوبي من الضفة تمتد الوديان إلى الساحل، مع وجود شروم تنمو بها الشعاب المرجانية على هوامشها الخارجية.



غطاء نباتي ساحلي في جزيرة بريم. وفي الخلفية يلاحظ وجود شعاب أحفورية مرتفعة



جزيرة رملية صغيرة بالقرب من أم رماح مستعمرة بأشجار الشوري (مانجروف)



شاطئ صخري في جزيرة جوار وهي جزيرة بعيدة مجاورة للحاجز المرجاني



شجيرات قادرة على تحمل الأملاح تقع بالقرب من حافة المياه على جزيرة بريم



أشجار الشوري (مانجروف) (*Avicennia marina*) في الجانب الغير مواجه للرياح في قد الزوارق داخل شعاب الحاجزة في الوجه

الصفحة المقابلة، يمين: موقع ضفة الوجه. مصدر الخرائط الأصلية: ESRI,i-cubed,USFSA,USGS,AEX,GeoEye,AeroGRID,Getmapping,IGP.

الصفحة المقابلة، أعلى يسار: صورة جوية للساحل، وجزر ساحلية، وموانئ شعاب مرجانية ضحلة في الطرف الجنوبي من ضفة الوجه

الصفحة المقابلة، أسفل يسار: صورة جوية لجزيرة صغيرة في ضفة الوجه. وتسود النباتات الساحلية وأشجار الشوري (مانجروف) محيط هذه الجزيرة من الطرف الشمالي الشرقي. في حين تحاصر الجزيرة المناطق الرملية الضحلة، بالإضافة إلى بعض الشعاب الشاطئية الحافية، المتاخمة للمياه العميقة



مشهد الشعاب في ضفة الوجه

يمين: رقعة أكروپورا (*Acropora*) في الحاجز المرجاني على عمق 6 م

أعلى وسط: شعاب مرجانية (برج) صغيرة مع أكروپورا مسطحة، الشعاب الغير مواجهة للرياح عند عمق 10 م

أسفل وسط: مجتمع مسطحات الشعاب في الحاجز المرجاني: عند عمق 3 م

أعلى يسار: تجمع مرجان مختلط على الشعاب المرجانية الأمامية في الطرف الجنوبي من ضفة الوجه، على عمق 5 م. وتوجد مستعمرة كبيرة من البورايتس (*Porites*) في الوسط محاطة بمرجانيات متفرعة صغيرة بما في ذلك:

Favites و *Pavona* و *Millepora* و *Montipora* و *Acropora* و *Pocillopora* و *Echinopora*.

أسفل يسار: مستعمرة كبيرة من البورايتس (*Porites*) والتي تسود هياكل الشعاب في المنطقة. ويمسك الغواص بمقياس 1 م على عمق 6 م



تحتوي منطقة الوجه على أكثر الشعاب المرجانية اتساعاً والحاجز المرجاني الوحيد في البحر الأحمر. ويساعد وجود الضفة والساحل المتاخم في اتجاه الشمال والجنوب نمو مجموعة كبيرة من أنواع الشعاب المرجانية، بما في ذلك الشعاب المرجانية التي قد تنمو في الشروم المفتوحة والمغلقة، الشعاب الشاطئية بجانب البر الرئيسي أو حول الجزر والشعاب المنصبة و منظومة الشعاب الشبكية والشعاب المغمورة وبقع الشعاب القمية في الهور والحاجز المرجاني المتطور. كما يوجد شريطين مغمورين في المياه العميقة خارج الضفة. وتقع الحافة الخارجية للحاجز المرجاني على بعد 15 - 25 كم من الشاطئ، وبالتوازي مع الخط الساحلي لحوالي 50 كم، قبل أن يتغير مسار اليابسة في نهايتها الجنوبية والشمالية. وفي عدة مواقع، فإن نظام الحاجز المرجاني يحتوي على مسطح شعاب واسع يزيد عن 50 م. في الجزء الجنوبي من ضفة الوجه تكون المياه أقل عمقاً من الجزء الشمالي. كما توجد مساحة مسطحة كبيرة عند عمق 10 - 15 م في الجزء الشمالي من الهور تساعد على وجود مساحات واسعة من الحشائش البحرية والمسطحات المدية وأشجار الشوري (مانجروف). في حين تستقر نظم الشعاب على السهول الغرينية القديمة، بالتزامن مع ارتفاع مستوى سطح البحر خلال عصر الهولوسين على مدى 6,000 سنة الماضية. وعلى الجانب الآخر فإن سهول العصر الكريتايسي الساحلية المتاخمة لمناطق الشعاب أوسع من أي مكان آخر على طول الساحل الأوسط الشمالي.

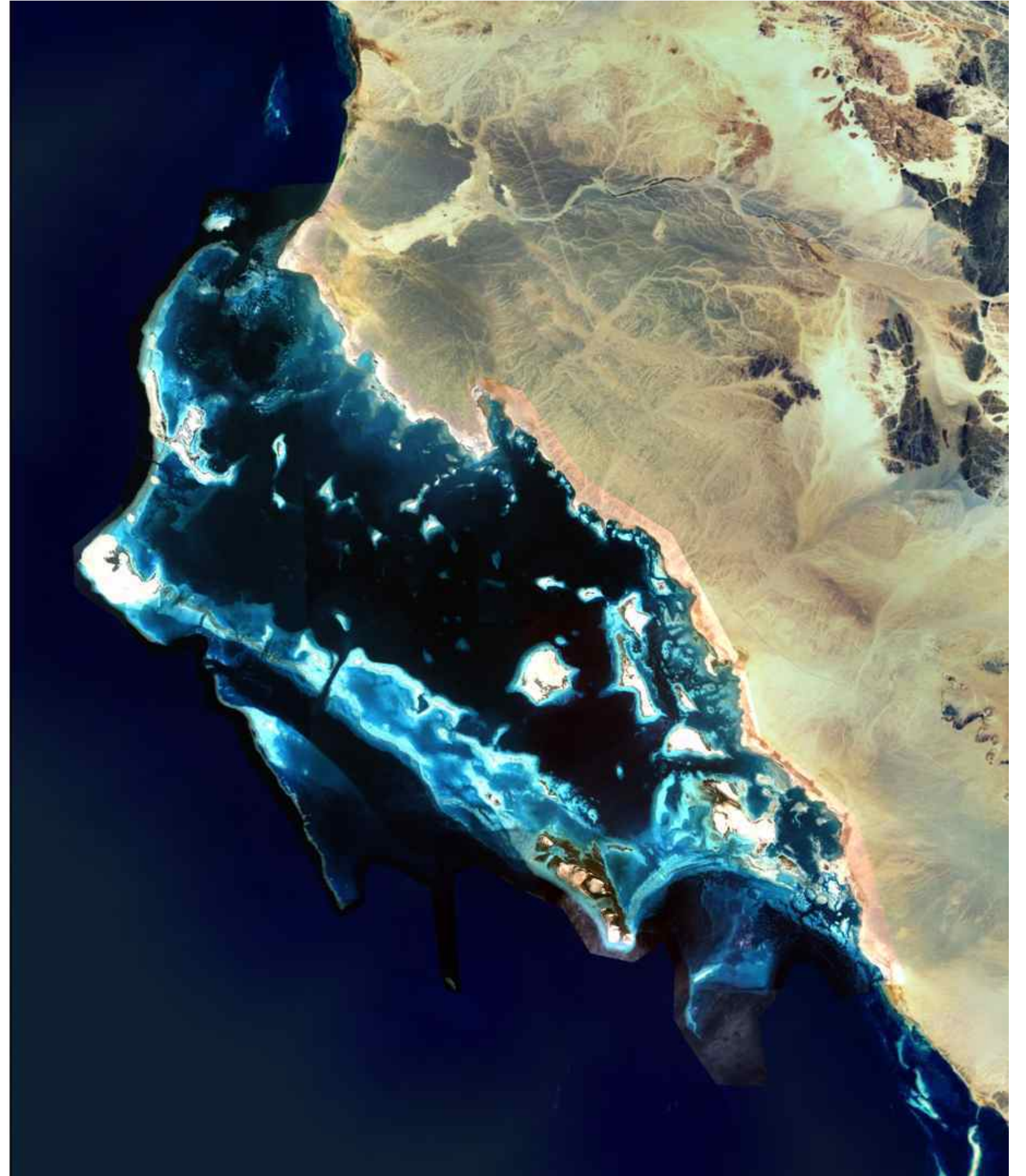


صور وخرائط موائل ضفة الوجه

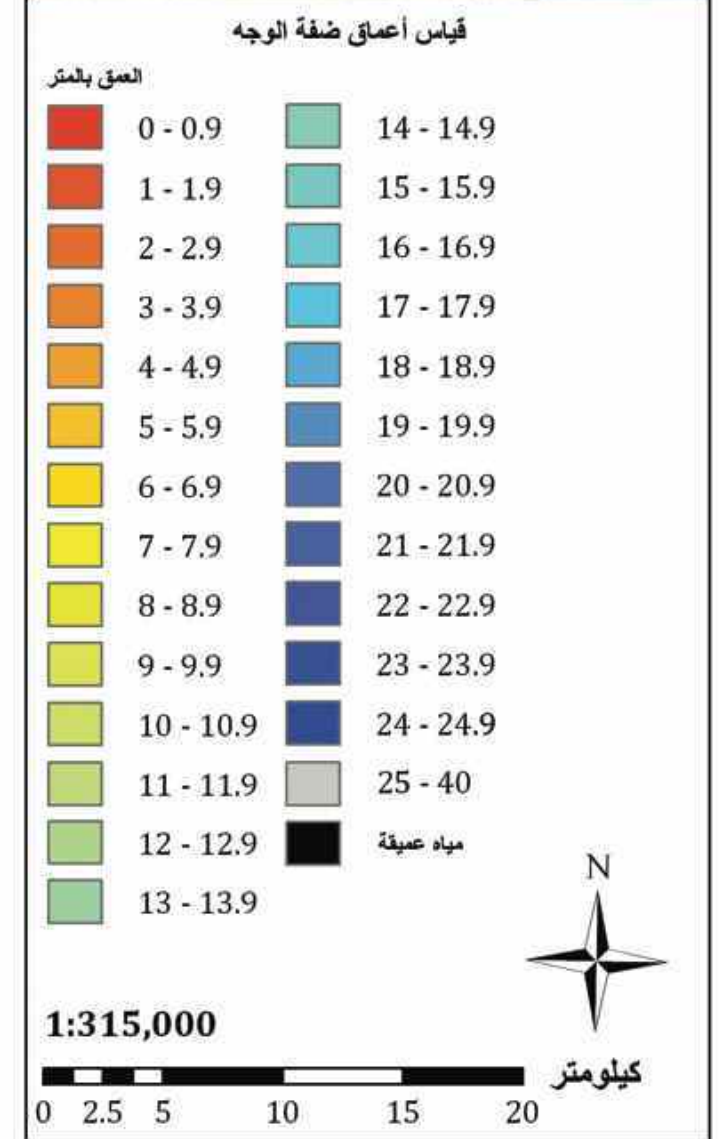
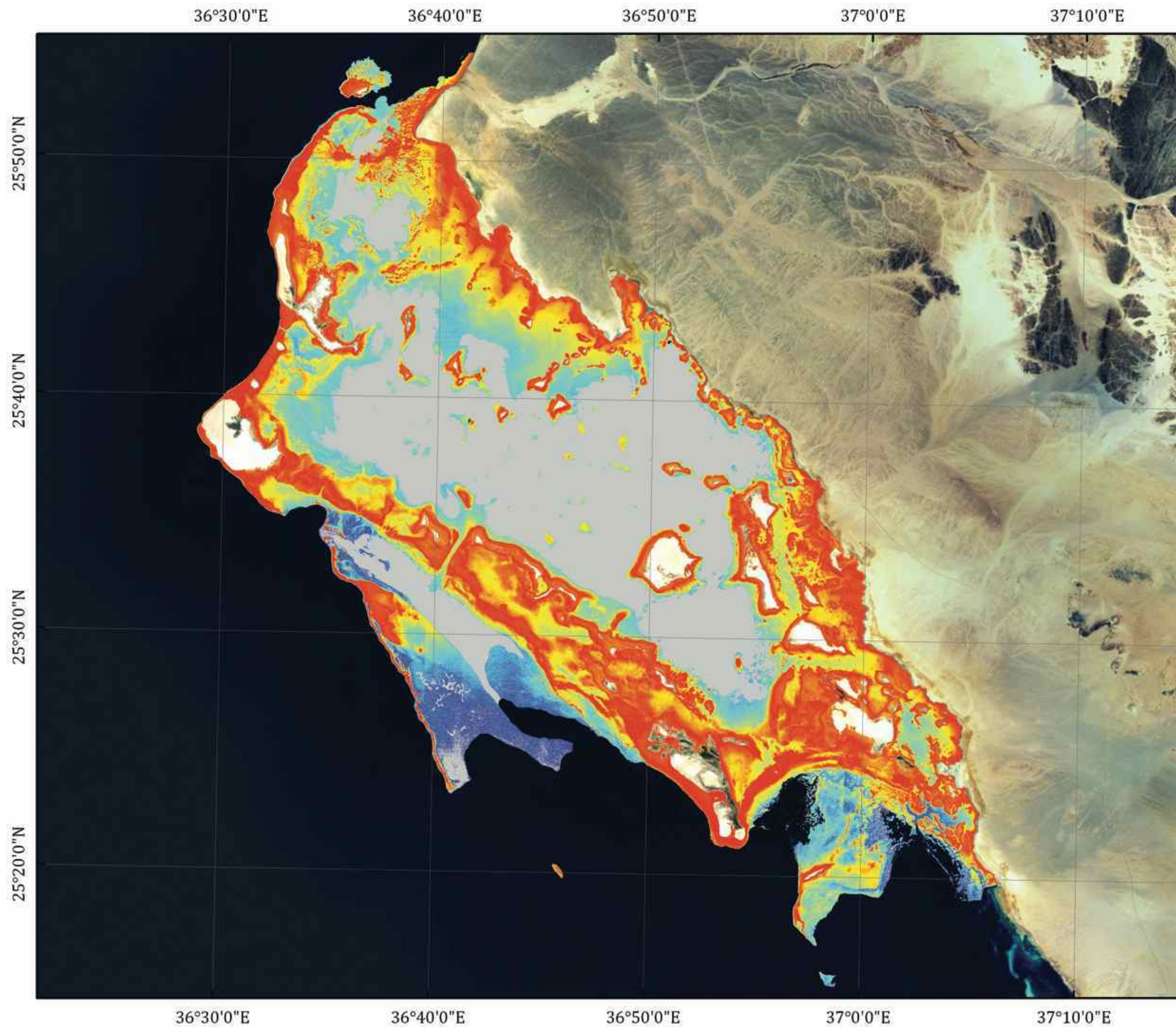
صور الأقمار الصناعية وقياسات الأعماق وخرائط الموائل لضفة الوجه موضحة على صفحات 55 - 95. وتظهر صور الأقمار الصناعية كويك بيرد متعددة الأطياف (يسار)، وقياسات الأعماق (صفحة 56) وخريطة الموائل الناجمة عن نفس المنطقة (صفحة 57) على مقياس من 1: 315,000. وتوجد خريطة لتحديد المواقع، وخريطة موائل للمنطقة الشمالية (صفحة 58 - 59) والمنطقة الجنوبية (صفحة 74 - 75) بمقياس 1: 180,000. ويتبع كل خريطة منطقة خرائط موائل عالية الدقة (1: 24,000)، وخرائط الأعماق لمناطق ممثلة لمنطقة الوجه في صفحات لاحقة. وكل من الستة مقاييس 1: 24,000 لخرائط الأعماق مدرجة في هذا الباب في الصفحات اليسار (الصفحة الزوجية) وتظهر خريطة الموائل لنفس المنطقة على اليمين (الصفحة الفردية). خرائط الموائل تبدأ في الشمال وتستمر حتى الجنوب. وتشمل هذه الموائل المرتبطة بالحاجز المرجاني والبيئات وبيئات الهور والبيئات القريبة من الشاطئ. ومصدر صورة الخريطة الأرضية الأساسية المستخدمة في جميع خرائط الموائل وخرائط الأعماق هي:

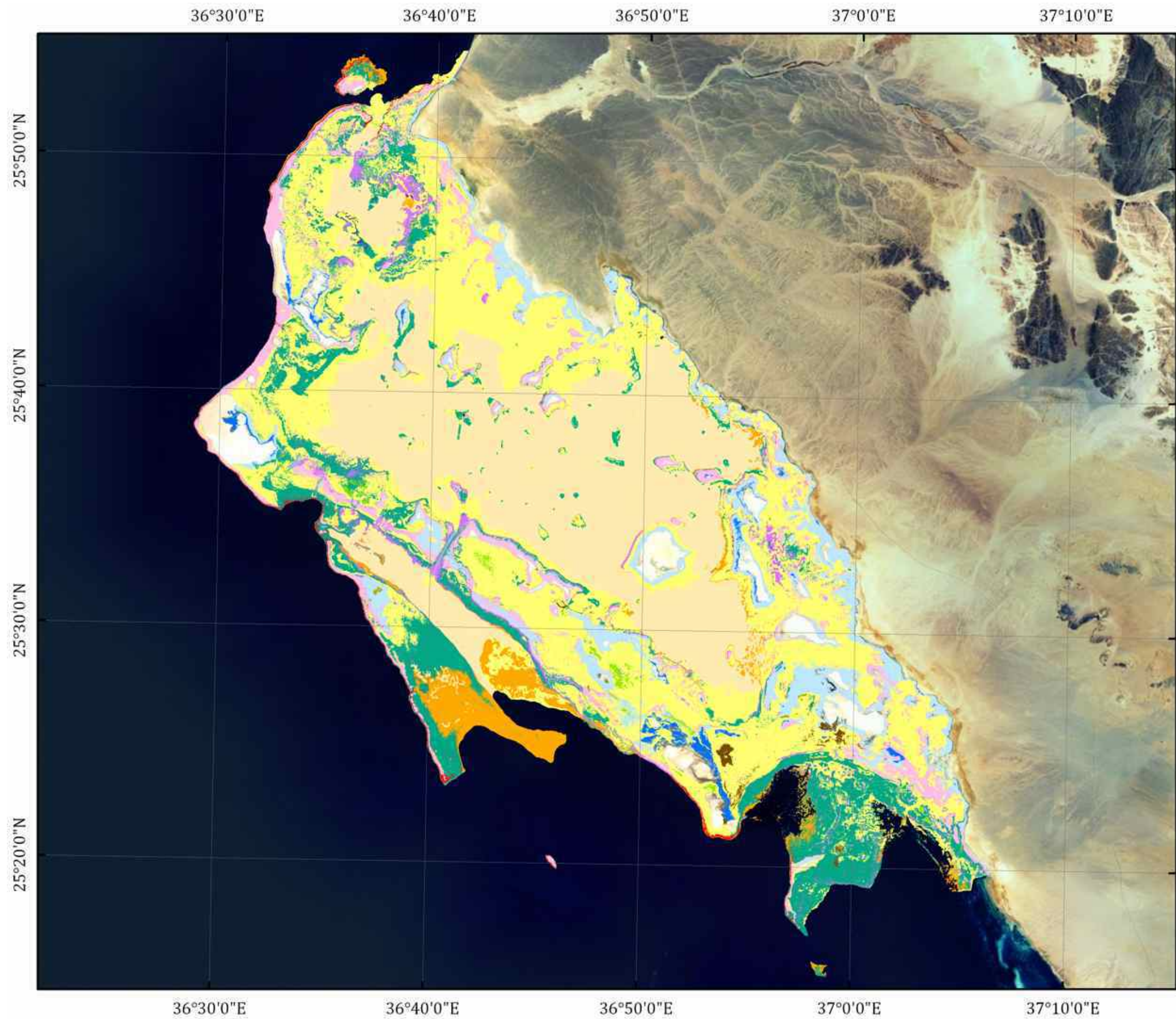
ESRI, i-cubed, USFSA, USGS, AEX, GeoEye, AeroGRID, Getmapping, IGP.

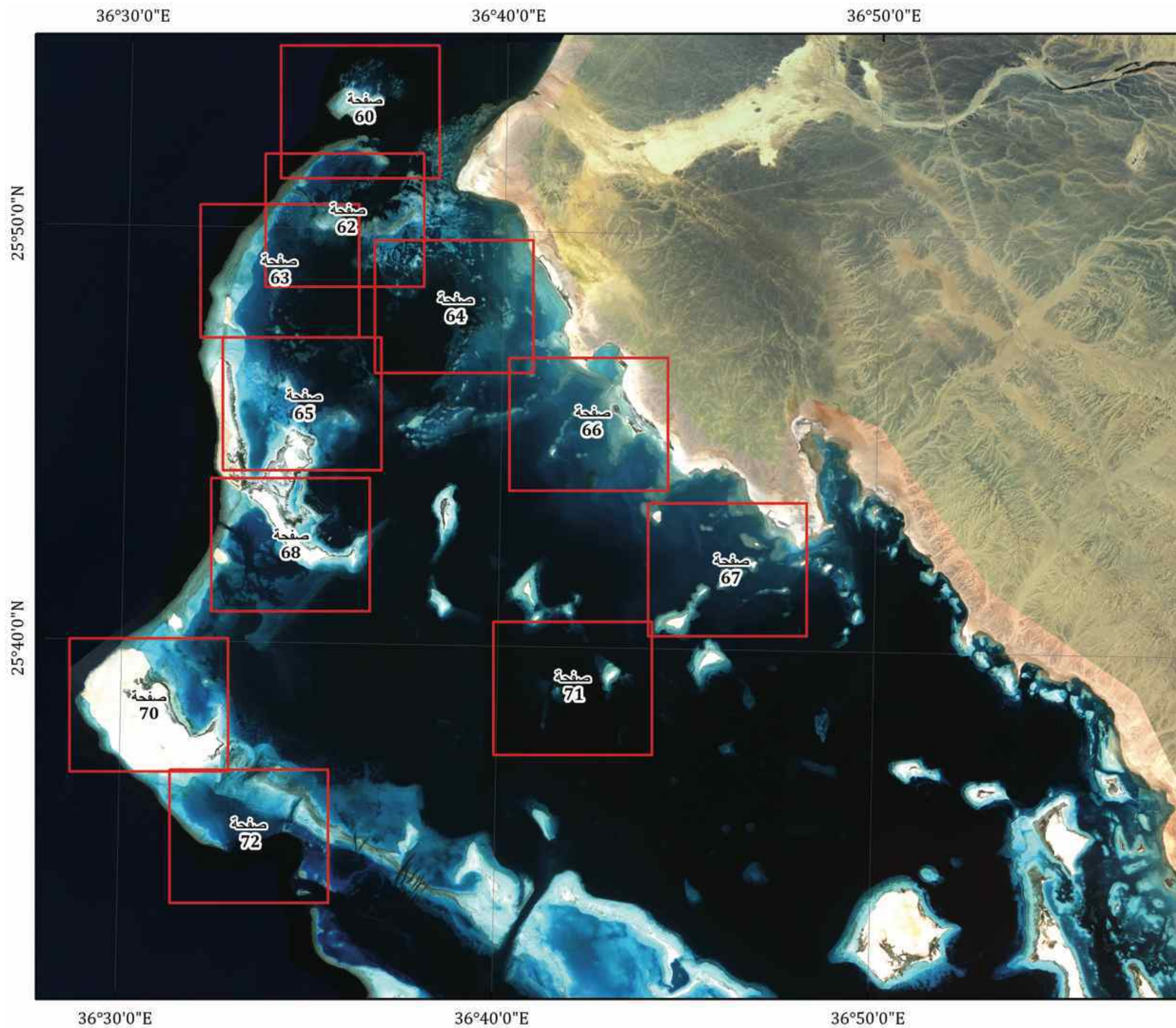
تم رسم منطقة مساحتها 1,719 كم² من الموائل البحرية الضحلة وتقسيمها إلى 15 فئة من الموائل مع المواقع دون عمق 25 م (المياه العميقة) ظهرت باللون الأزرق الداكن. وكانت أنماط الموائل الأكثر شمولاً هي طبقات الرمال الضحلة وهور الرمل العميق، التي تشكل أكثر من 67% من كل الموائل البحرية. كما وجدت الشعاب المرجانية في أنواع الموائل الستة، وتغطي مساحة قدرها حوالي 310 كم². وتشكل القيعان الصلبة مساحة قدرها 100 كم² من الضفة، في حين أن غيرها من الموائل ذات القاع الناعم تحتوي على الحشائش البحرية، والطحالب، والبكتيريا الزرقاء تشغل مساحة قدرها 13 كم². وشملت المناطق القريبة من الشواطئ بعض الموائل المرجانية، مع أشجار الشوري (مانجروف) ومساحات الرمال الضحلة والطينية ومناطق الطحالب التي تغطي حوالي 130 كم².

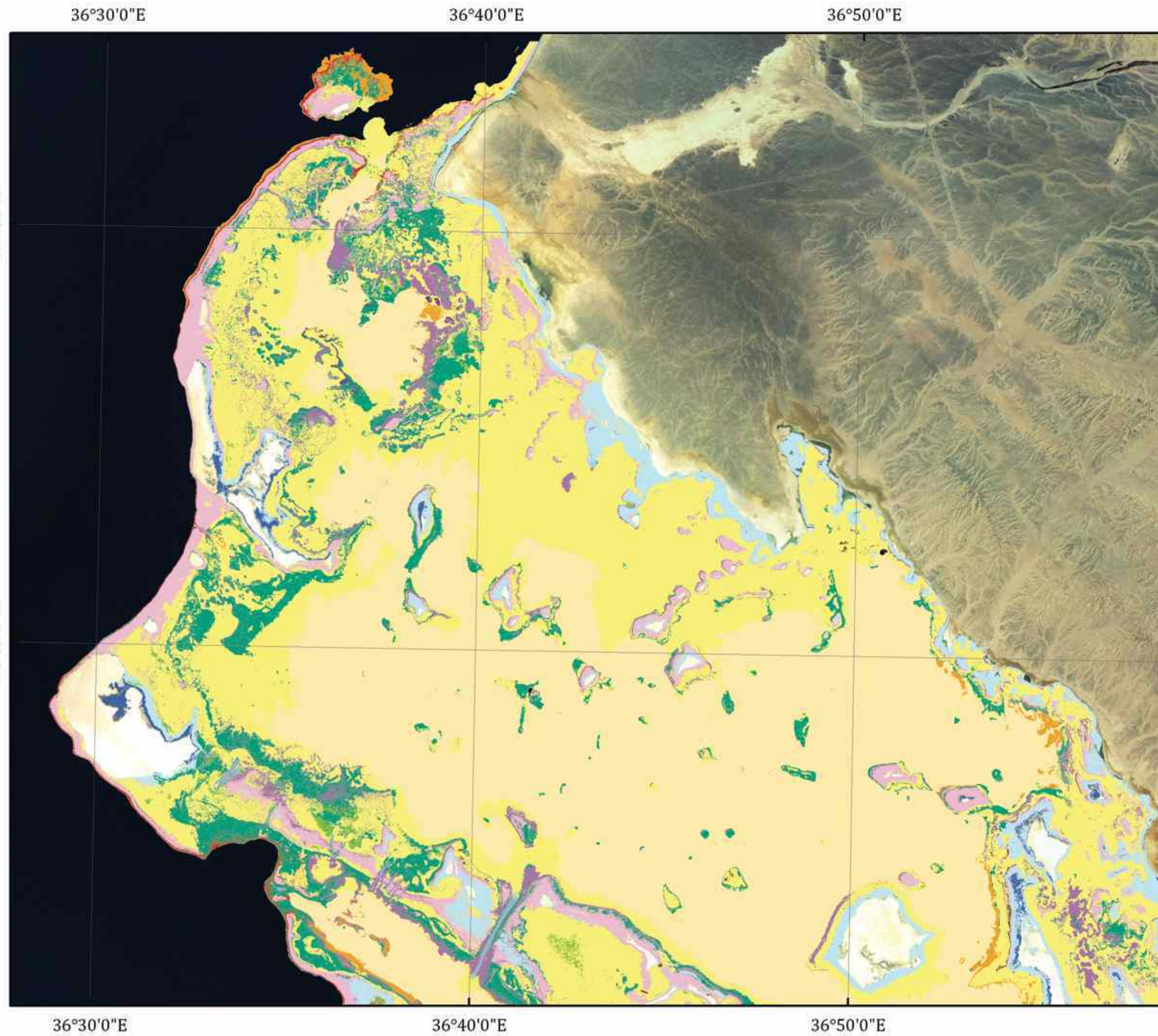


النسبة إلى المنطقة الكلية %	المساحة الكلية (كم ²)	موائل الوجه
0.10	1.32	جدران مرجانية منخفضة بحدة
0.40	7.53	قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
3.00	51.88	قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
0.05	0.56	بقع أكروبوورا كثيفة
3.70	62.97	هياكل عمودية
11.10	190.76	مرجان متناثر وحجارة ورمل
0.40	7.03	مساحات الحشائش البحرية
0.30	5.64	طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
0.10	0.86	طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
0.80	13.34	أشجار الشوري (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
0.15	2.32	قنوات معرّاة
5.70	98.14	قيعان كربونية ومساحات شعاب
37.20	639.77	طبقات رمال ضحلة
30.40	521.74	هور رمل عميق
6.70	114.83	مساحات رمل وطين
100	1718.69	المساحة الكلية للمنطقة









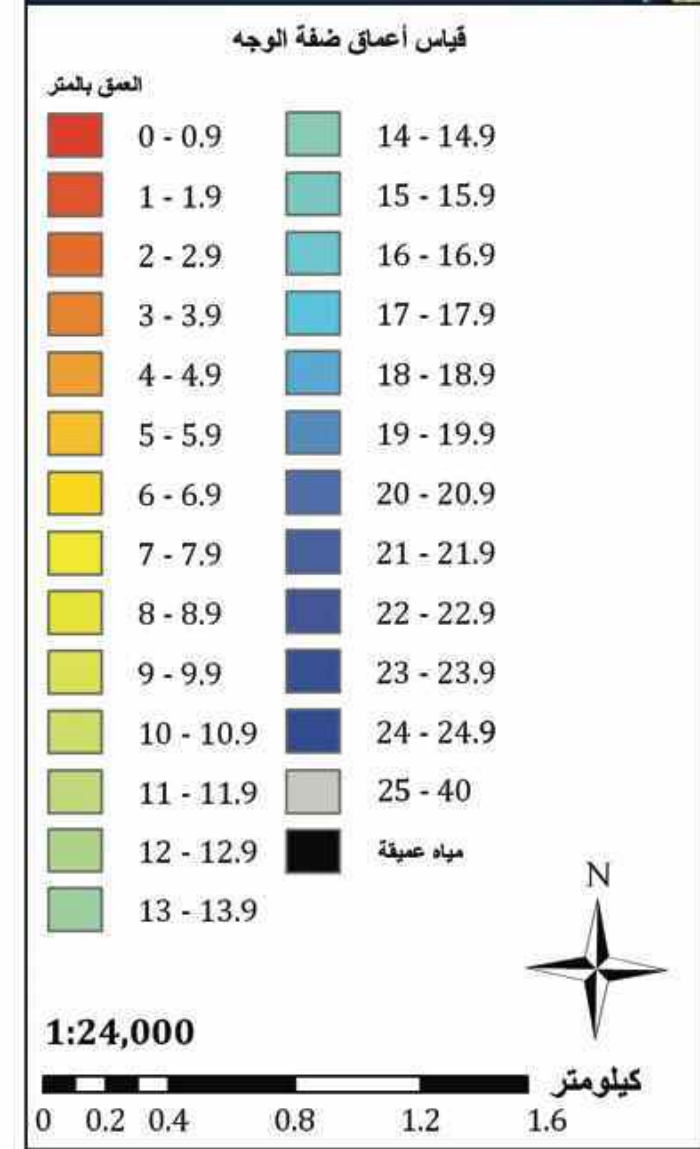
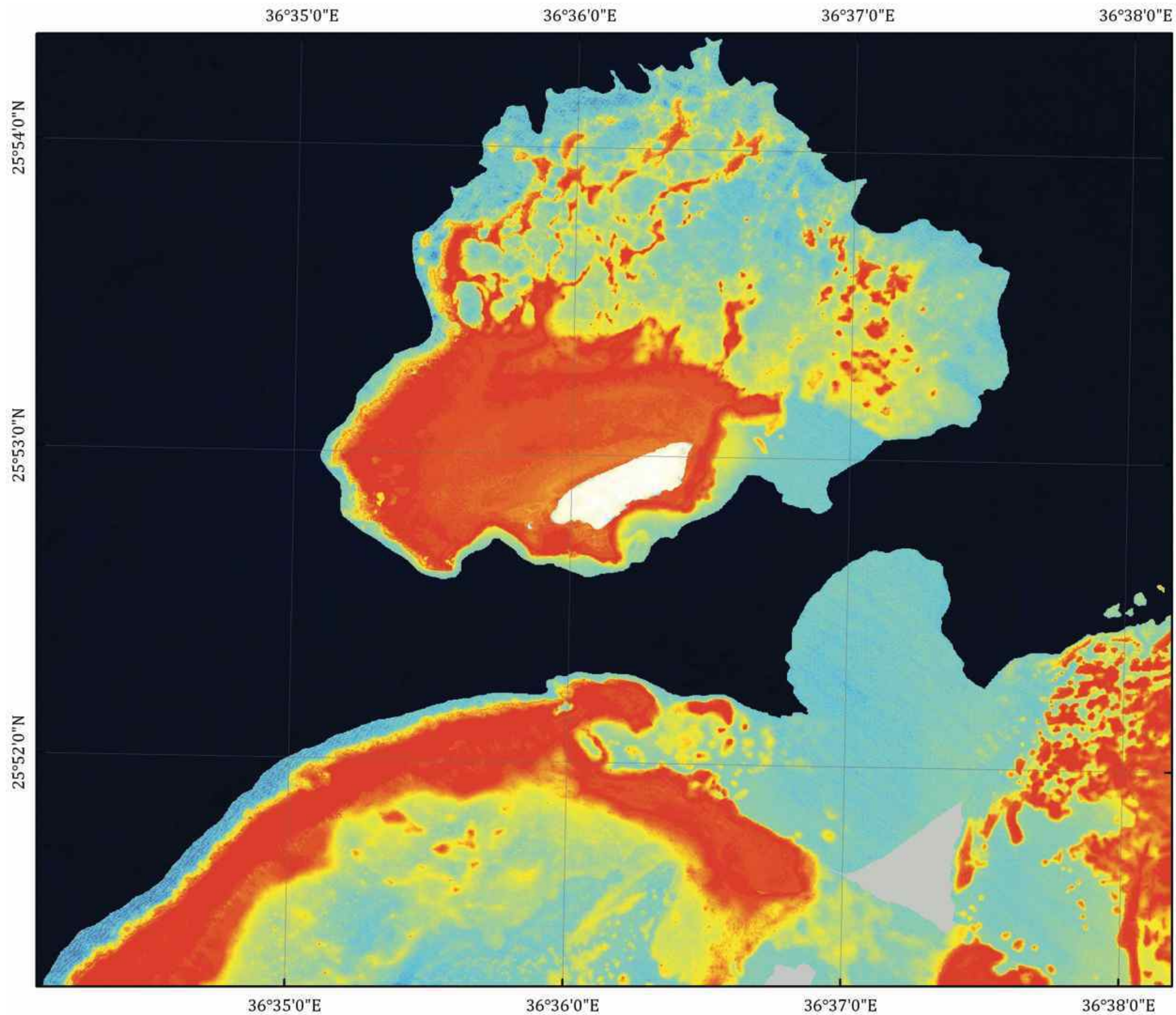
موانئ الوجه

- قنطرة مرجانية مواجهة للرياح
- قنطرة مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبوورا كثيفة
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة واسفنجيات على القيعان الصلبة
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة

1:180,000

كيلومتر

0 1.5 3 6 9 12



36°35'0"E

36°36'0"E

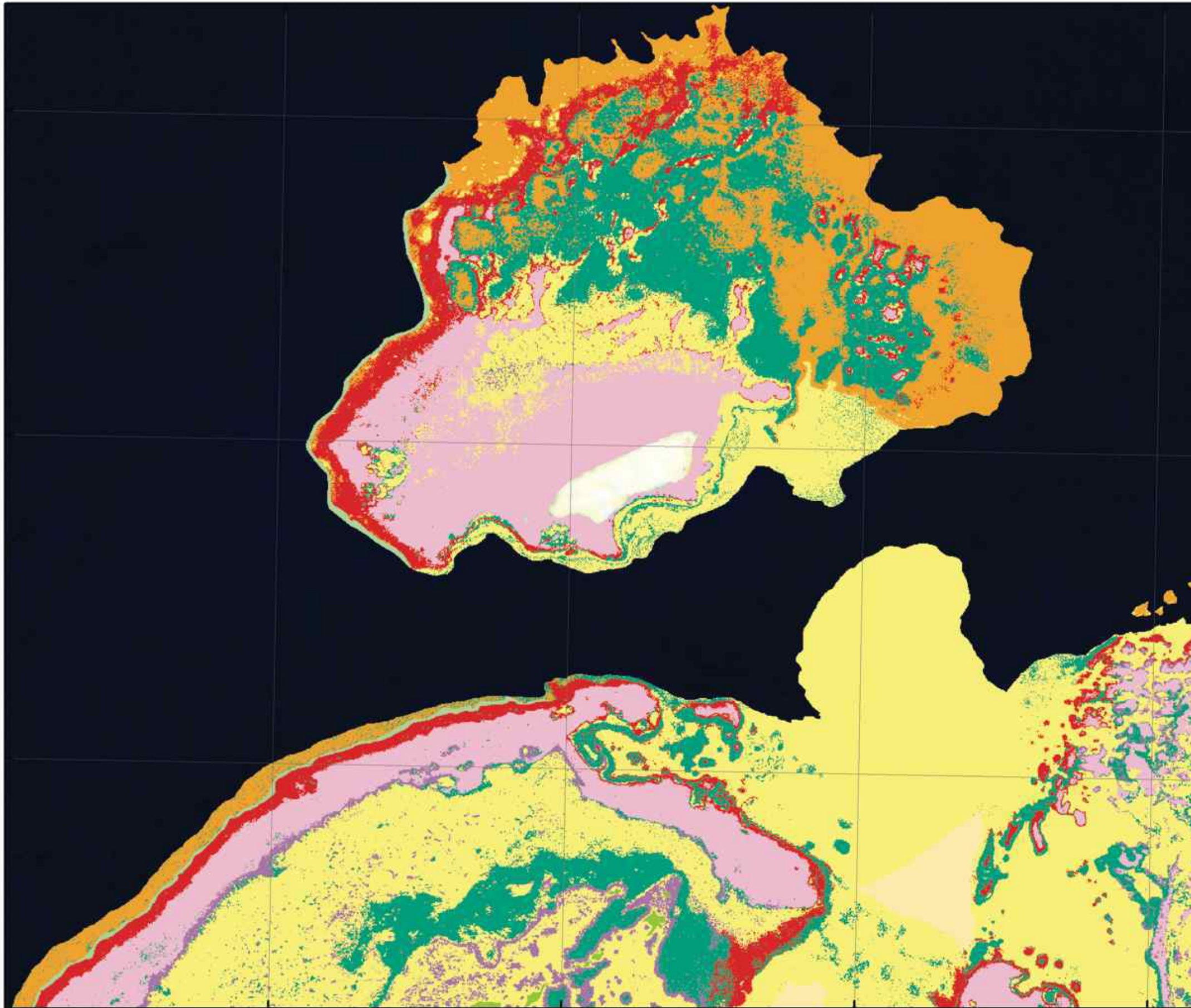
36°37'0"E

36°38'0"E

25°54'0"N

25°53'0"N

25°52'0"N



36°35'0"E

36°36'0"E

36°37'0"E

36°38'0"E

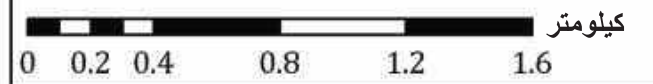


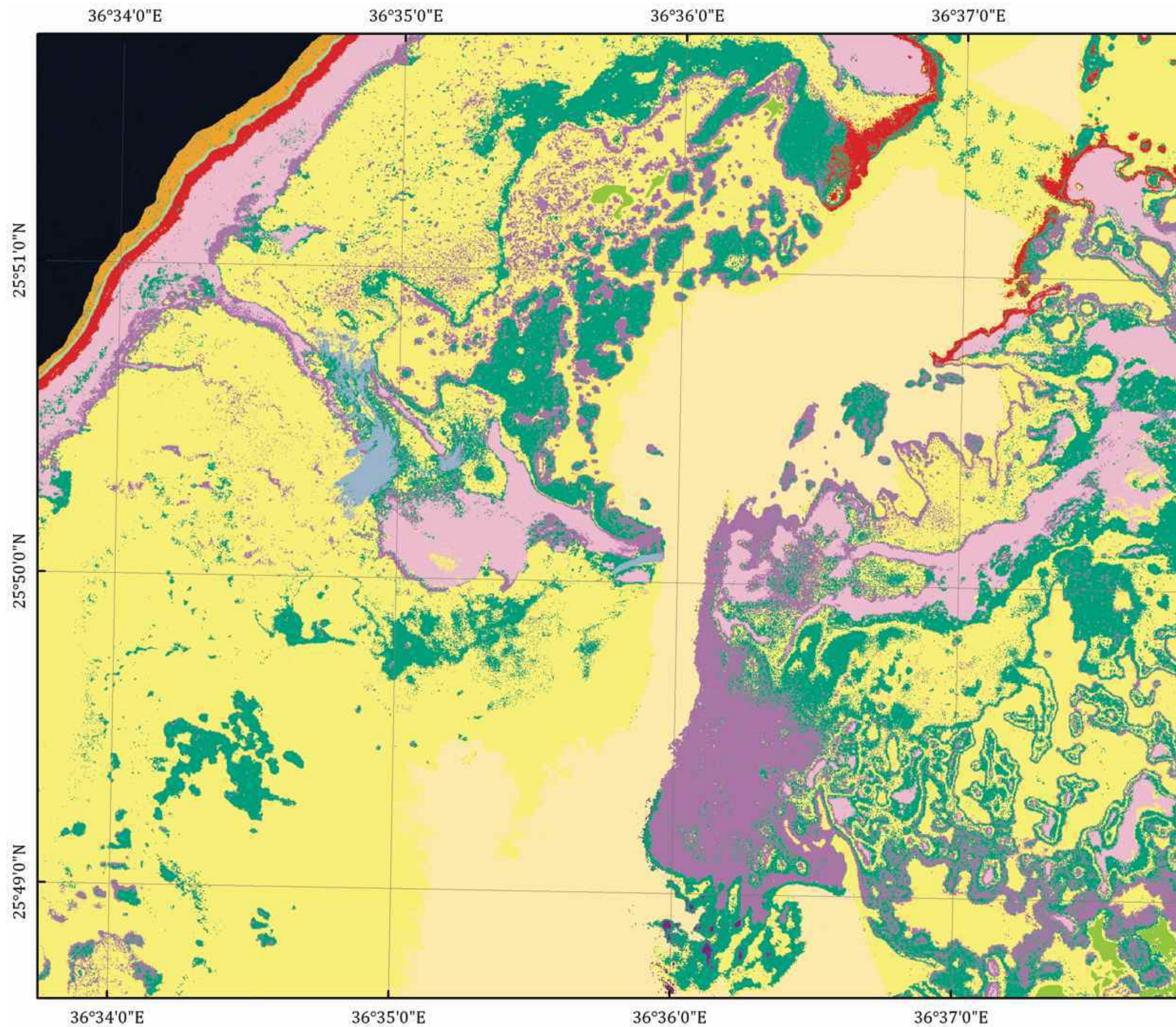
موانئ الوجه

- قنطرة مرجانية مواجهة للرياح
- قنطرة مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات كبيرة واسفنجيات على القيعان الصلبة
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة

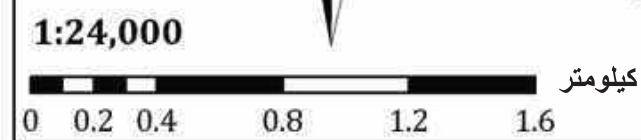


1:24,000





- موانئ الوجه
- قمة حافية مرجانية مواجهة للرياح
 - قمة حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
 - بقع أكروبيورا كثيفة
 - جبال عمودية
 - جدران مرجانية منخفضة بحددة
 - مرجان متناثر وحجارة ورمل
 - مسطحات العشائش البحرية
 - طحالب كبيرة واستنجيلات على القيعان الصلبة
 - طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
 - أشجار الشورى (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
 - قنوات مغارة
 - قيعان كربونية ومسطحات شعاب
 - طبقات رمال ضحلة
 - أهوار رملية عميقة
 - مسطحات رمل وطين
 - مياه عميقة

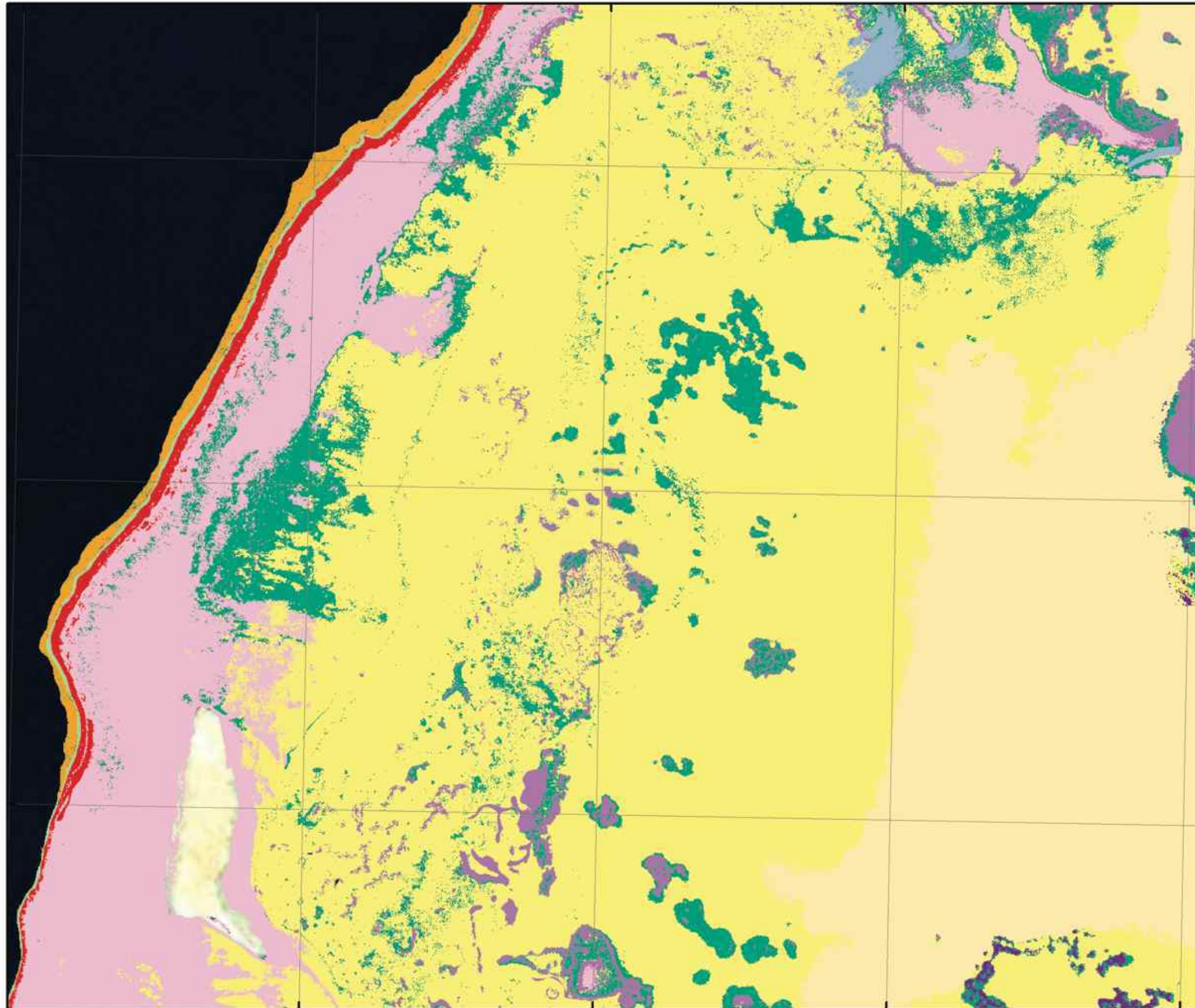


36°32'0"E 36°33'0"E 36°34'0"E 36°35'0"E 36°36'0"E

25°50'0"N

25°49'0"N

25°48'0"N

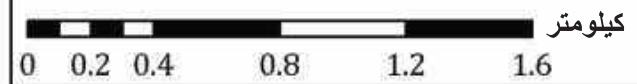


موانئ الوجه

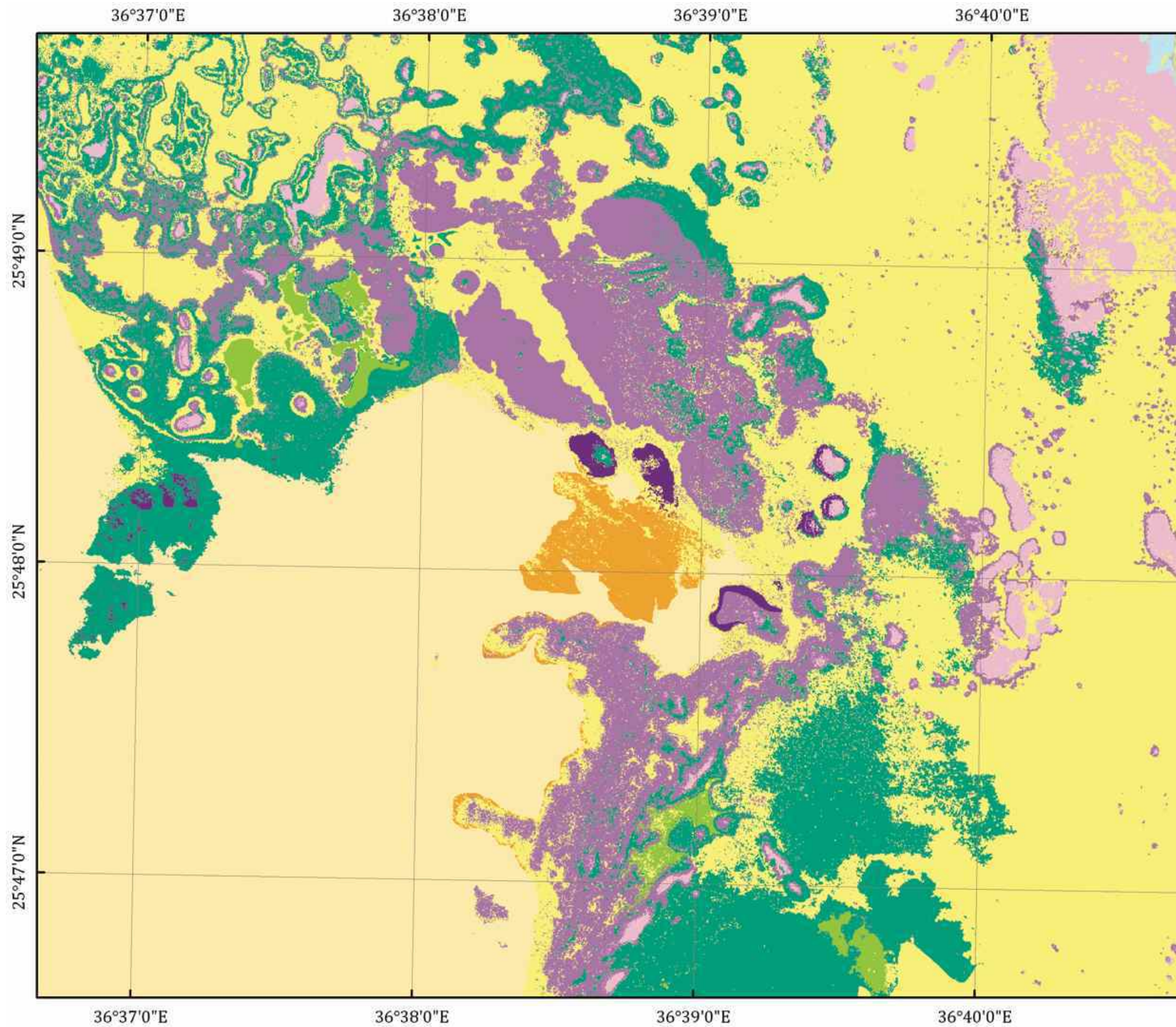
- تتم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- تتم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبوليا كثيفة
- هيكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة واسفنجيات على القيعان الصلبة
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- فتوات مغرزة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة

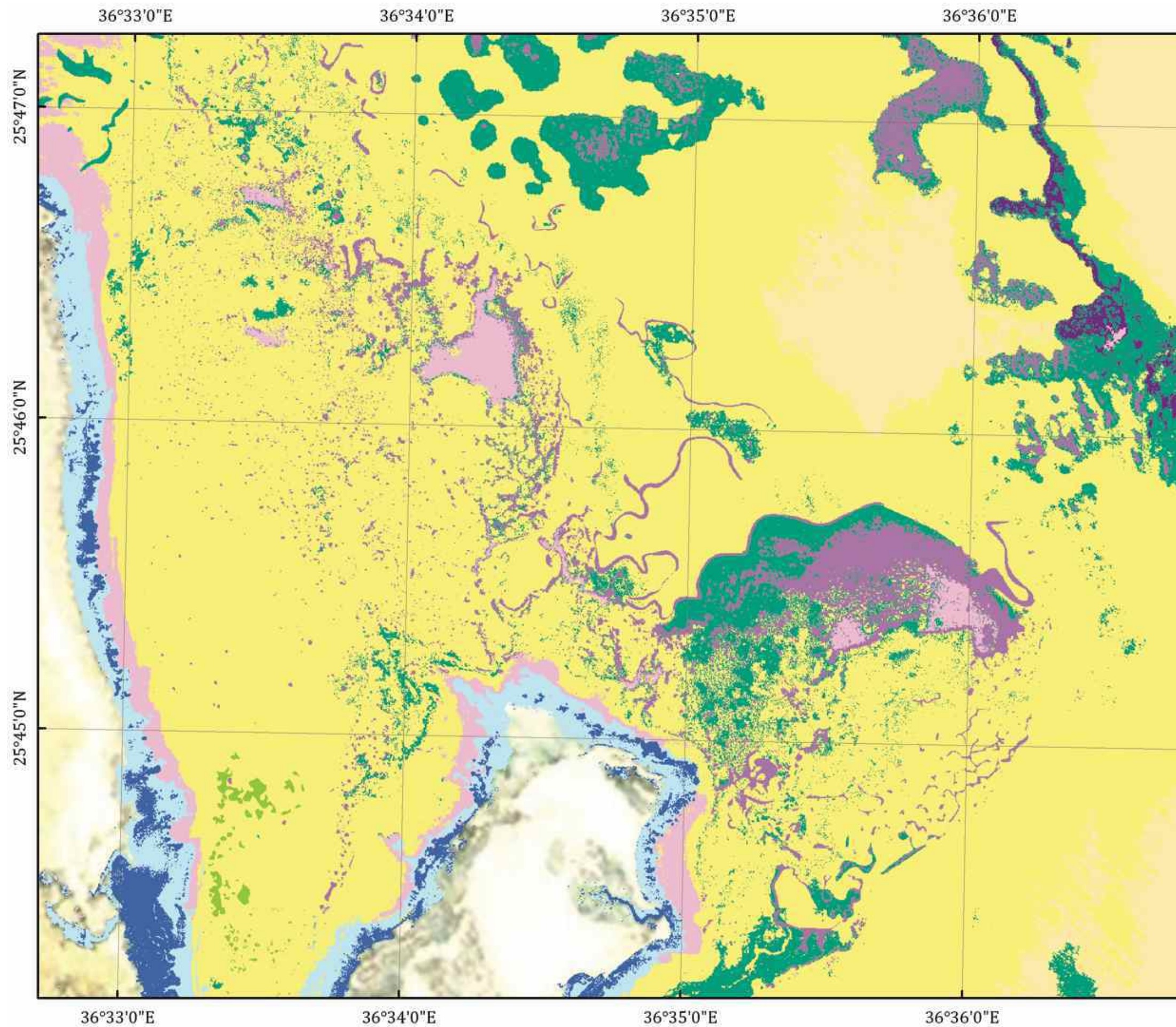


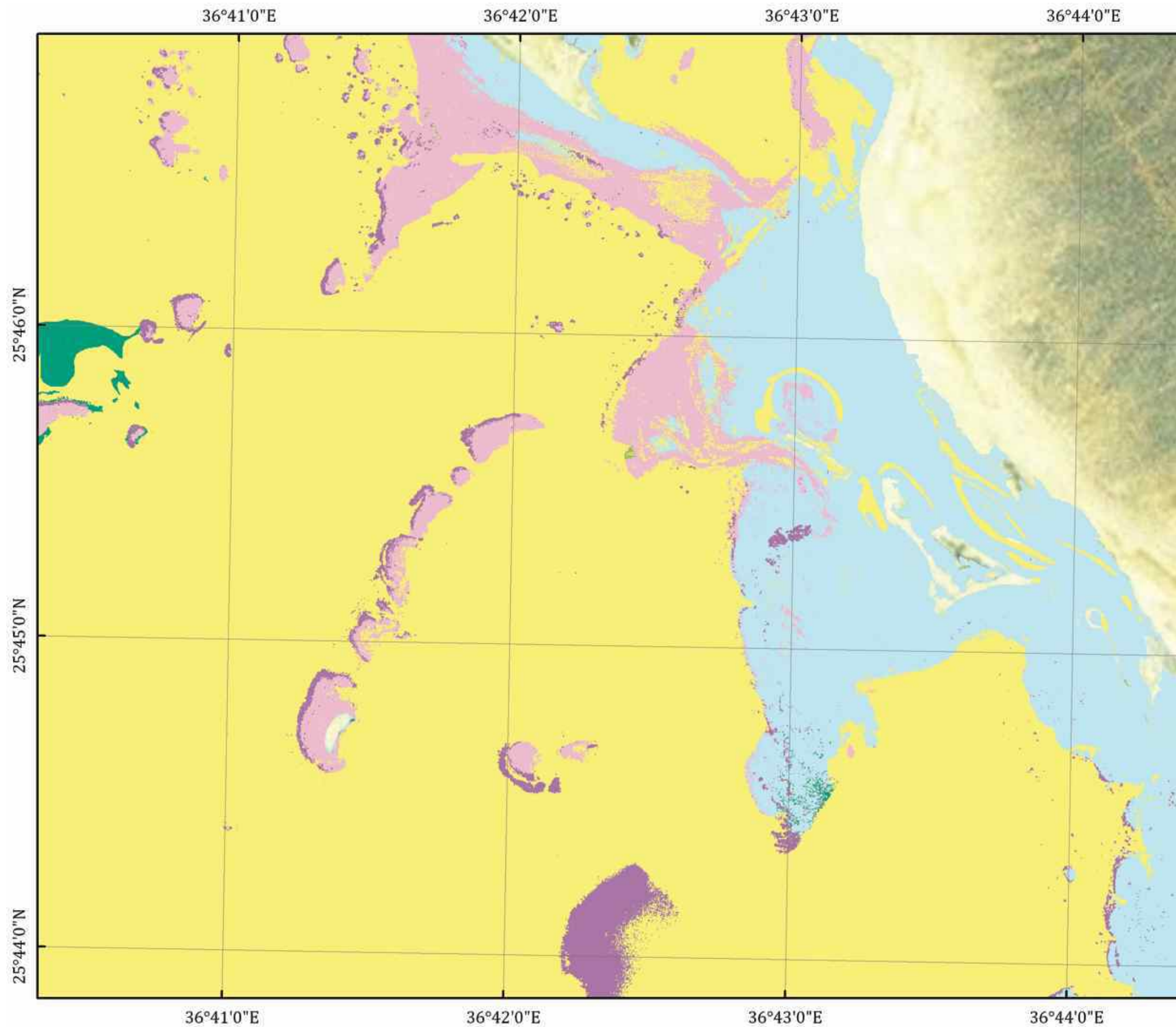
1:24,000



36°33'0"E 36°34'0"E 36°35'0"E 36°36'0"E



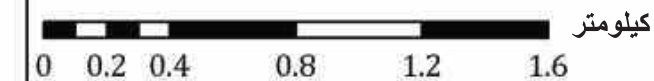


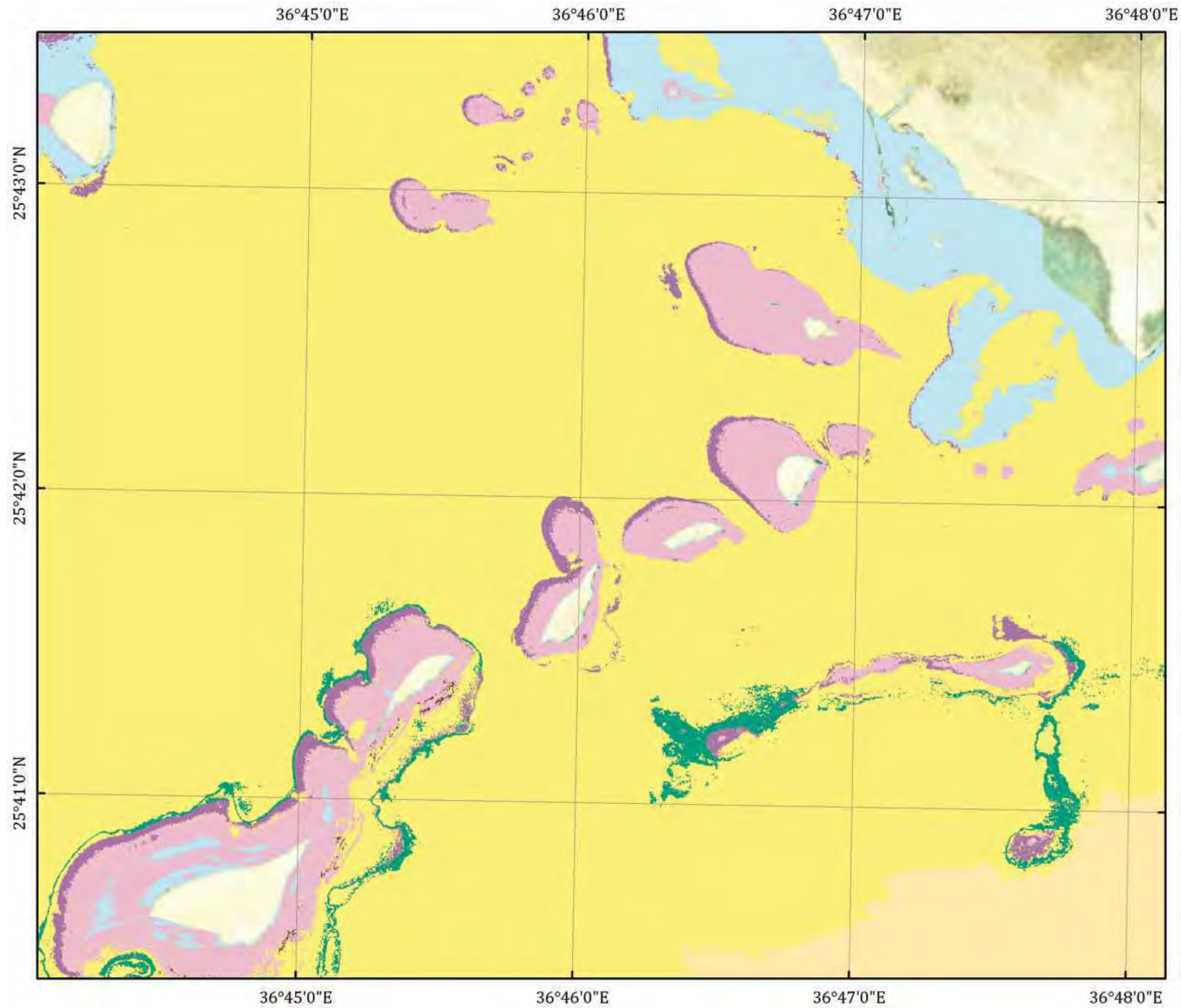


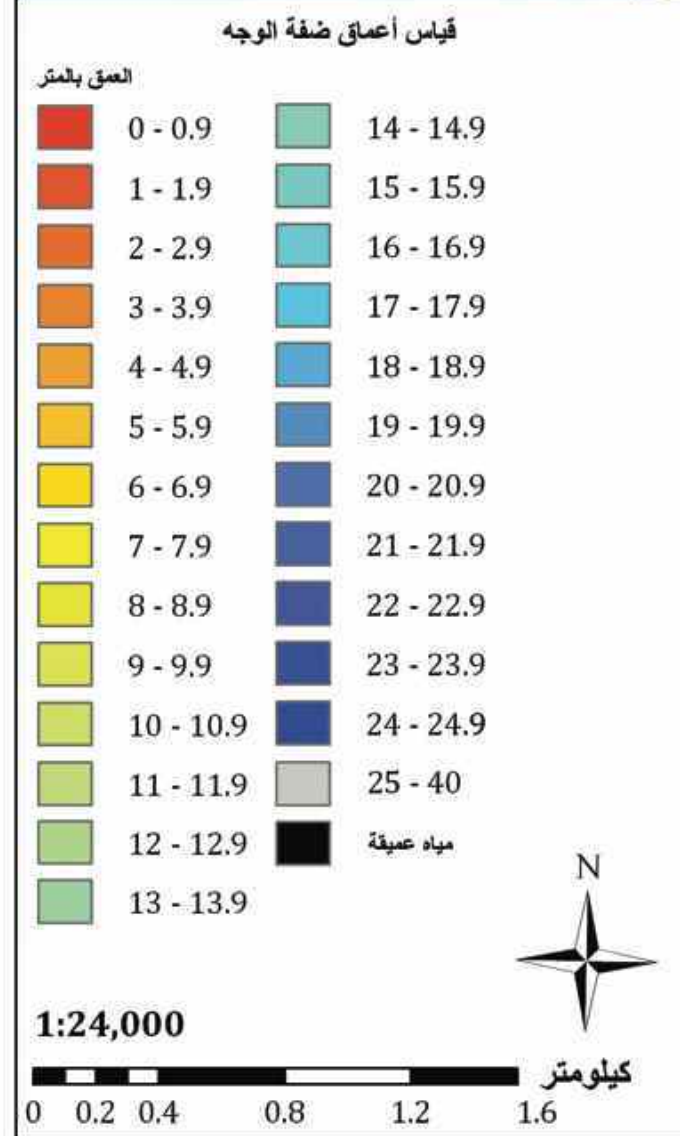
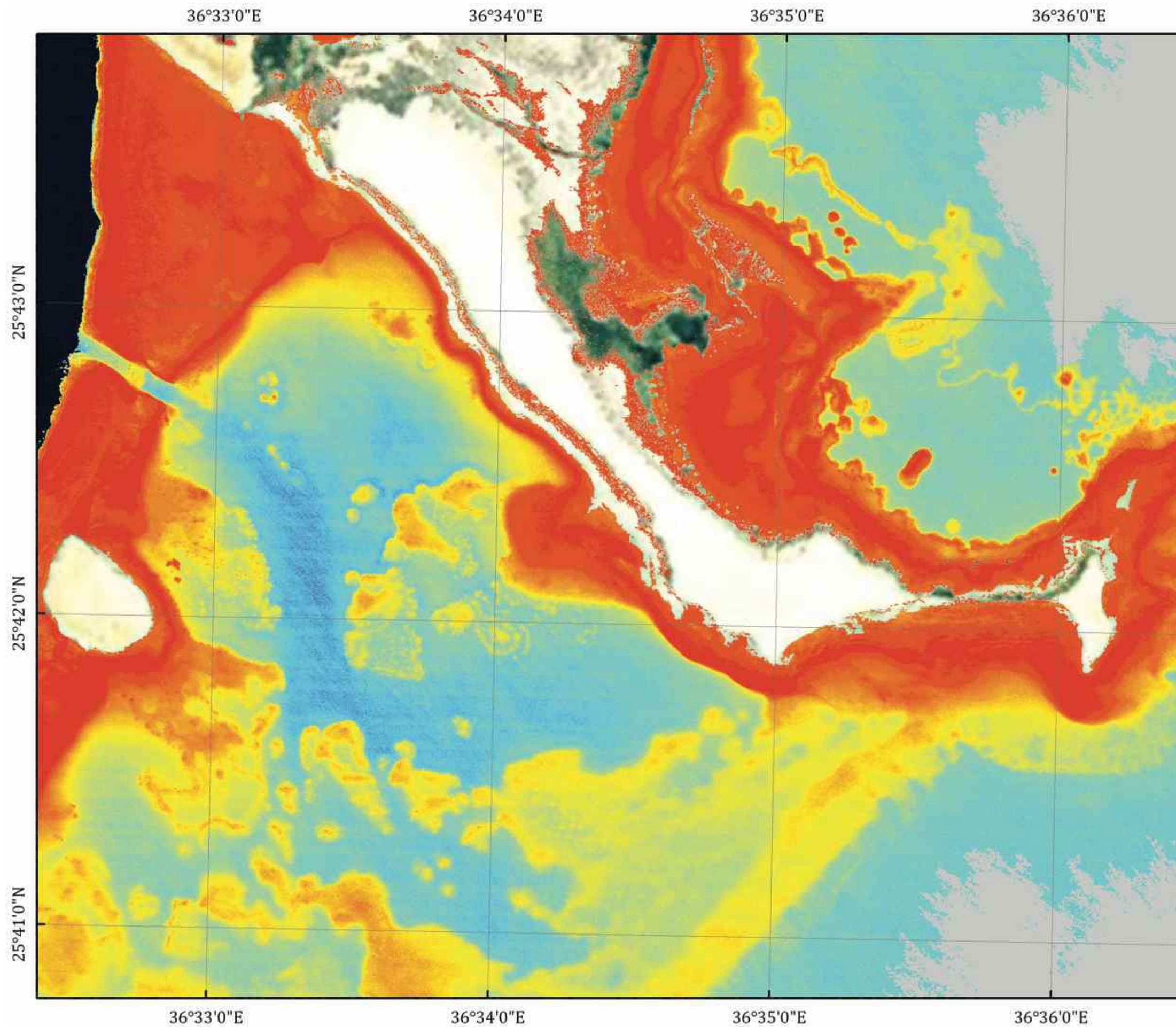
- موانئ الوجه
- قمة حافية مرجانية مواجهة للرياح
 - قمة حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
 - بقع أكروبيورا كثيفة
 - جبال عمودية
 - جدران مرجانية منخفضة بحددة
 - مرجان متناثر وحجارة ورمل
 - مسطحات العشائش البحرية
 - طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
 - طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
 - أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
 - قنوات مغارة
 - قيعان كربونية ومسطحات شعاب
 - طبقات رمال ضحلة
 - أهوار رملية عميقة
 - مسطحات رمل وطين
 - مياه عميقة



1:24,000







36°33'0"E

36°34'0"E

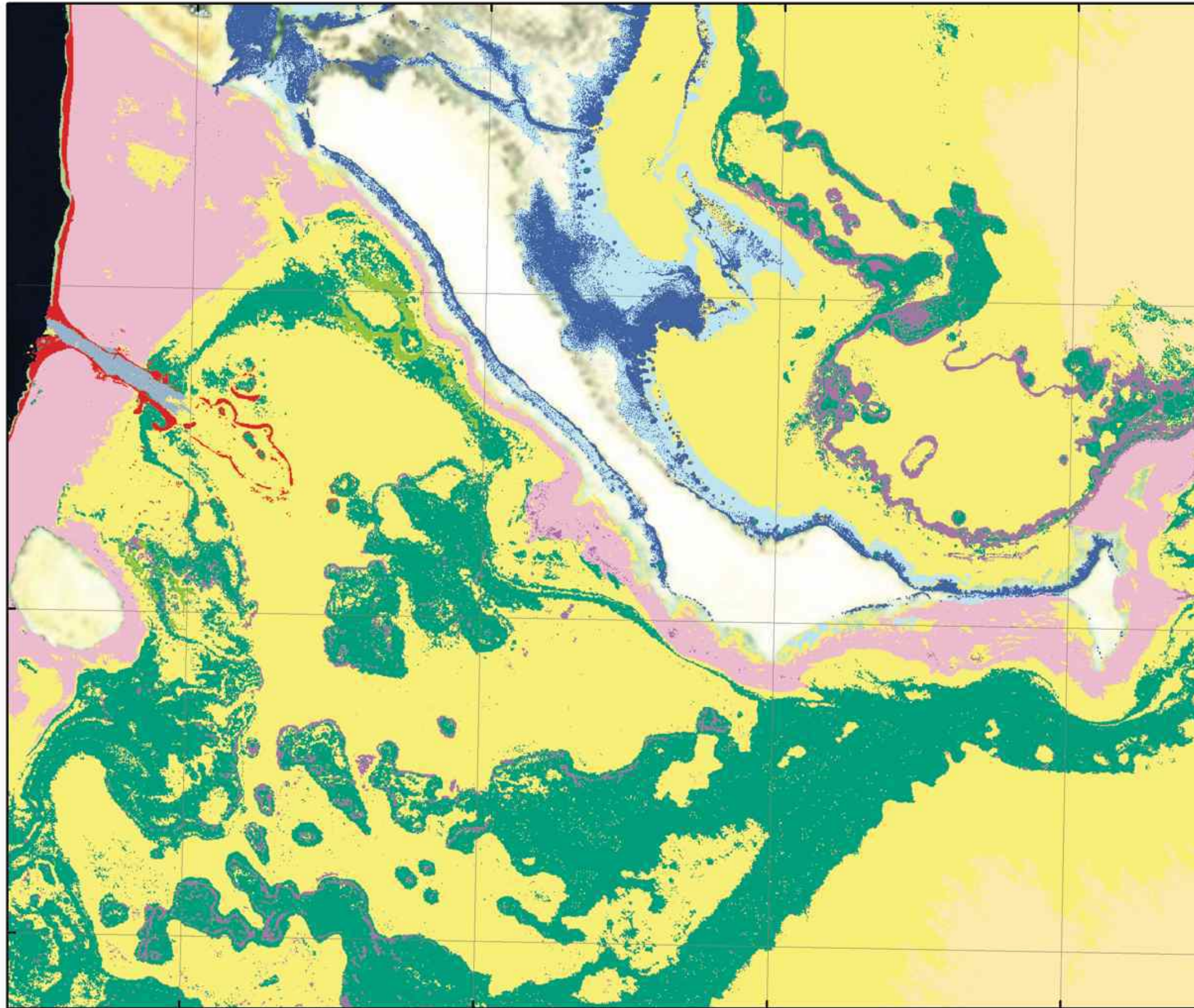
36°35'0"E

36°36'0"E

25°43'0"N

25°42'0"N

25°41'0"N



36°33'0"E

36°34'0"E

36°35'0"E

36°36'0"E

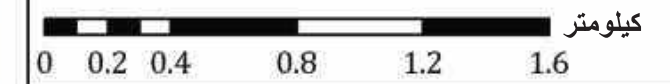


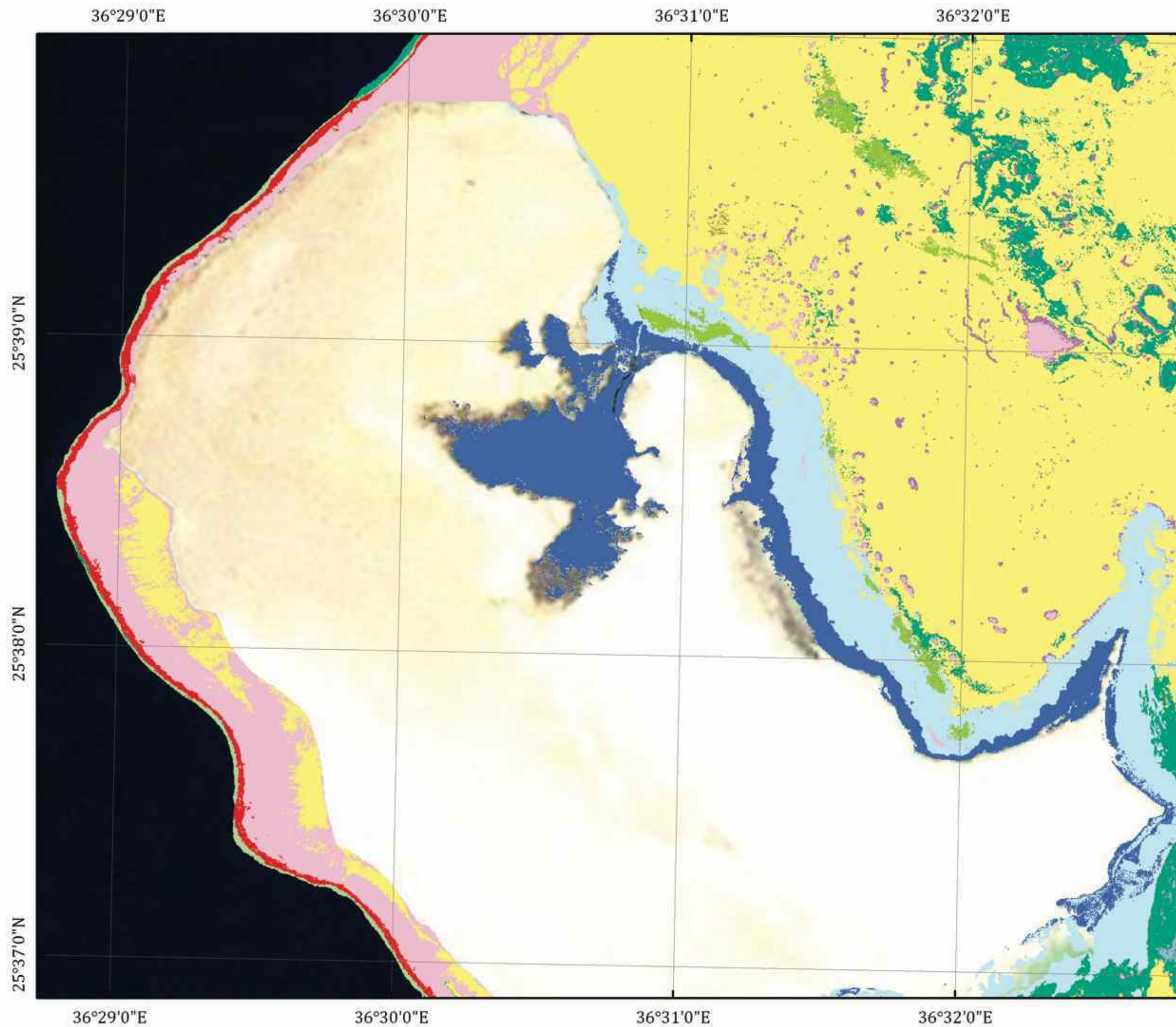
موانئ الوجه

- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة واسفنجيات على القيعان الصلبة
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000

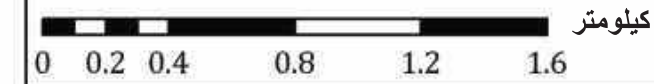


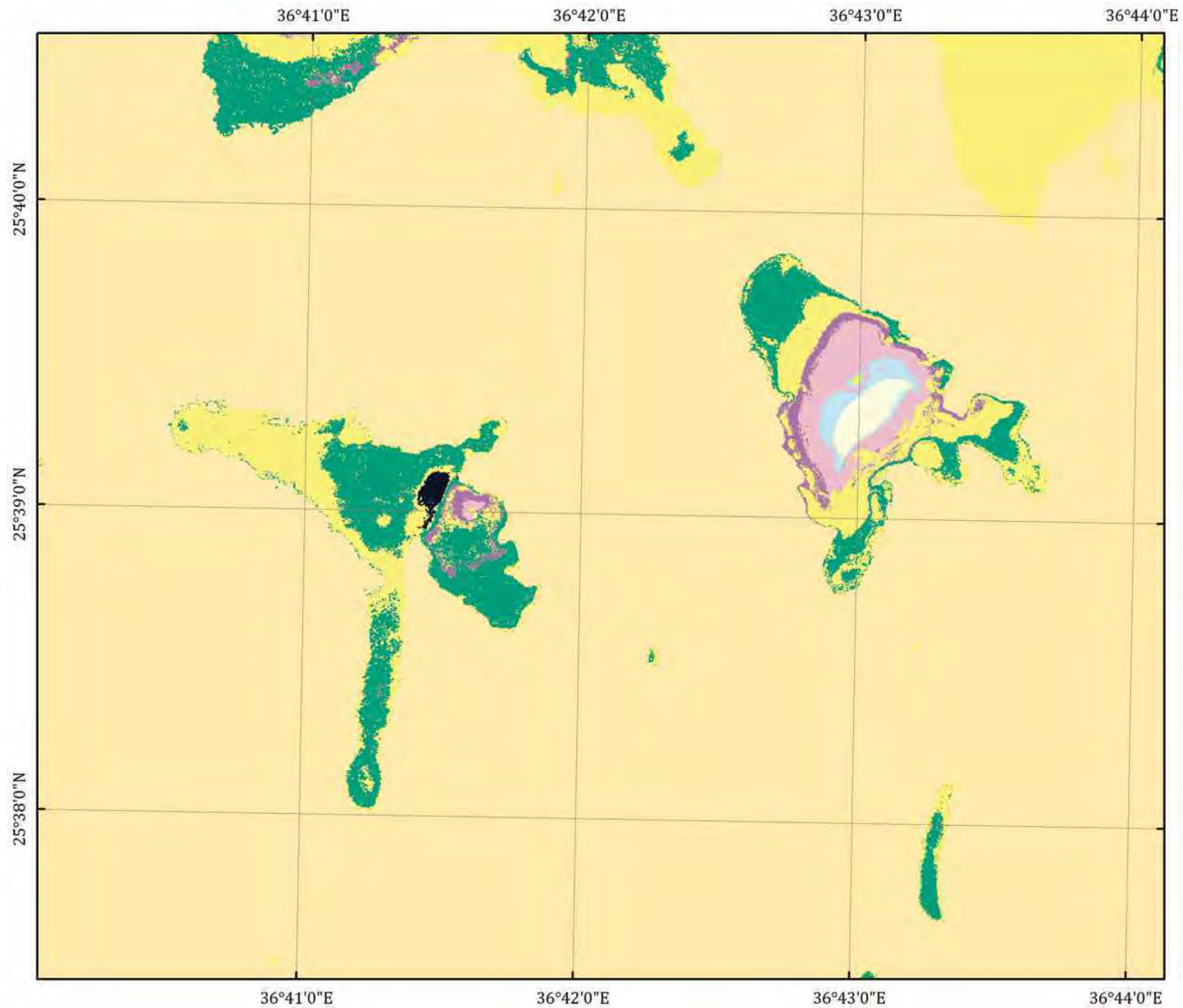


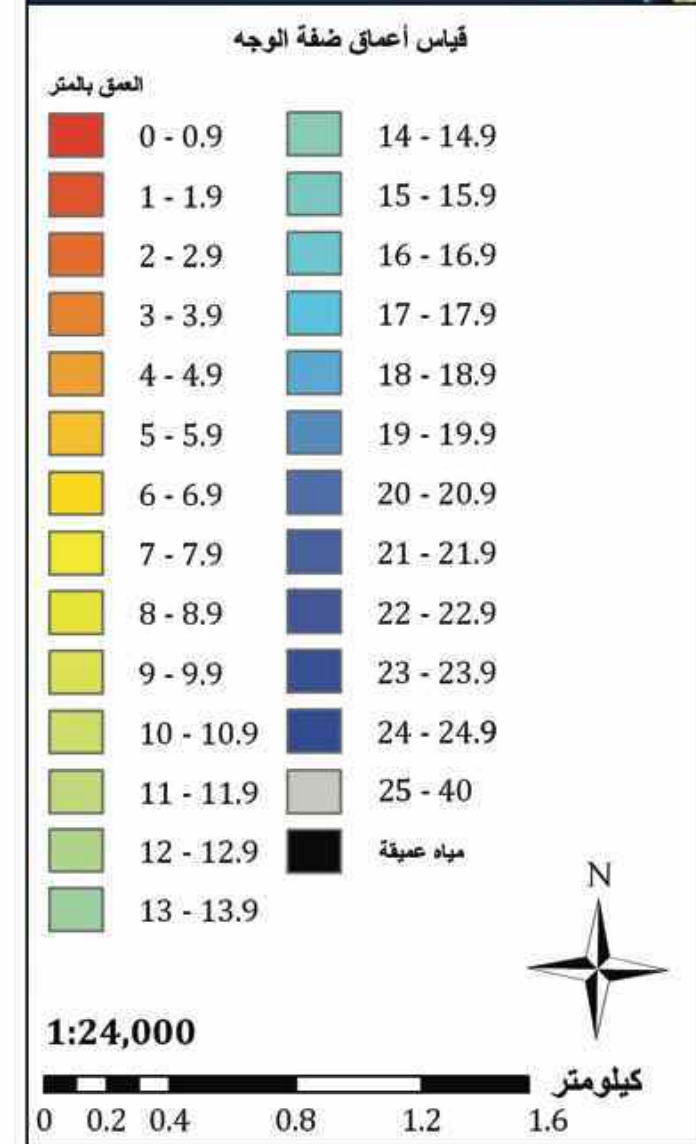
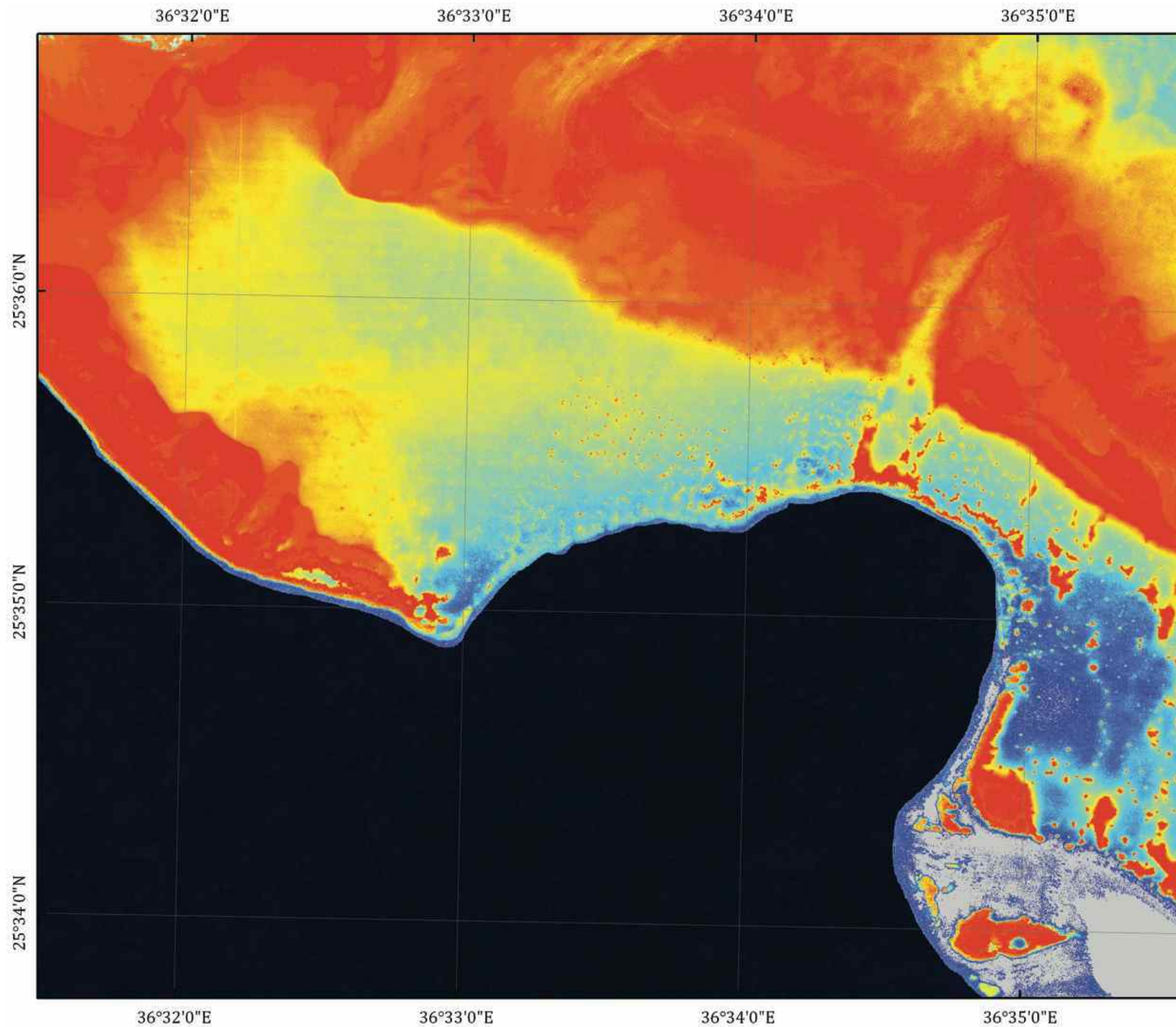
- موانئ الوجه
- قدم حافية مرجانية مواجهة للرياح
 - قدم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
 - بقع أكروبيورا كثيفة
 - هياكل عمودية
 - جدران مرجانية منخفضة بحددة
 - مرجان متناثر وحجارة ورمل
 - مسطحات الحشائش البحرية
 - طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
 - طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
 - أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
 - قنوات معزاة
 - قيعان كربونية ومسطحات شعاب
 - طبقات رمال ضحلة
 - أهوار رملية عميقة
 - مسطحات رمل وطين
 - مياه عميقة

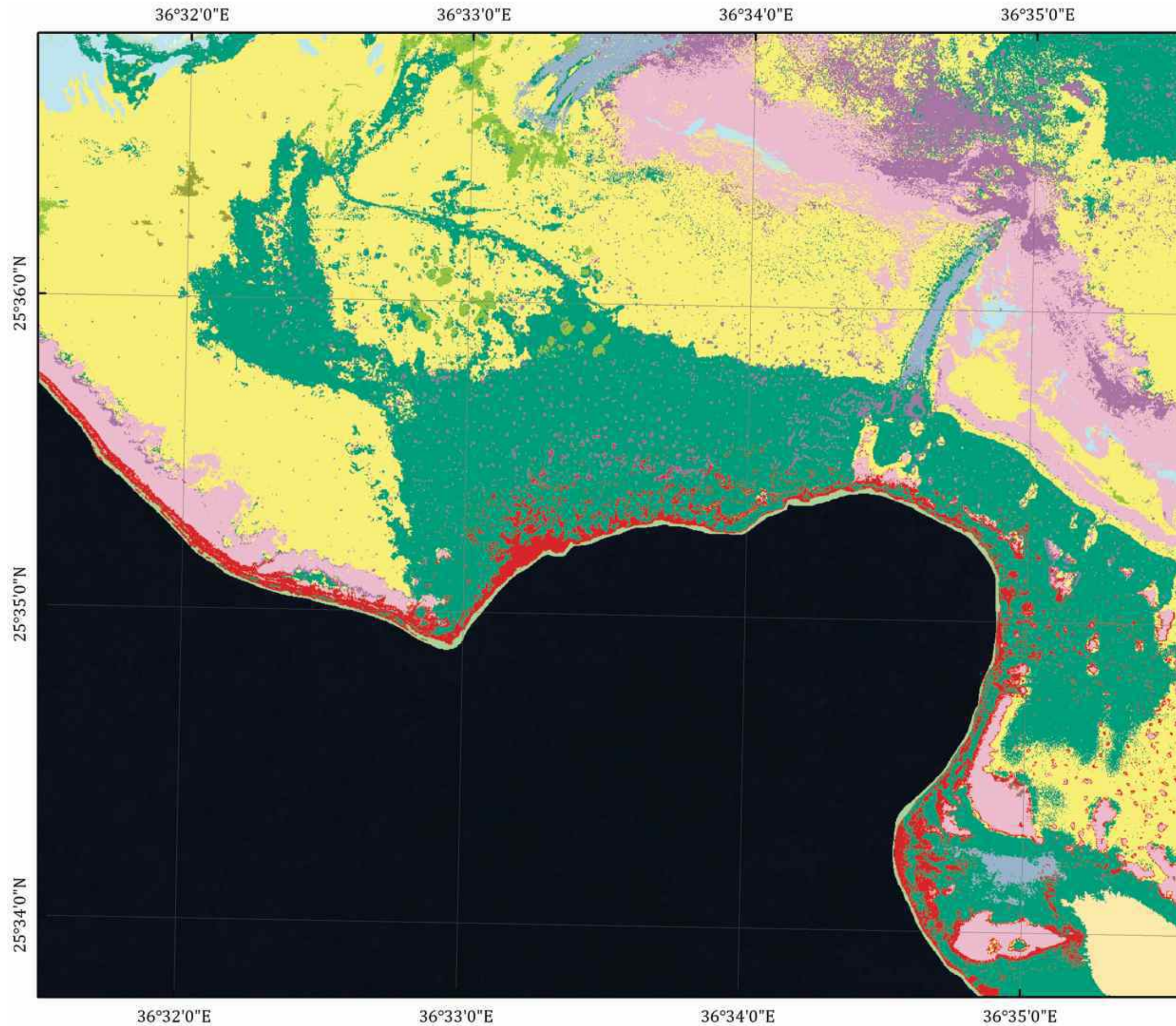


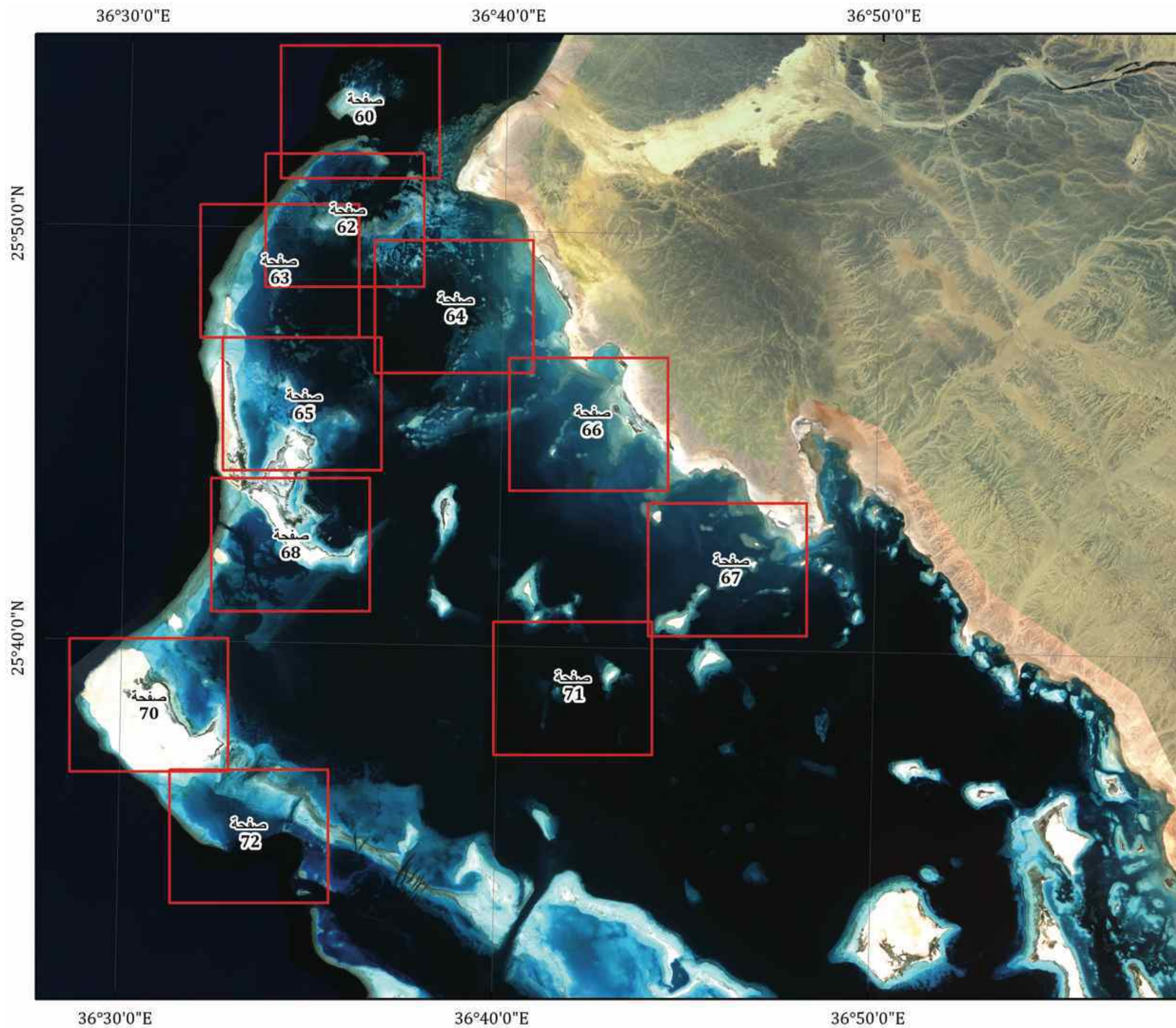
1:24,000

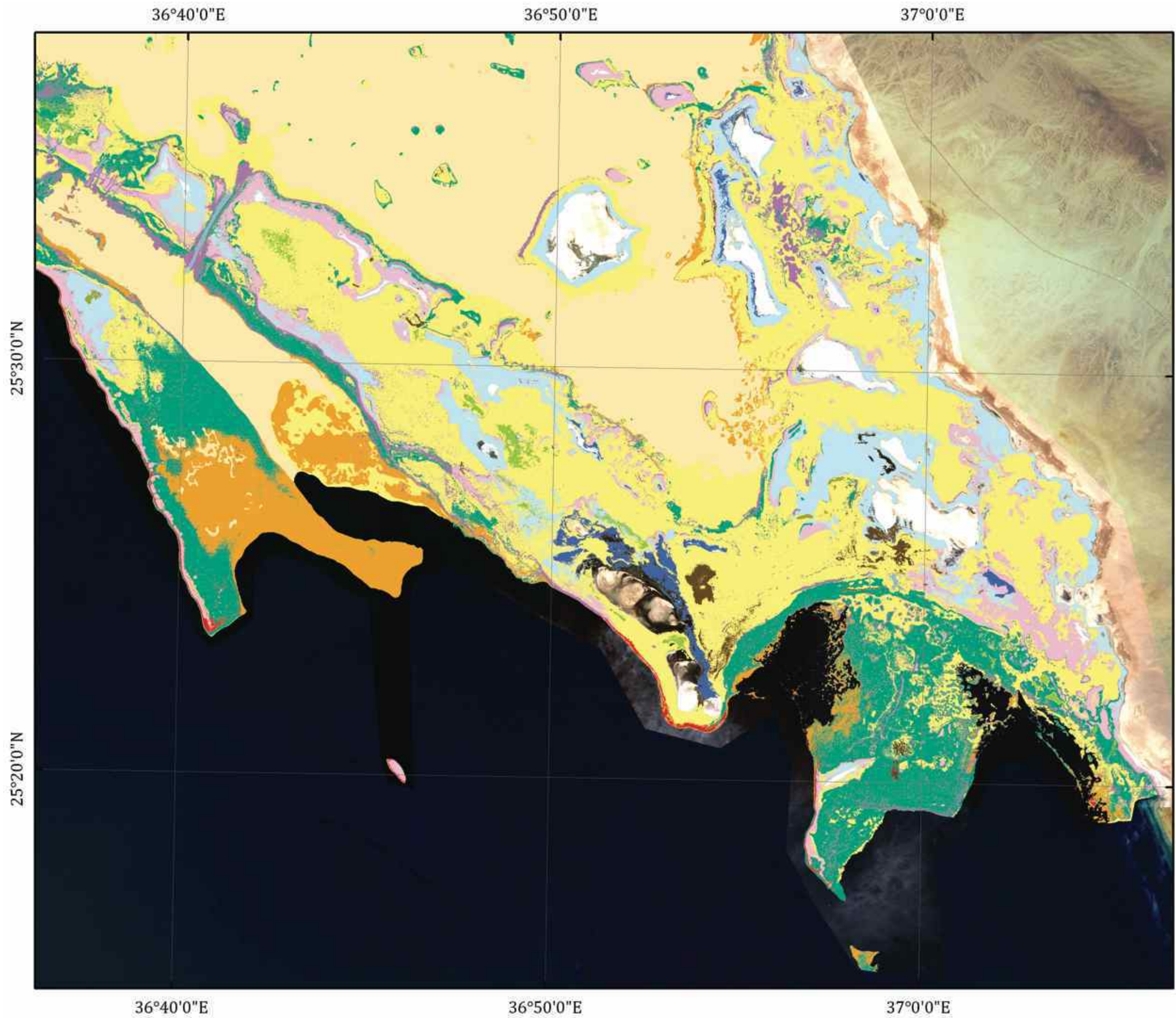


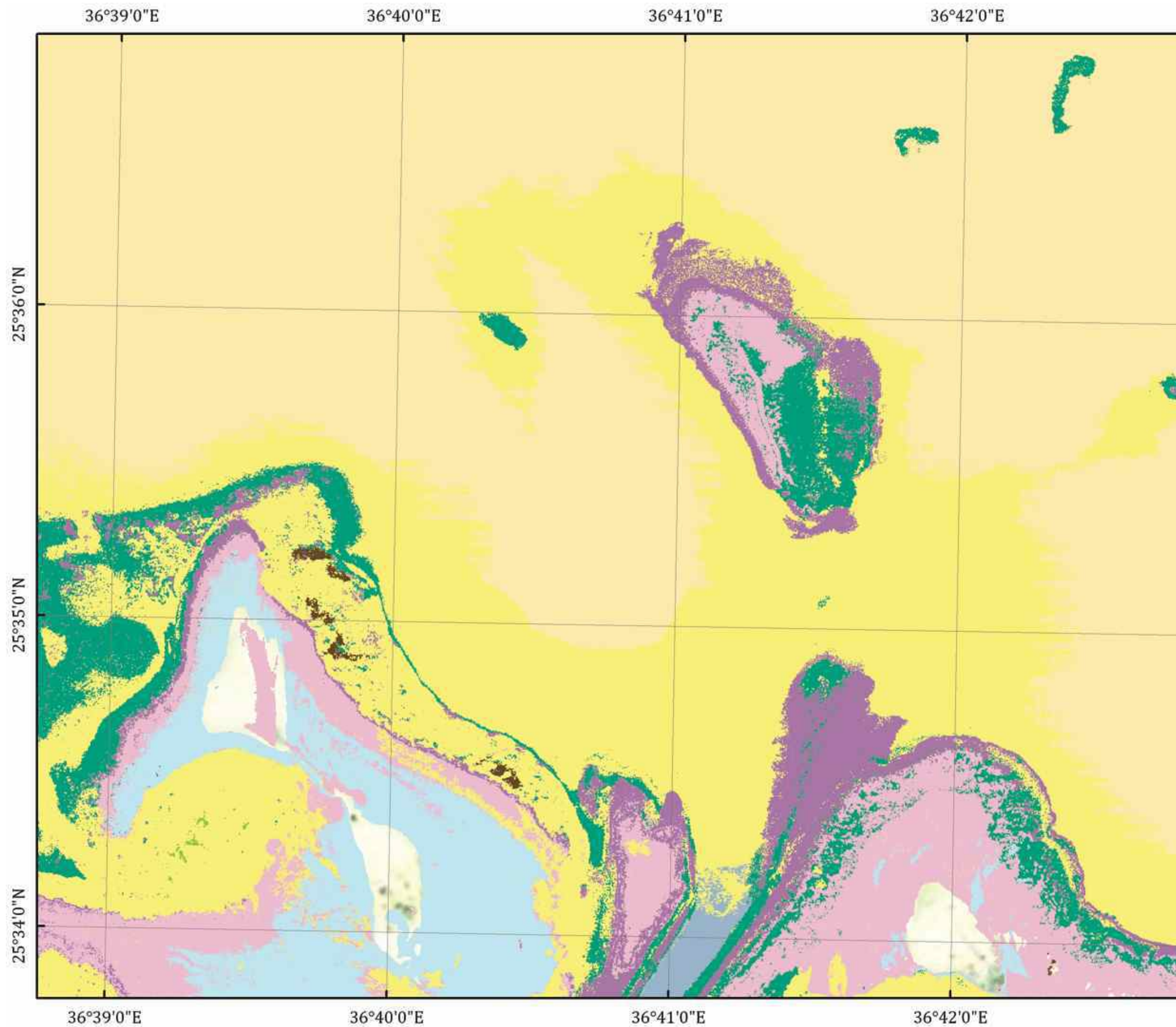








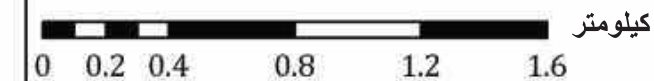


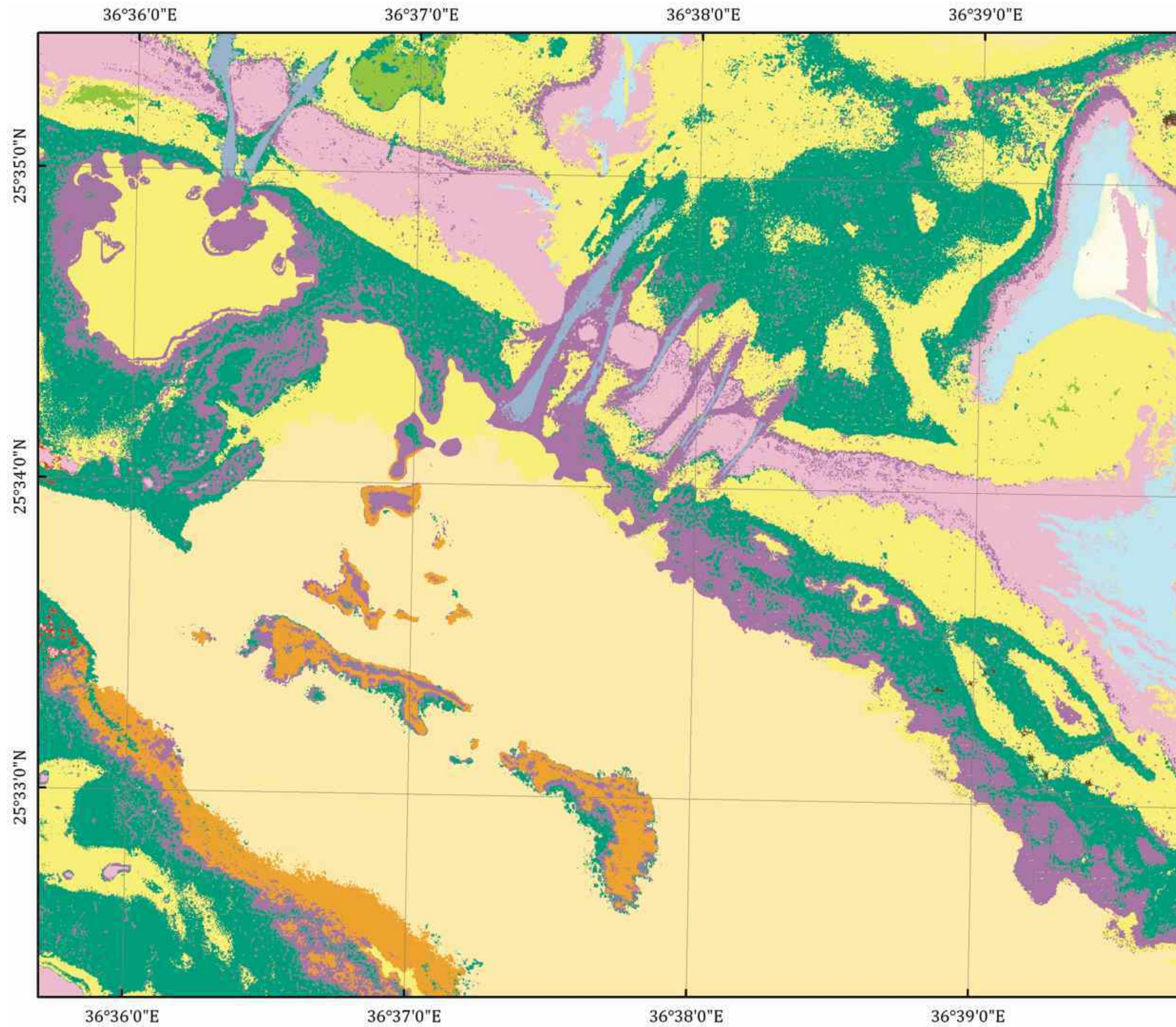


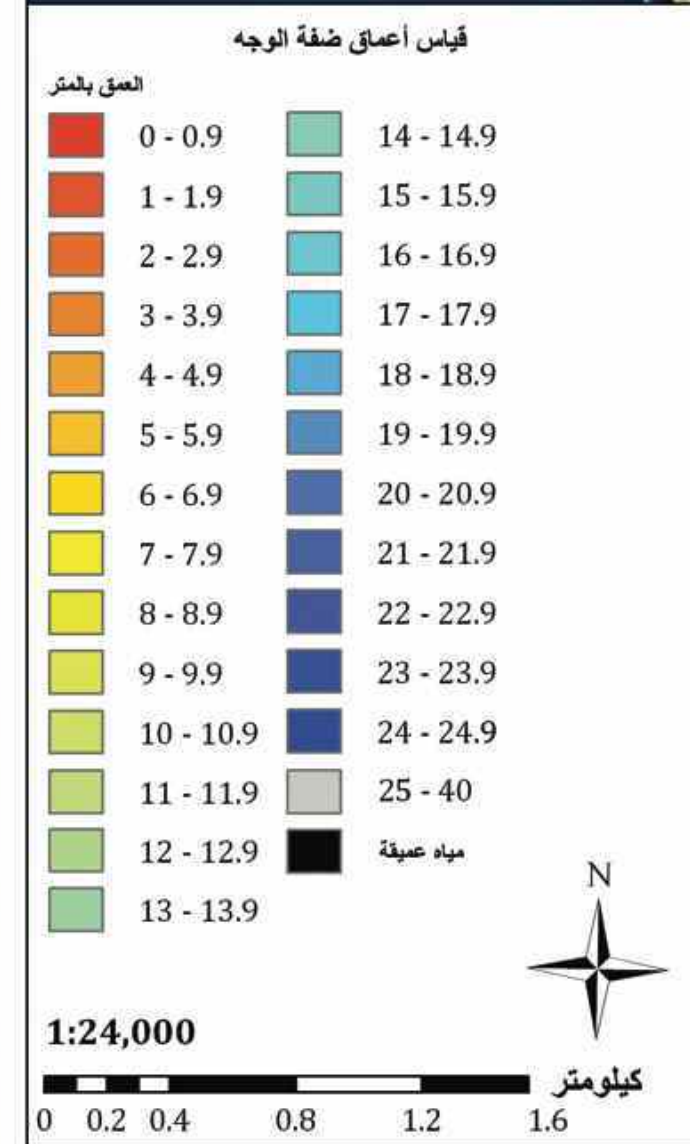
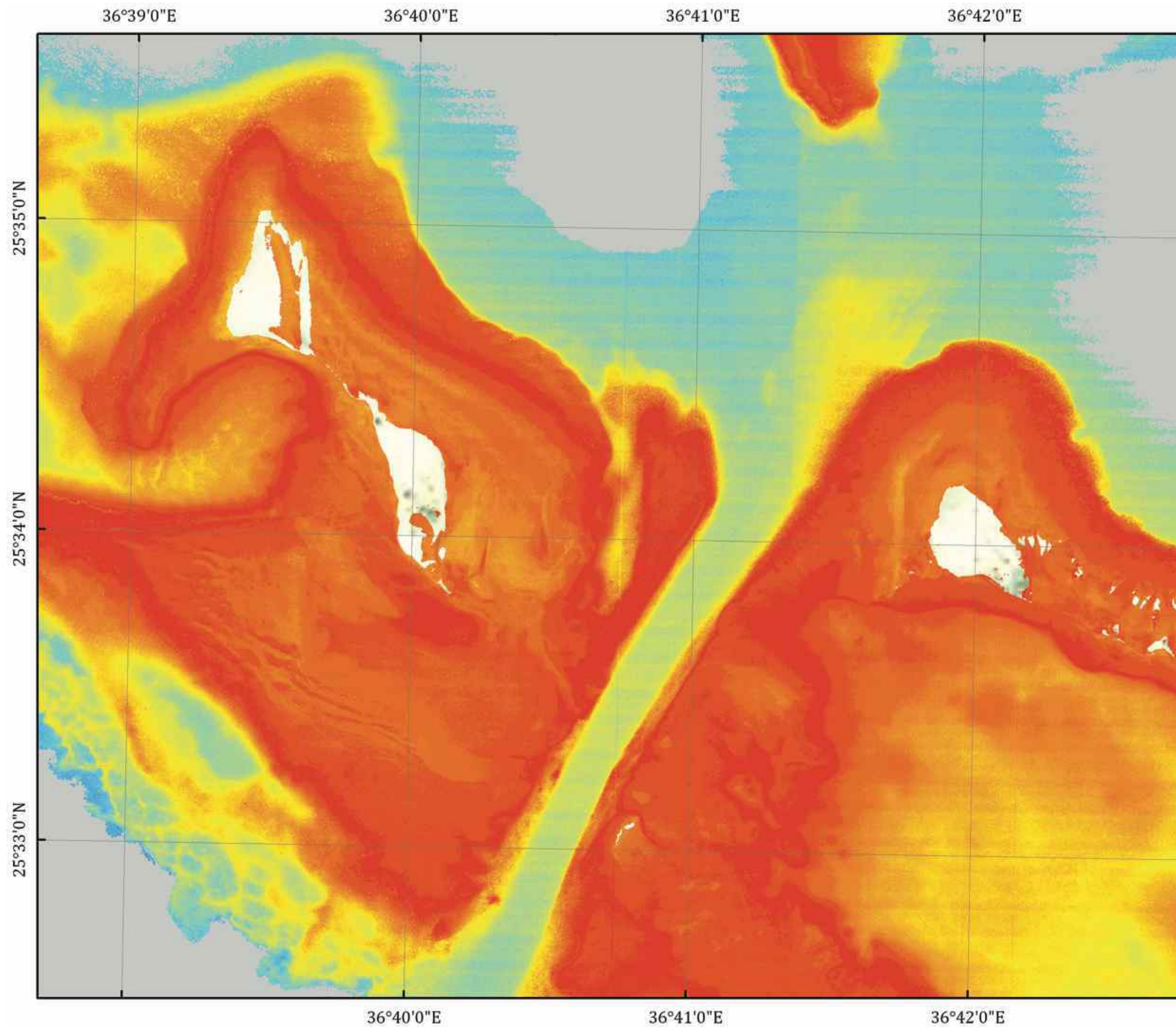
- موانئ الوجه
- قدم حافية مرجانية مواجهة للرياح
 - قدم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
 - بقع أكروبيورا كثيفة
 - هيكل عمودية
 - جدران مرجانية منخفضة بحددة
 - مرجان متناثر وحجارة ورمل
 - مسطحات الحشائش البحرية
 - طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
 - طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
 - أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
 - قنوات معزاة
 - قيعان كربونية ومسطحات شعاب
 - طبقات رمال ضحلة
 - أهوار رملية عميقة
 - مسطحات رمل وطنين
 - مياه عميقة

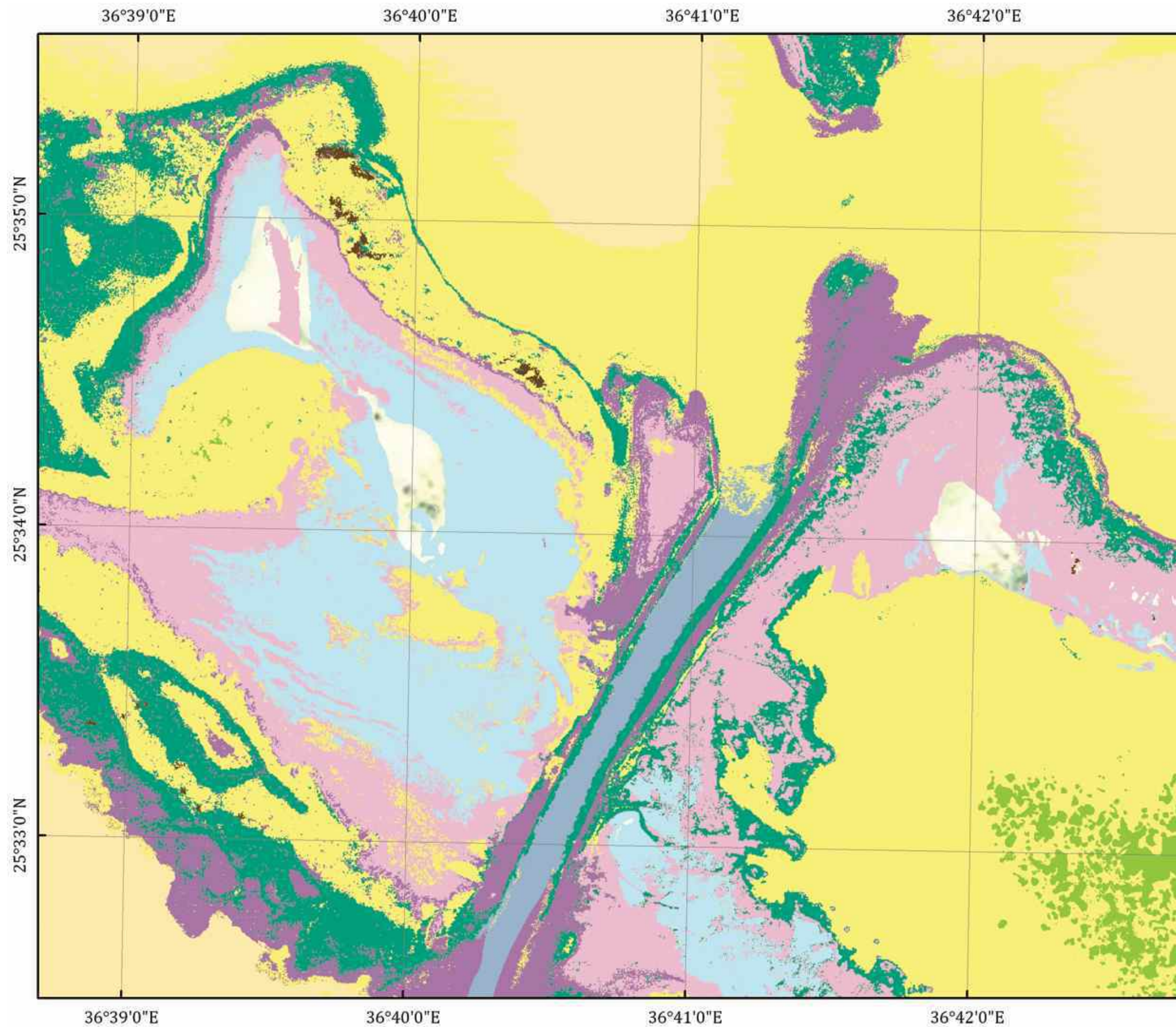


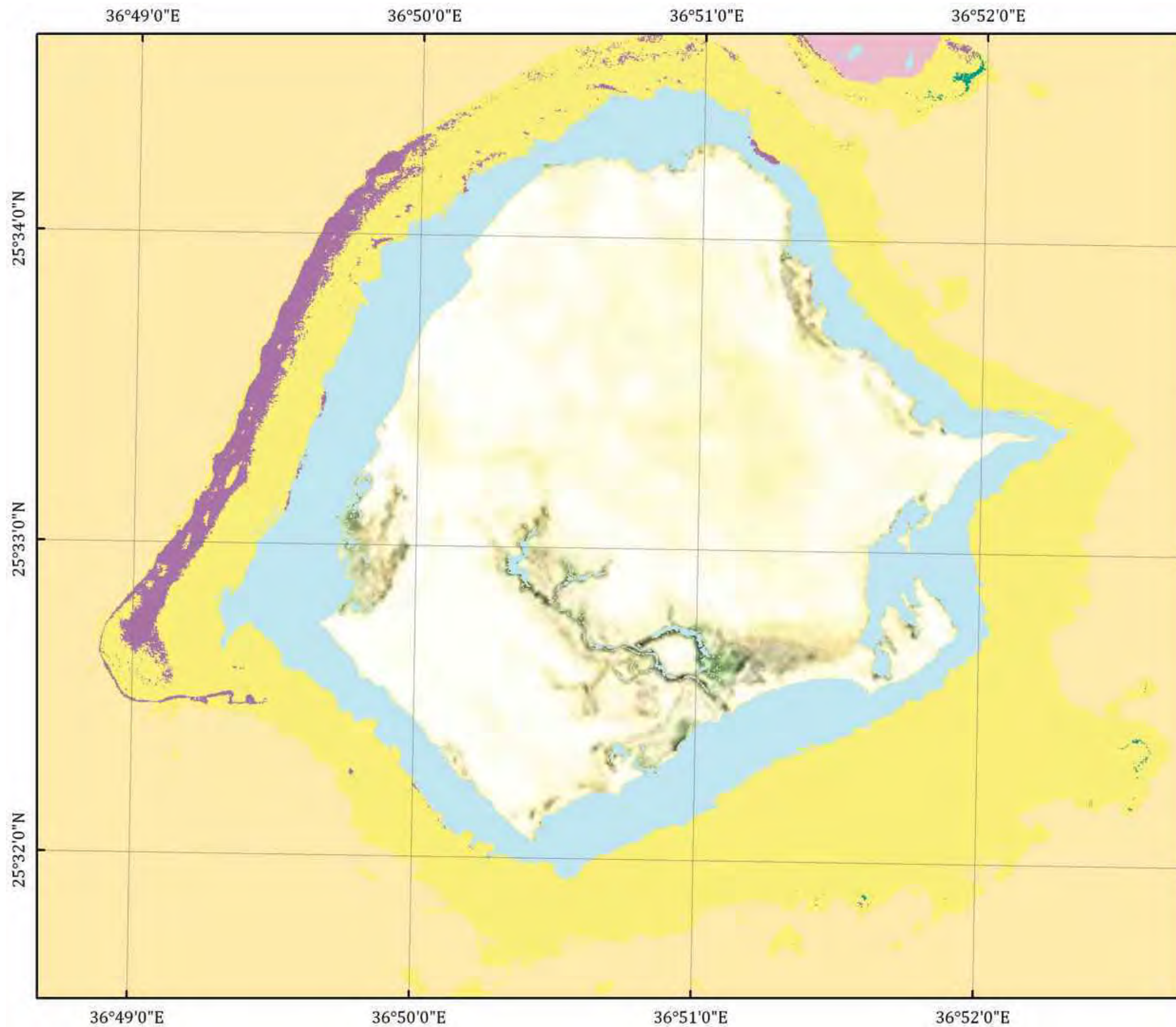
1:24,000







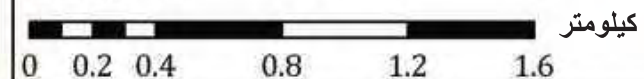


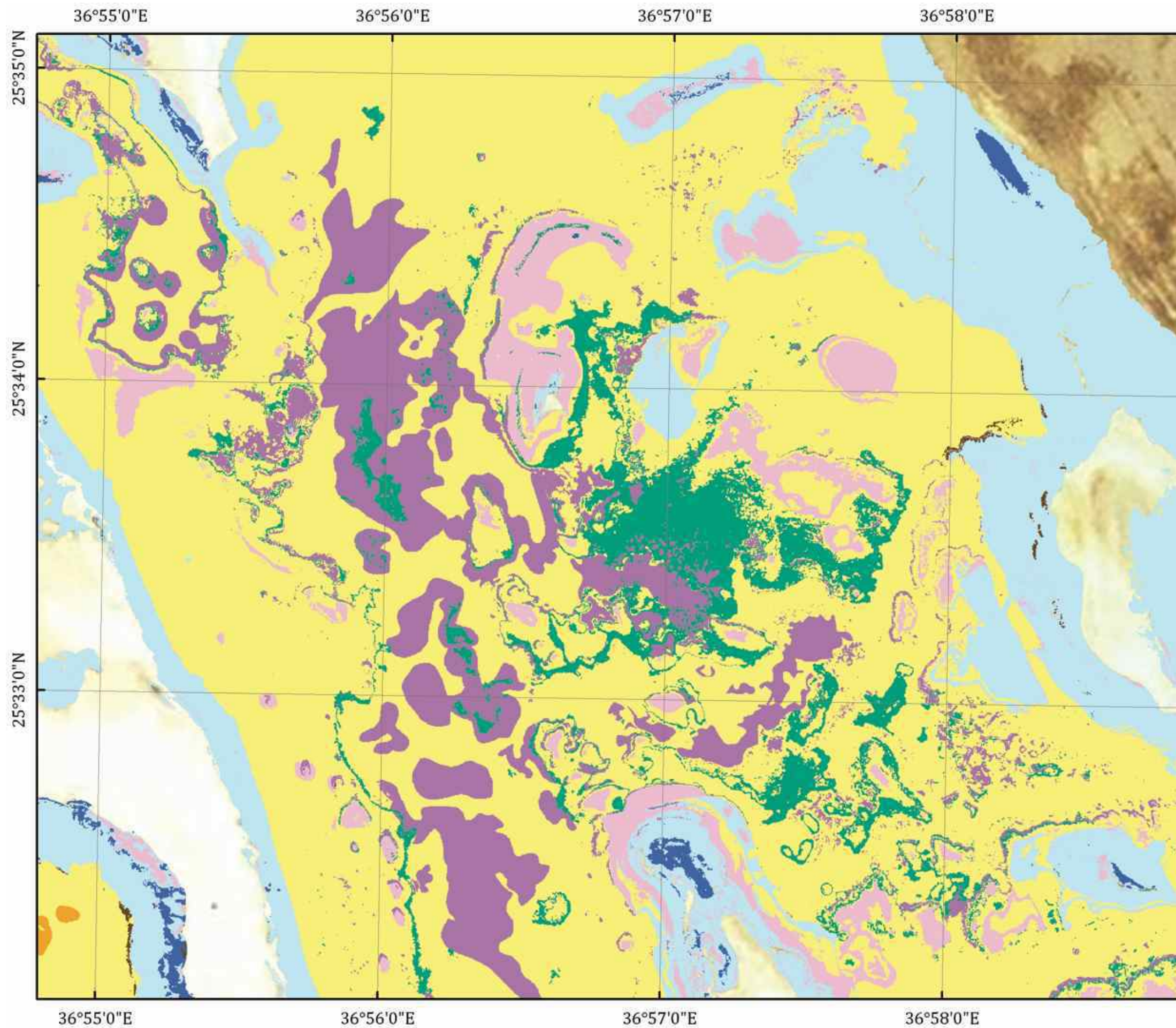


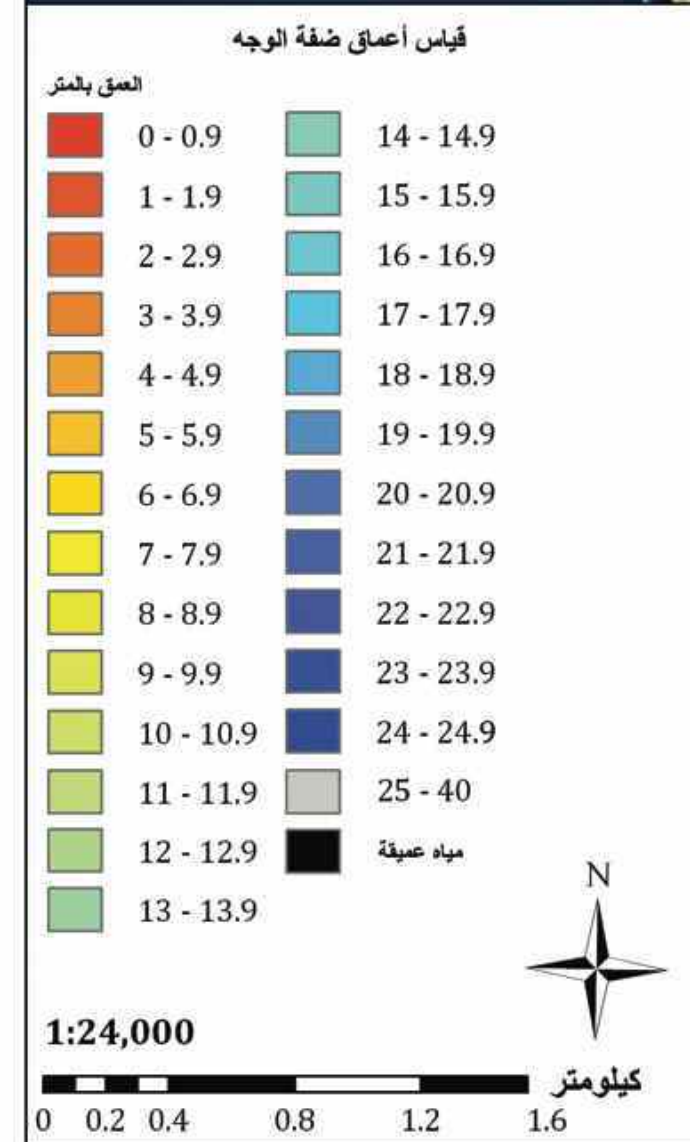
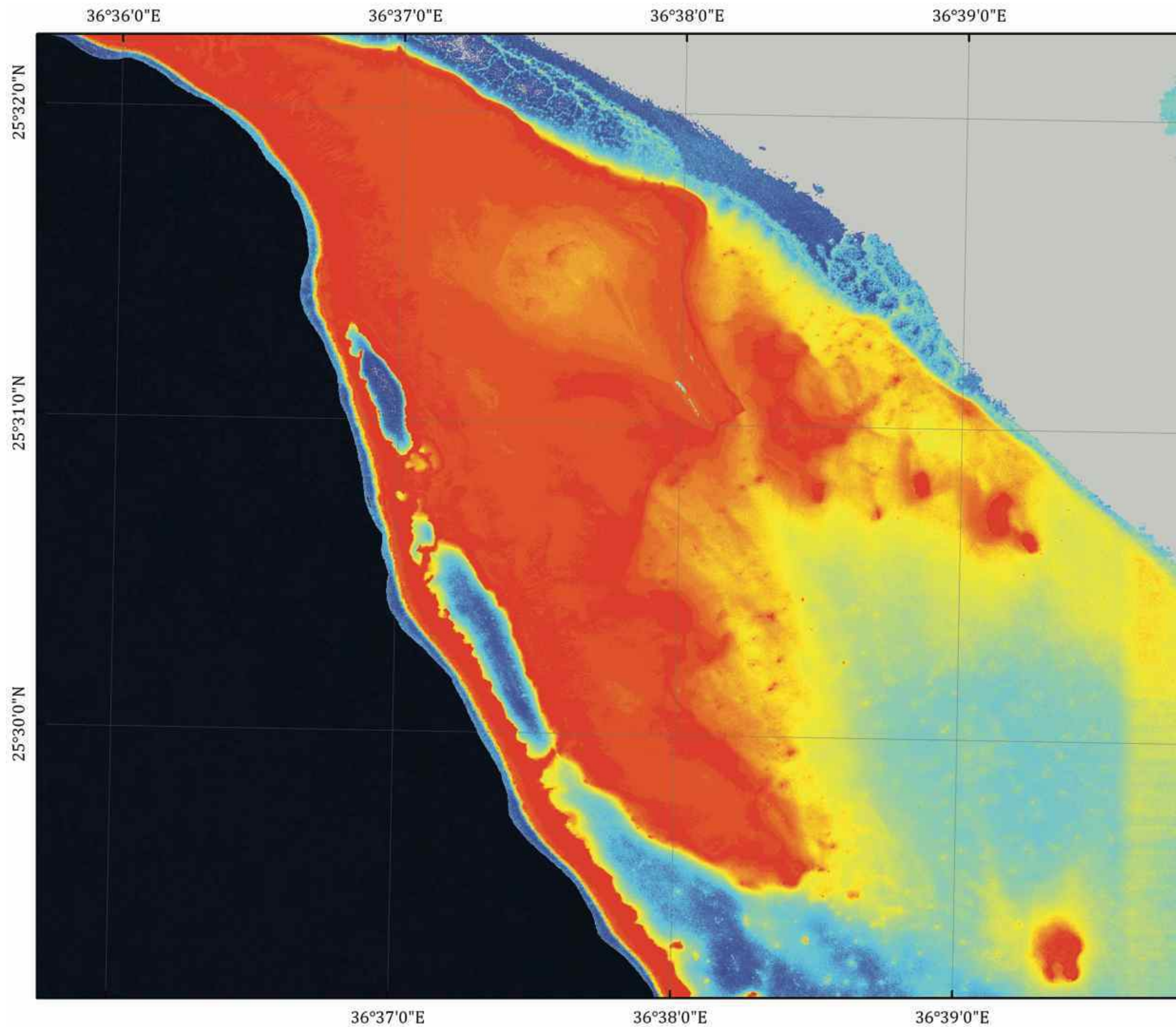
- موانئ الوجه
- قدم حافية مرجانية مواجهة للرياح
 - قدم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
 - بقع أكروپورا كثيفة
 - هياكل عمودية
 - جدران مرجانية منخفضة بحددة
 - مرجان متناثر وحجارة ورمل
 - مسطحات الحشائش البحرية
 - طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
 - طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمل
 - أشجار الشورى (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
 - قنوات معرأة
 - قيعان كربونية ومسطحات شعاب
 - طبقات رمال ضحلة
 - أهوار رملية عميقة
 - مسطحات رمل وطين
 - مياه عميقة

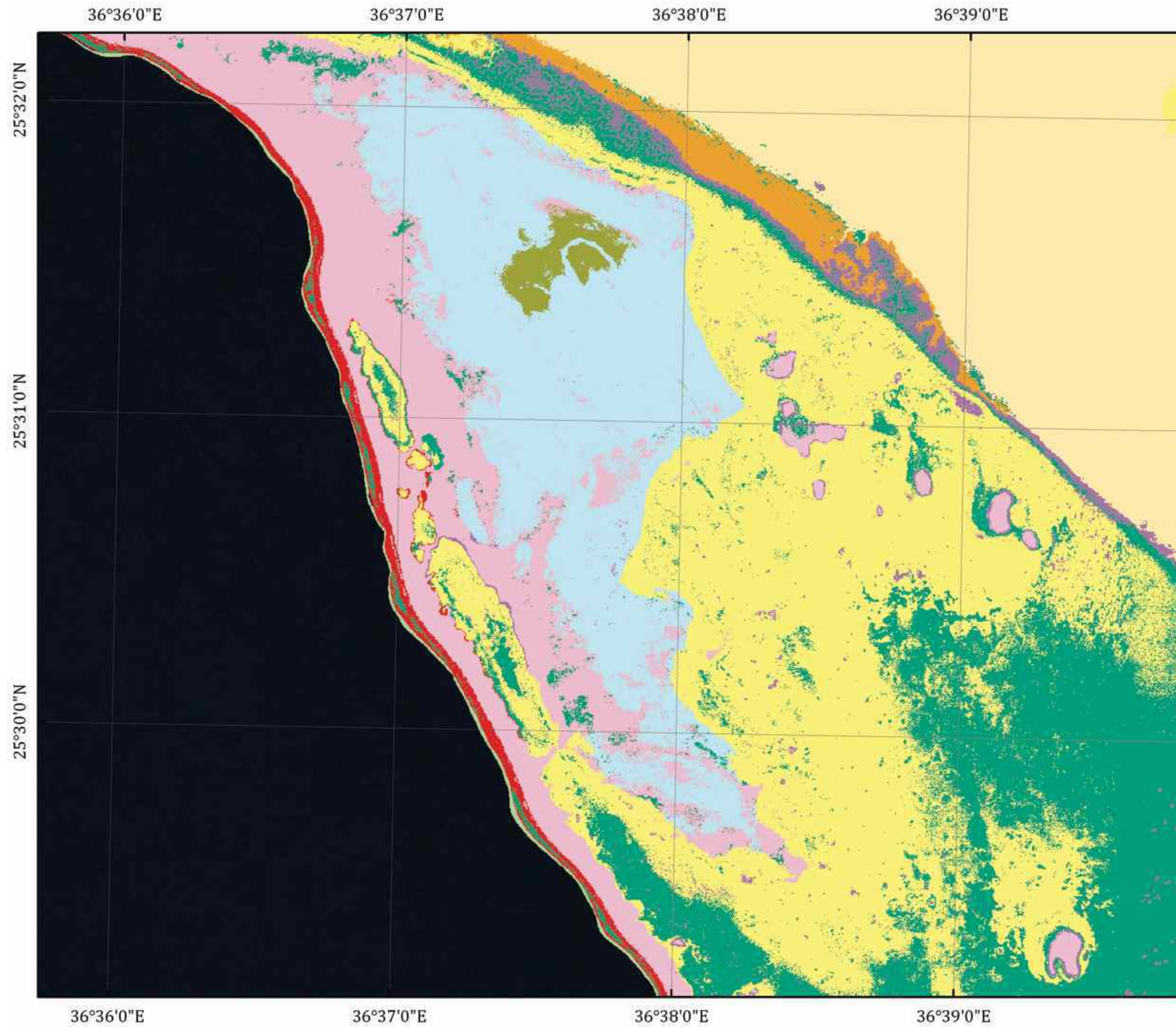


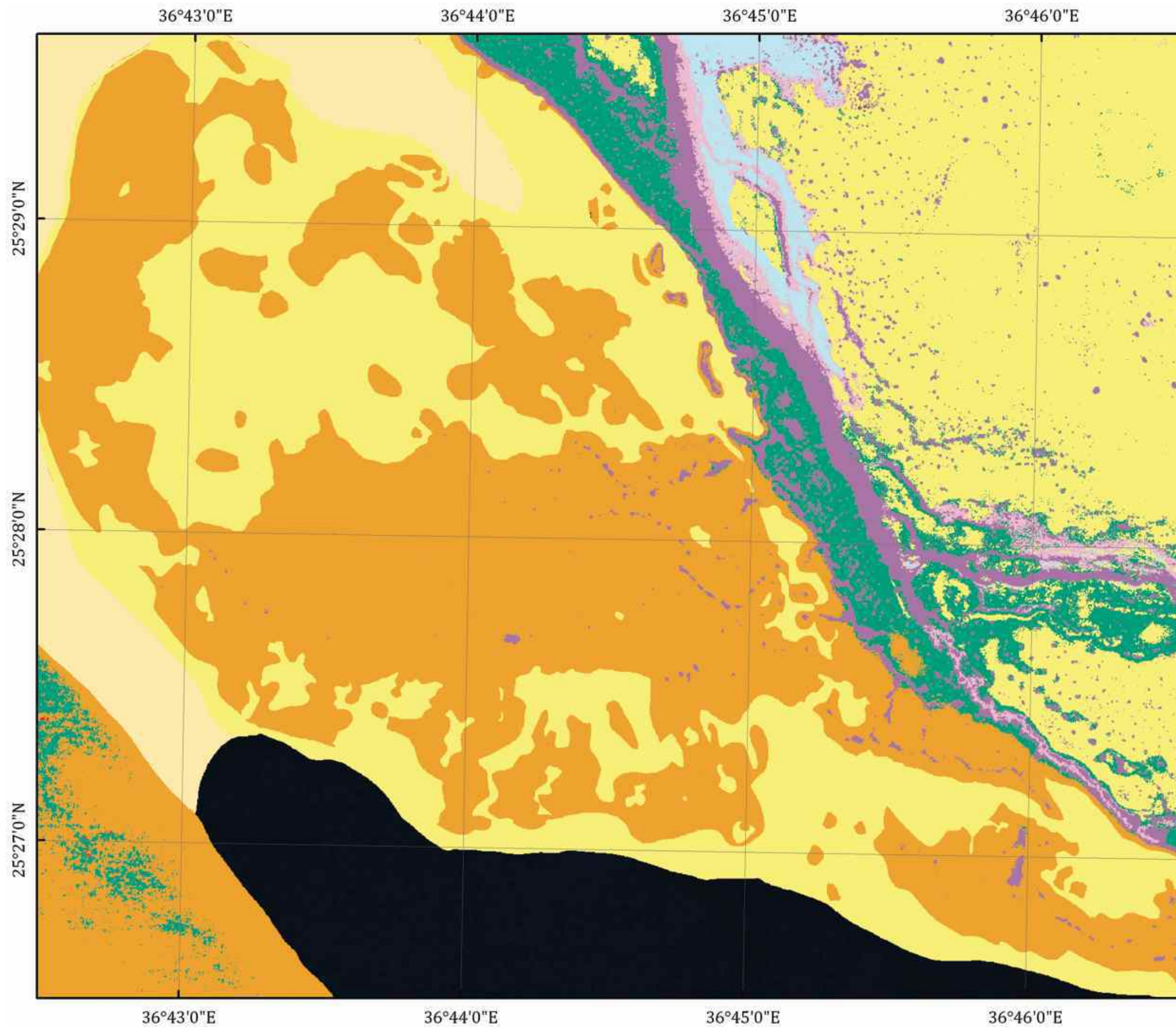
1:24,000







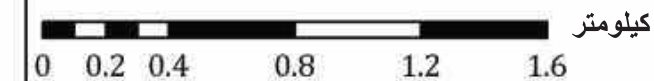




- موانئ الوجه
- قدم حافية مرجانية مواجهة للرياح
 - قدم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
 - بقع أكروبيورا كثيفة
 - هياكل عمودية
 - جدران مرجانية منخفضة بحددة
 - مرجان متناثر وحجارة ورمل
 - مسطحات العشائش البحرية
 - طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
 - طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
 - أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
 - قنوات مغارة
 - قيعان كربونية ومسطحات شعاب
 - طبقات رمال ضحلة
 - أهوار رملية عميقة
 - مسطحات رمل وطين
 - مياه عميقة



1:24,000



36°49'0"E

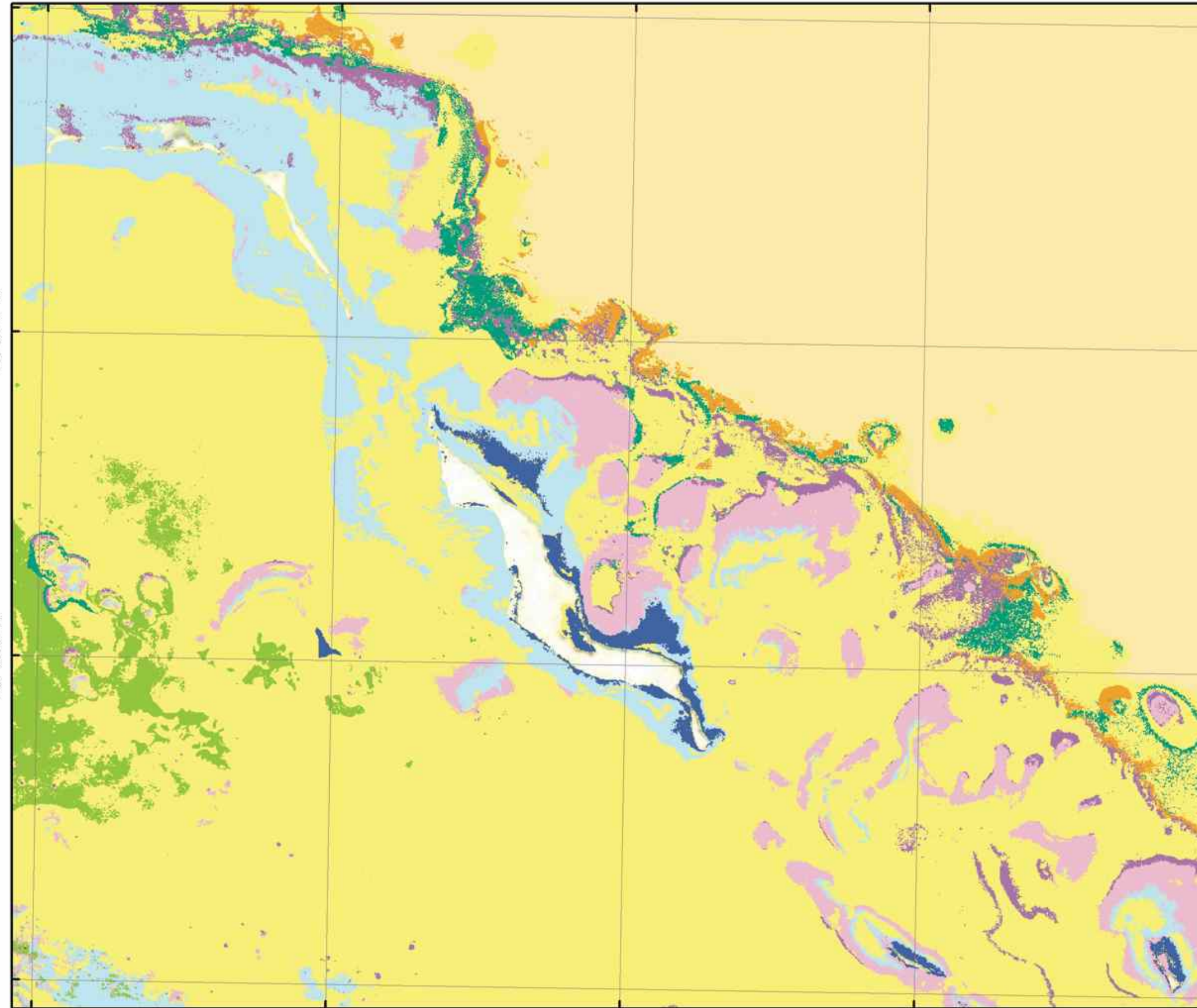
36°50'0"E

36°51'0"E

36°52'0"E

25°29'0"N

25°28'0"N



36°49'0"E

36°50'0"E

36°51'0"E

36°52'0"E

36°53'0"E

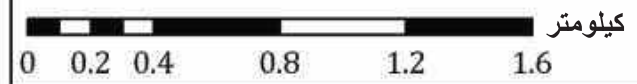


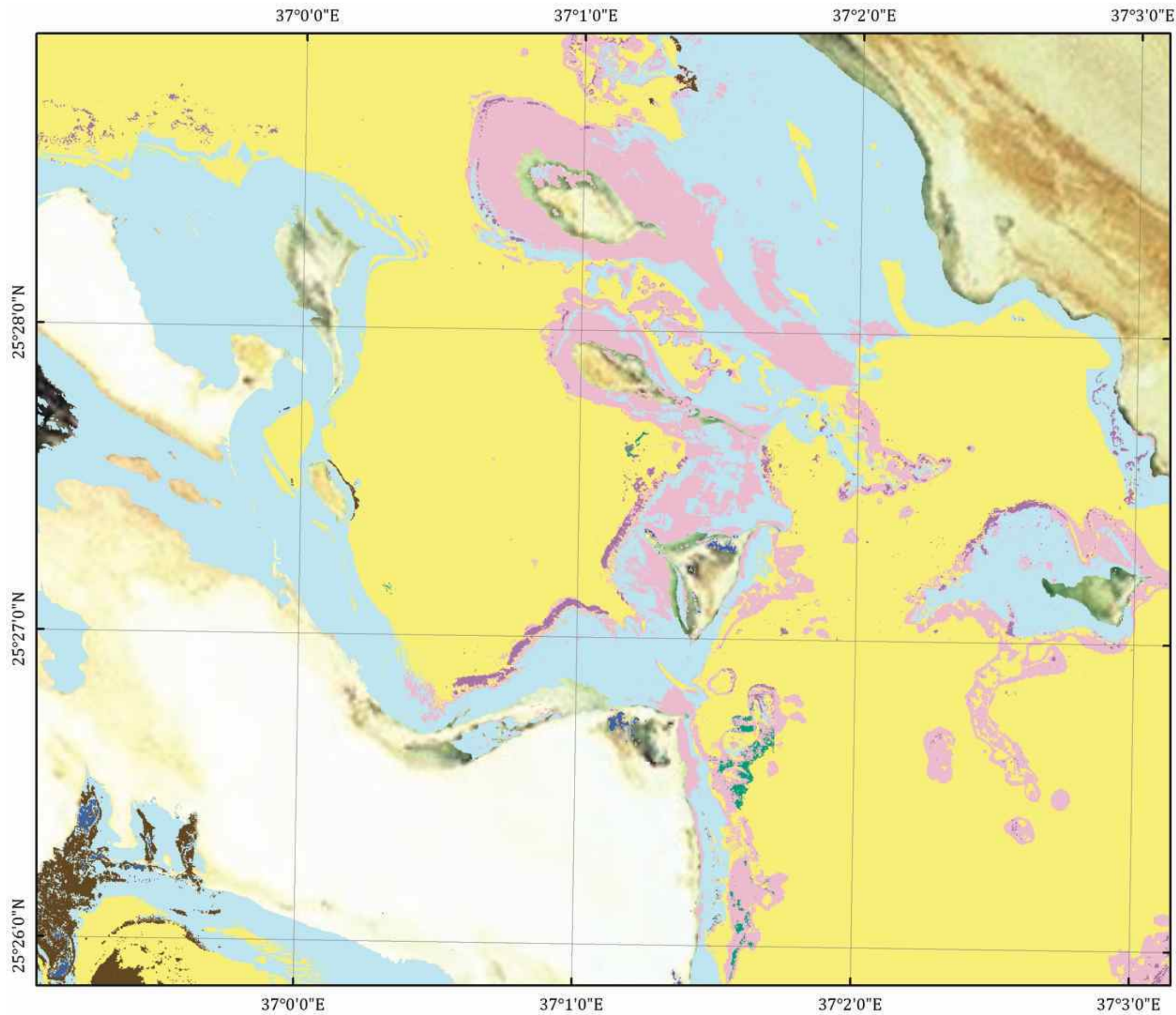
موائل الوجه

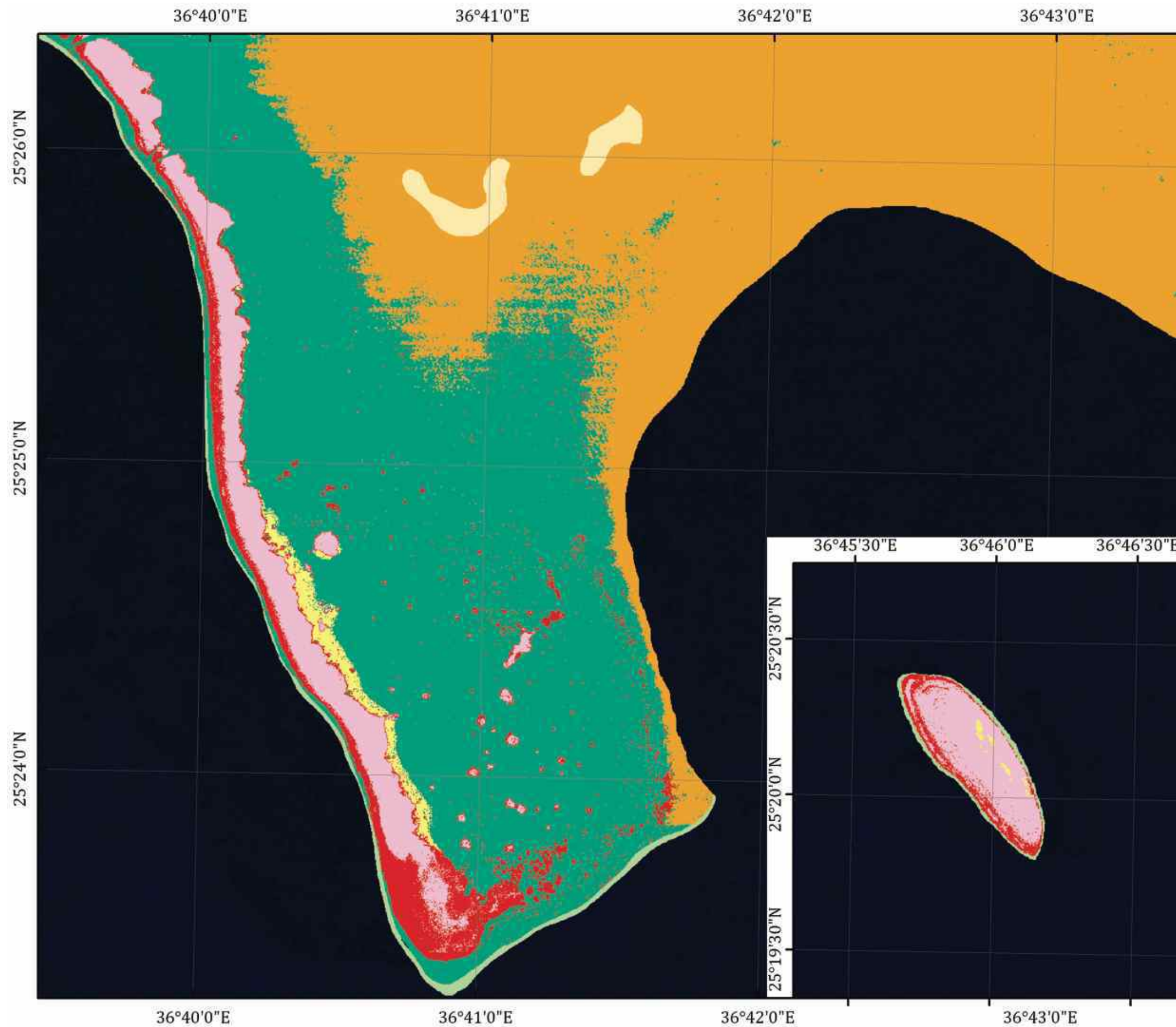
- قاع حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قاع حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروپورا كثيفة
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة واسفنجيات على القيعان الصلبة
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قنوات معرأة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000





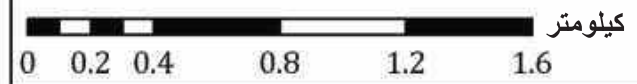


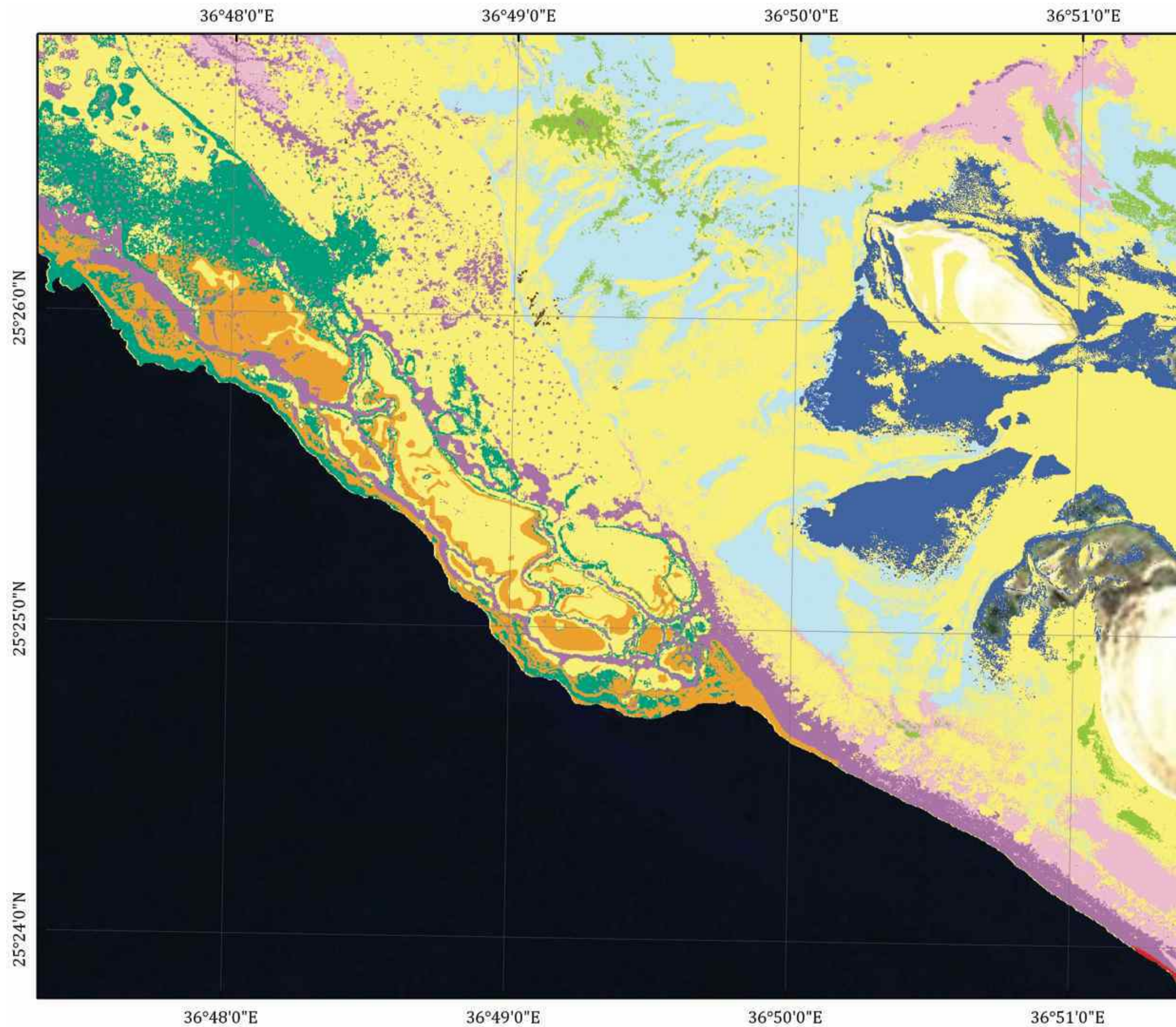
موانئ الوجه

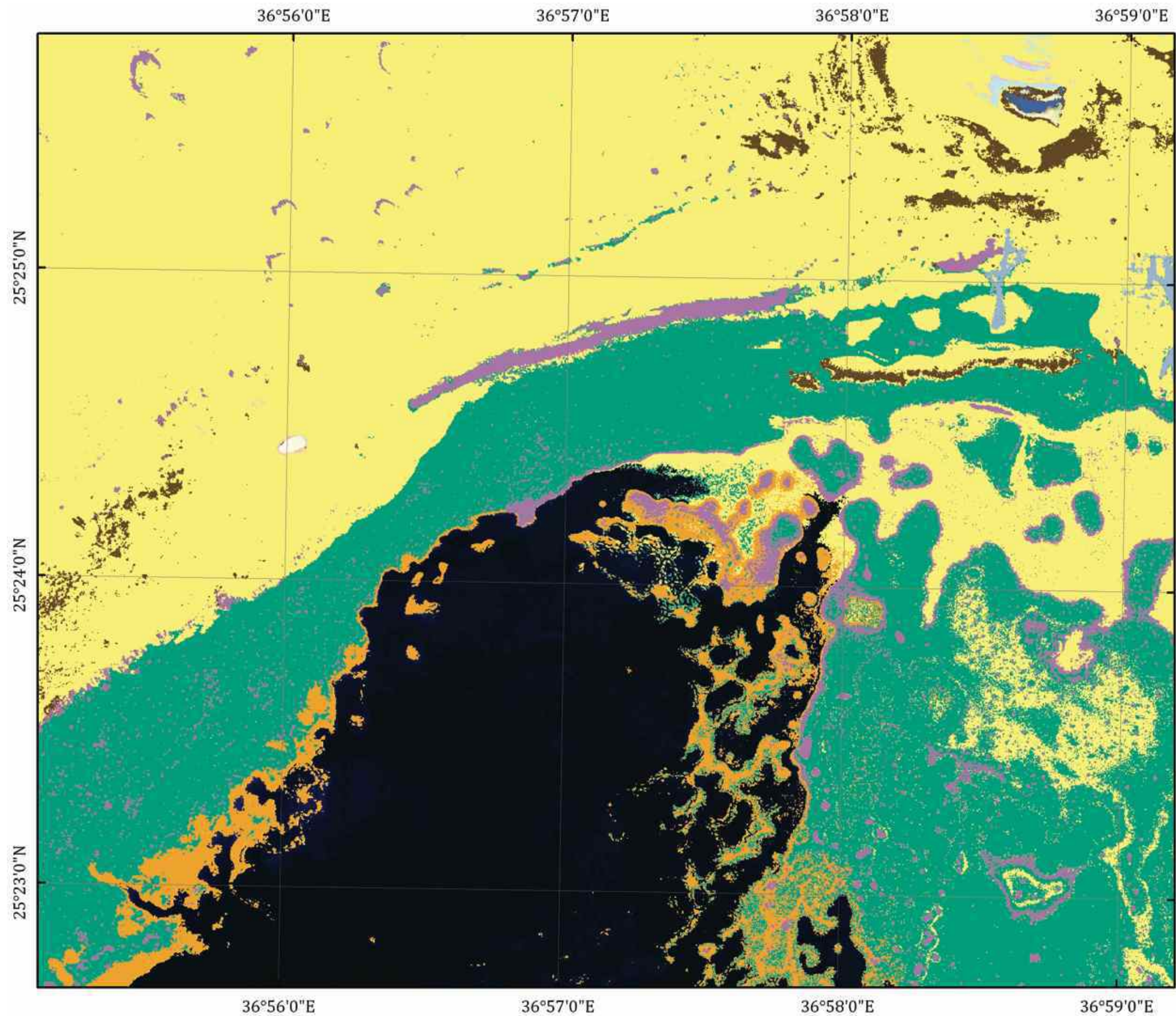
- قبة حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قبة حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبوليا كثيفة
- هياكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قنوات معزاة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة

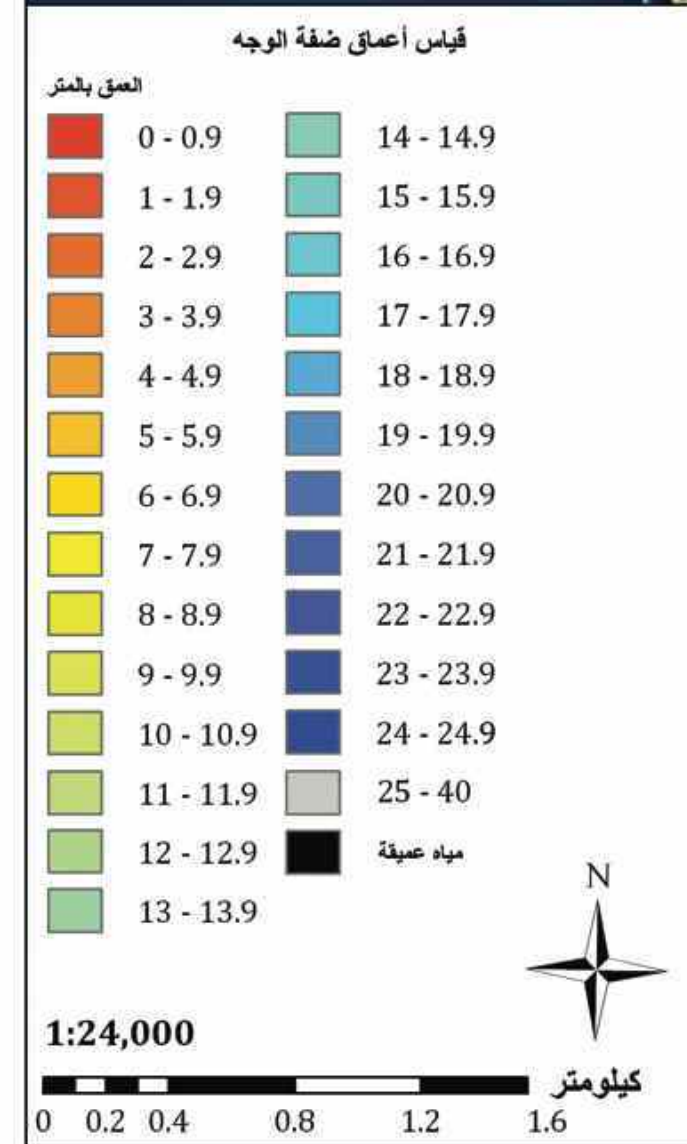
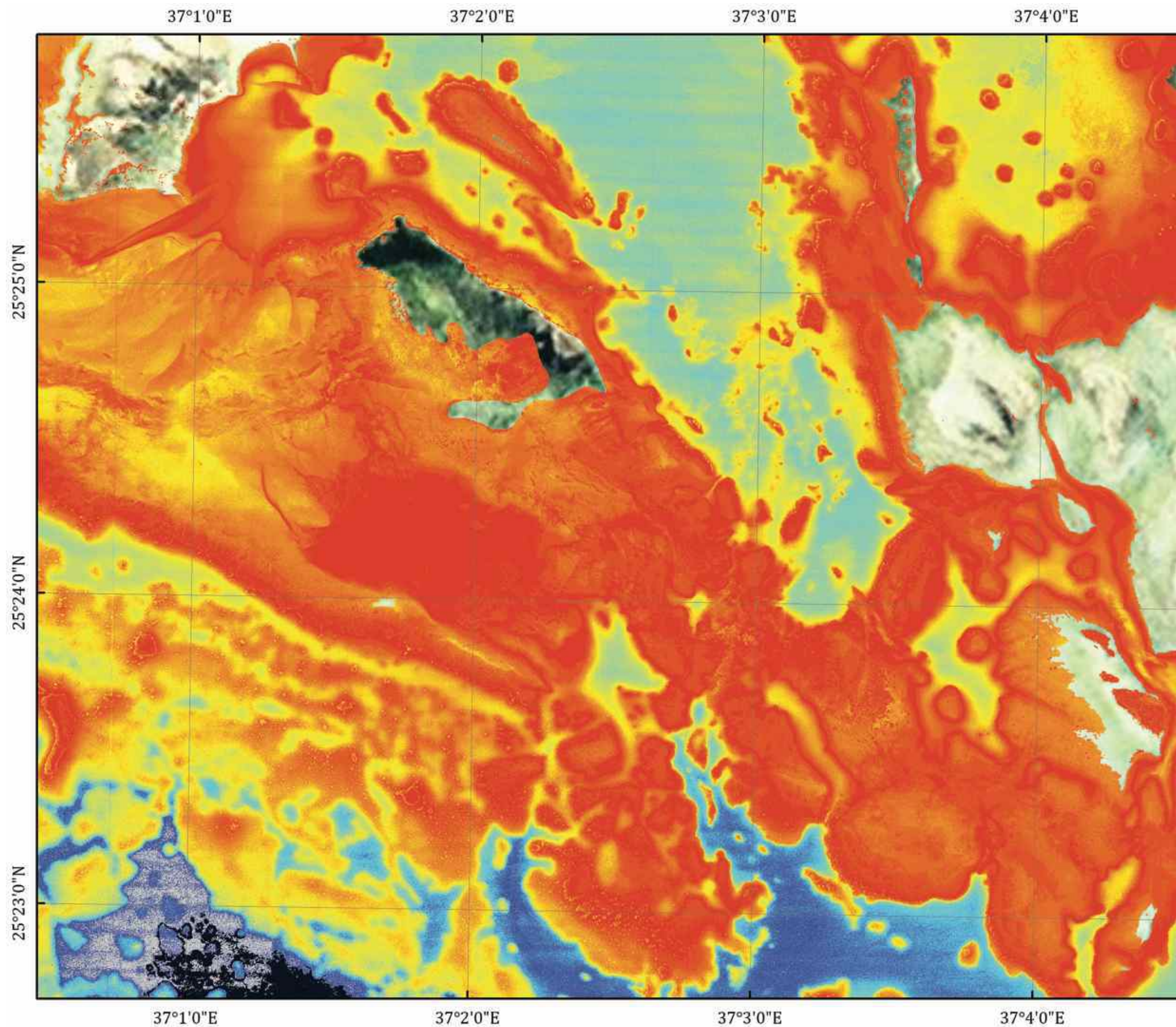


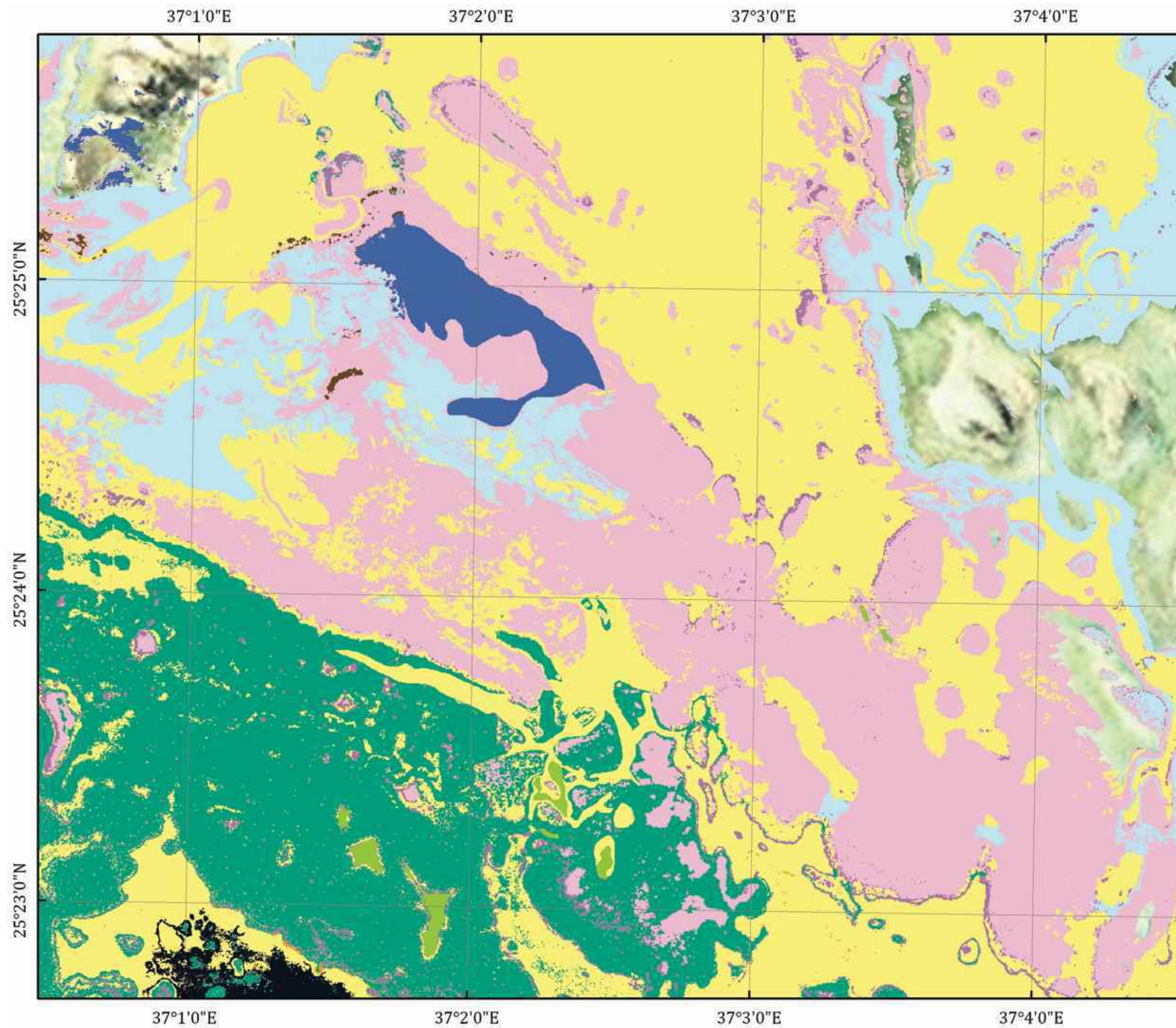
1:24,000









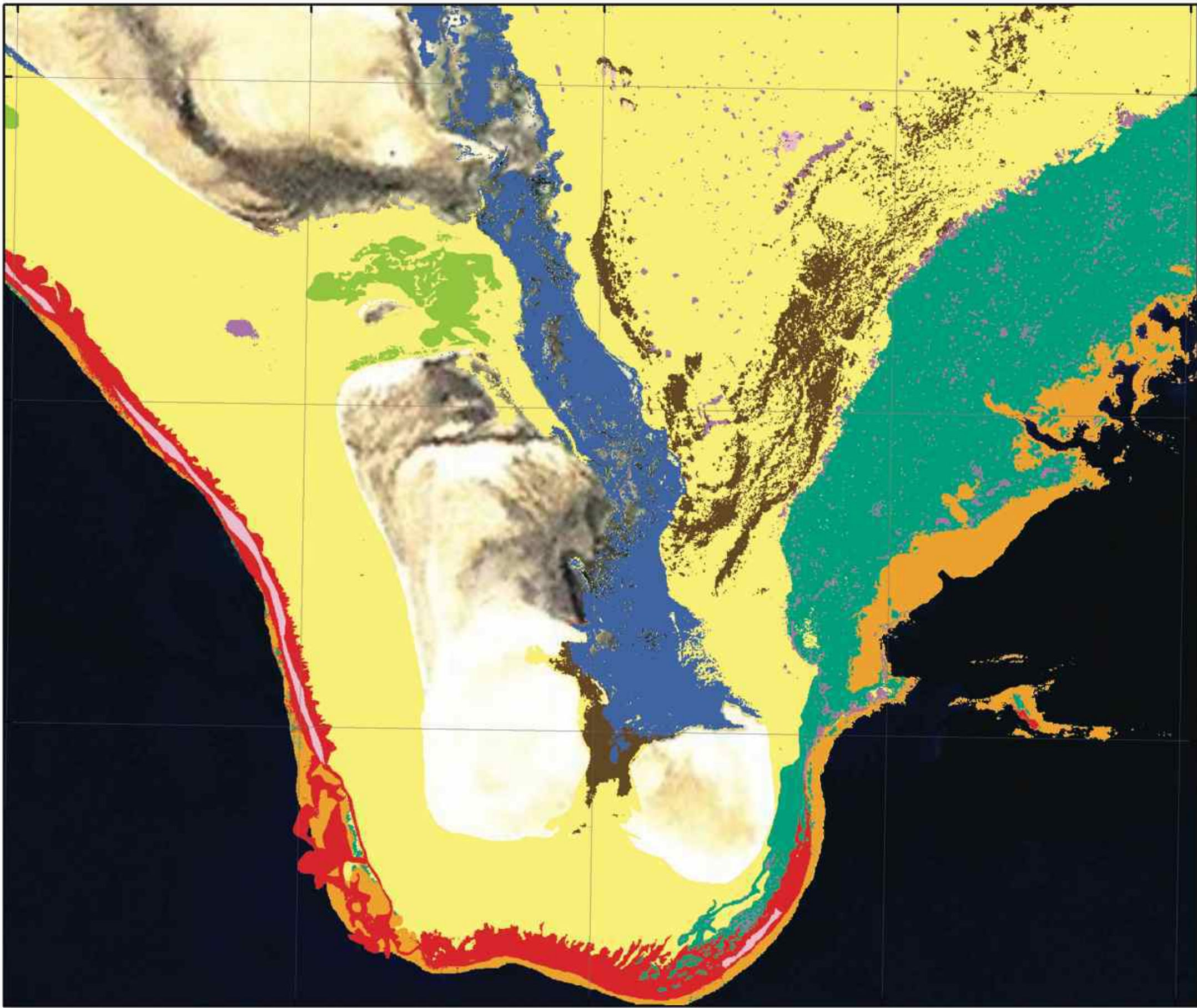


36°52'0"E 36°53'0"E 36°54'0"E 36°55'0"E 36°56'0"E

25°24'0"N

25°23'0"N

25°22'0"N



36°53'0"E 36°54'0"E 36°55'0"E 36°56'0"E

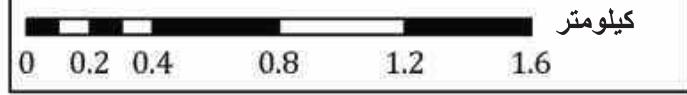


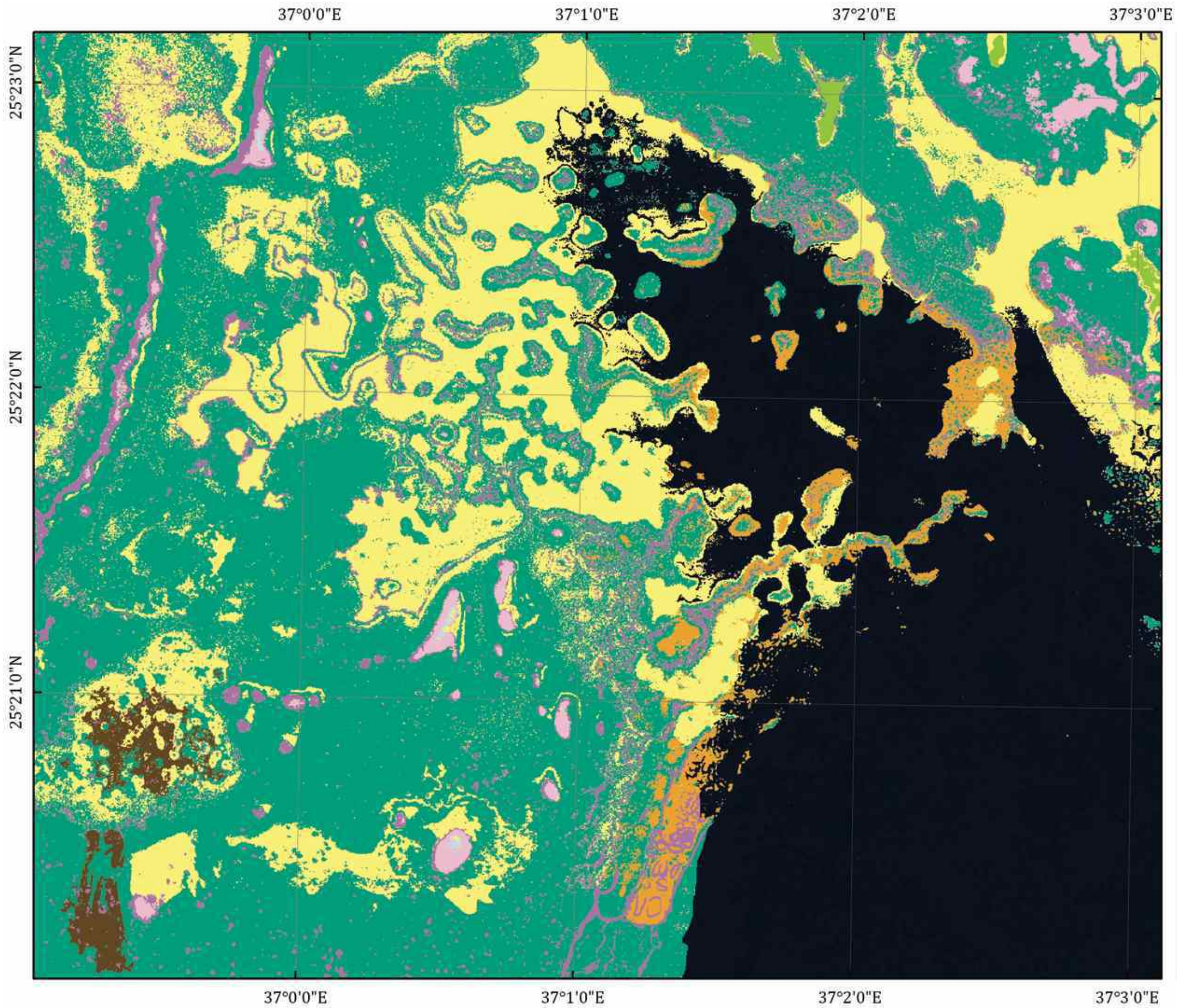
موانئ الوجه

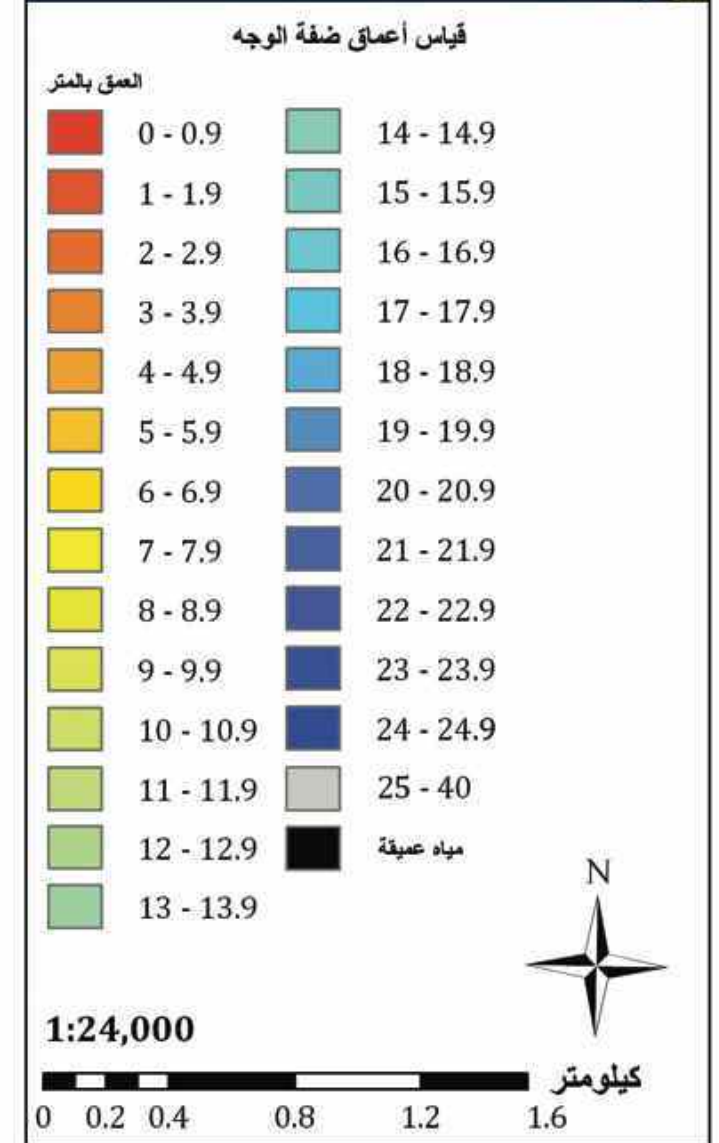
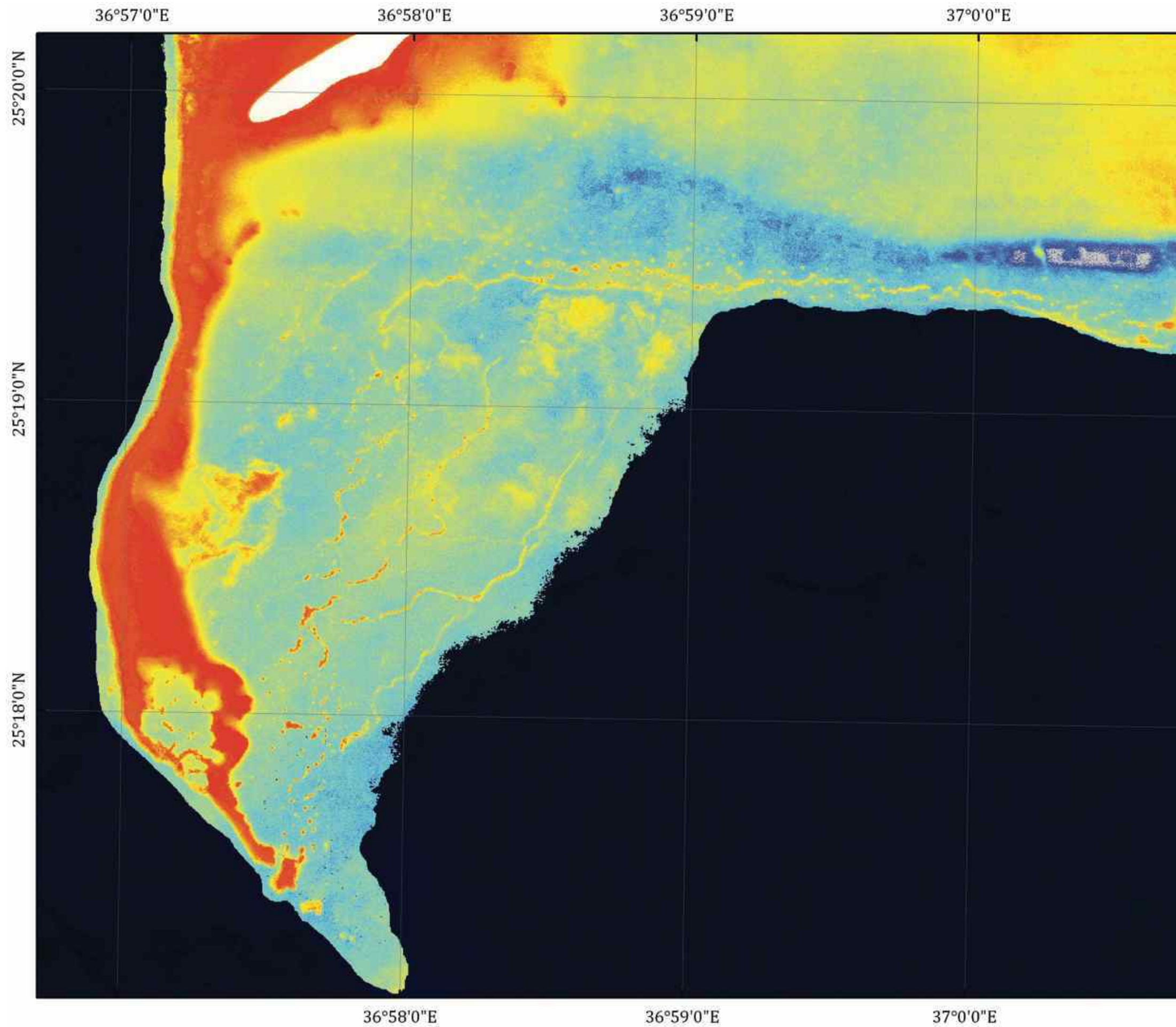
- قمة حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمة حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هيكل عمودية
- جدران مرجانية منخفضة بحددة
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمل
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قنوات مغارة
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- أهوار رملية عميقة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة

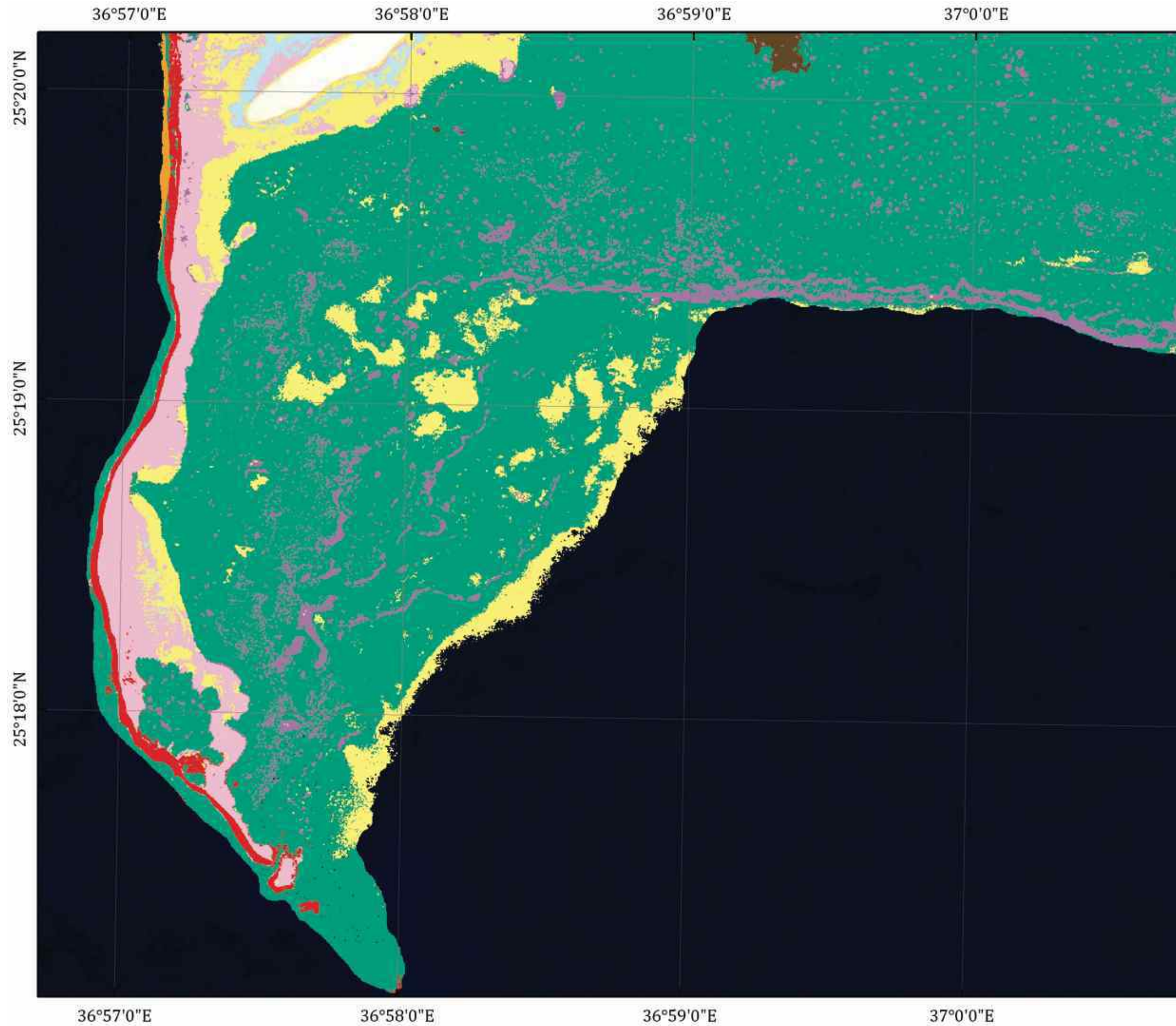


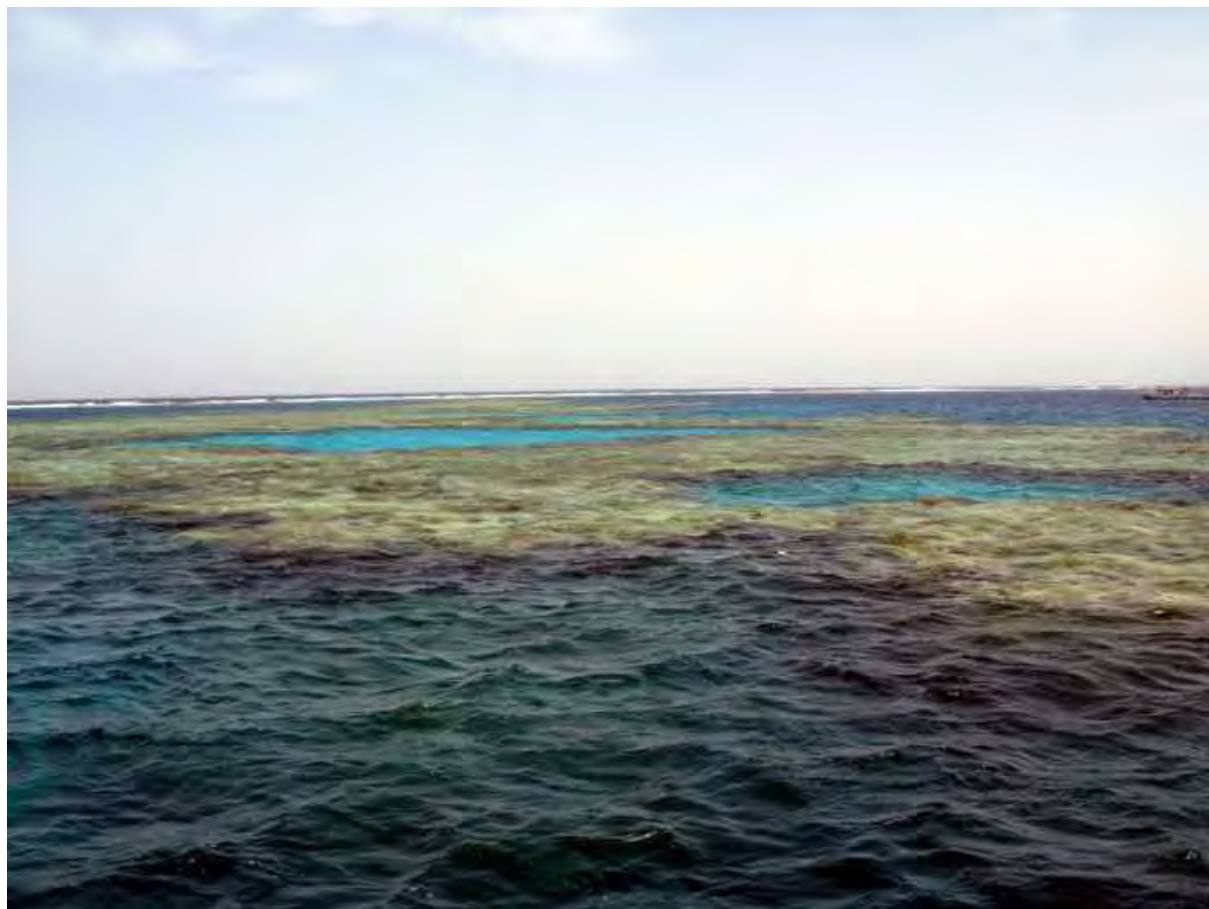
1:24,000











جزيرة



ينبع

تمتد منطقة ينبع، من شرم الخور قرب رأس جربة في الشمال إلى مستورة في الجنوب، وتغطي مسافة خطية حوالي 160 كم. وتحتوي المنطقة على موائل بحرية ساحلية ضحلة واسعة ونظام حاجز مرجاني معقد من الجانب الخارجي. ويحتوي الشريط الساحلي على الطمي والرمال والمساحات منخفضة التلال التي تمتد داخلياً لأكثر من 10 كم، مع المستنقعات المالحة في عدة مواقع في منطقة المد والجزر. وتمتد مدينة ينبع الصناعية حوالي 15 كم من الخط الساحلي، وتشغل مساحة 158 كم². وتحتوي المدينة على أكبر مجمع لشحن النفط في البحر الأحمر، فضلاً عن أكثر من 20 مرافق هيدروكربونية وبتروكيماويات ومعدينية. والمنظومة الرئيسية للشعاب تسمى «الحاجز المرجاني الصغير»، ويبدأ عند 2 - 4 كم قبالة الساحل ويفصلها عن البر الرئيسي قناة الشحن الرئيسية.

توجد في المنطقة موائل واسعة من أشجار الشوري (مانجروف)، وأغلبها من الشجيرات المنخفضة وجدت في بقع معزولة، مع رقعة أفضل نمواً تمتد لأكثر من 11 كم على طول دلتا وادي الفرعة، المتاخمة لمدينة ينبع الصناعية. وتتكون غابات أشجار الشوري (مانجروف) غالباً من نوع رئيسي هو أفيسينيا مارينا (*Avicennia marina*). فيما يظهر الغطاء النباتي للمستنقعات الملحية في الجزء العلوي من منطقة المد والجزر، ومزيد من اليابسة في المناطق التي تعرضت في بعض الأحيان للفيضانات من قبل مياه البحر. وتتميز المستنقعات المالحة عموماً بسطح جاف مع الرواسب الطينية/الرملية. وغالباً ما تكون المناطق المدية الضحلة القريبة من الشاطئ في البيئات المحمية المستعمرة بالحشائش البحرية. وقد لوحظ وجود ستة أنواع من الحشائش البحرية في ينبع:

Halophila stipulacea و *Halophila ovalis* و *Syringodium isoetifolium* و *Thalassia hemprichii* و *Cymodocea rotundata* و *Halodule uninervis*.

الصفة المقابلة، يمين: موقع ينبع. مصدر الخرائط الأصلية:

ESRI, i-cubed, USFSA, USGS, AEX, GeoEye, AeroGRID, Getmapping, IGP.

الصفحة المقابلة، أعلى يسار: يلتقي نوعين من الشعاب في شمال البحر الأحمر. ومباشرة تحت خط الماء توجد الشعاب الحديثة، التي نمت على مدى عدة آلاف من السنين الماضية. والمنصة المسطحة المرتفعة هي حفريات، الشعاب المرجانية من العصر الحديث التي ساعدت في ارتفاع مستوى سطح البحر مما هو عليه اليوم. في حين أن تعرية وتآكل جزء من الشعاب الأحفورية، ينظر إليه على أنه صخرة على شكل فطر على يمين الهيكل الرئيسي للشعاب. الصخور الضخمة في الجزء السفلي المكشوف هي الشعاب الأحفورية، في حين أن بعض رواسب الهور المستقرة على القمة هي للشعاب البانية القديمة.

الصفحة المقابلة، أسفل يسار مجتمع مسطح الشعاب قبالة جزيرة شعس الصباح. ومسطح الشعاب المرجانية هي منطقة ذوق صلب تتخللها برك صغيرة رملية وبحيرة ضحلة.



مستعمرة ضخمة من (*Porites lutea*) تحيط بها المرجانيات اللينة والصلبة موجودة في الشعاب الأمامية (عمق 8 م). قطر المستعمرة أكثر من 2 م

إن قطاع جانبي رأسي يمتد من الشاطئ إلى المياه العميقة في مدينة ينبع يشمل صحائف رمال ضحلة واسعة، وقيعان صلبة كربونية ومساحات شعاب على مقربة من الشاطئ، وقمة شعاب مرجانية غير مواجهه للرياح، وهياكل عمودية تنحدر في قناة عميقة تفصل الموائل القريبة من الشواطئ عن مجتمع الحاجز المرجاني. ويحتوي الحاجز المرجاني على سلسلة من هياكل الشعاب العمودية المتقطعة، والقيعان الصلبة الضحلة ومجموعات مسطح الشعاب، وقمم مرجانية مواجهه للرياح، ويقع كثيفة من *Acropora*، ومنحدر شعاب تهيمن عليه مستعمرات *Porites*. وفي بعض المناطق فإن مجتمع الشعاب تحيط بالأراضي البارزة.



قمة شعاب مرجانية غير مواجهه للرياح في وجود مستعمرة فصية من جنس *Goniastrea* ومرجانيات متفرعة من جنس *Seriatopora* و *Acropora* و *Pocillopora*



مجتمع شعاب في مواجهه الرياح تسود فيها مستعمرات المرجان المتفرع *Pocillopora verrucosa* ومستعمرات صغيرة من *Acropora spp*



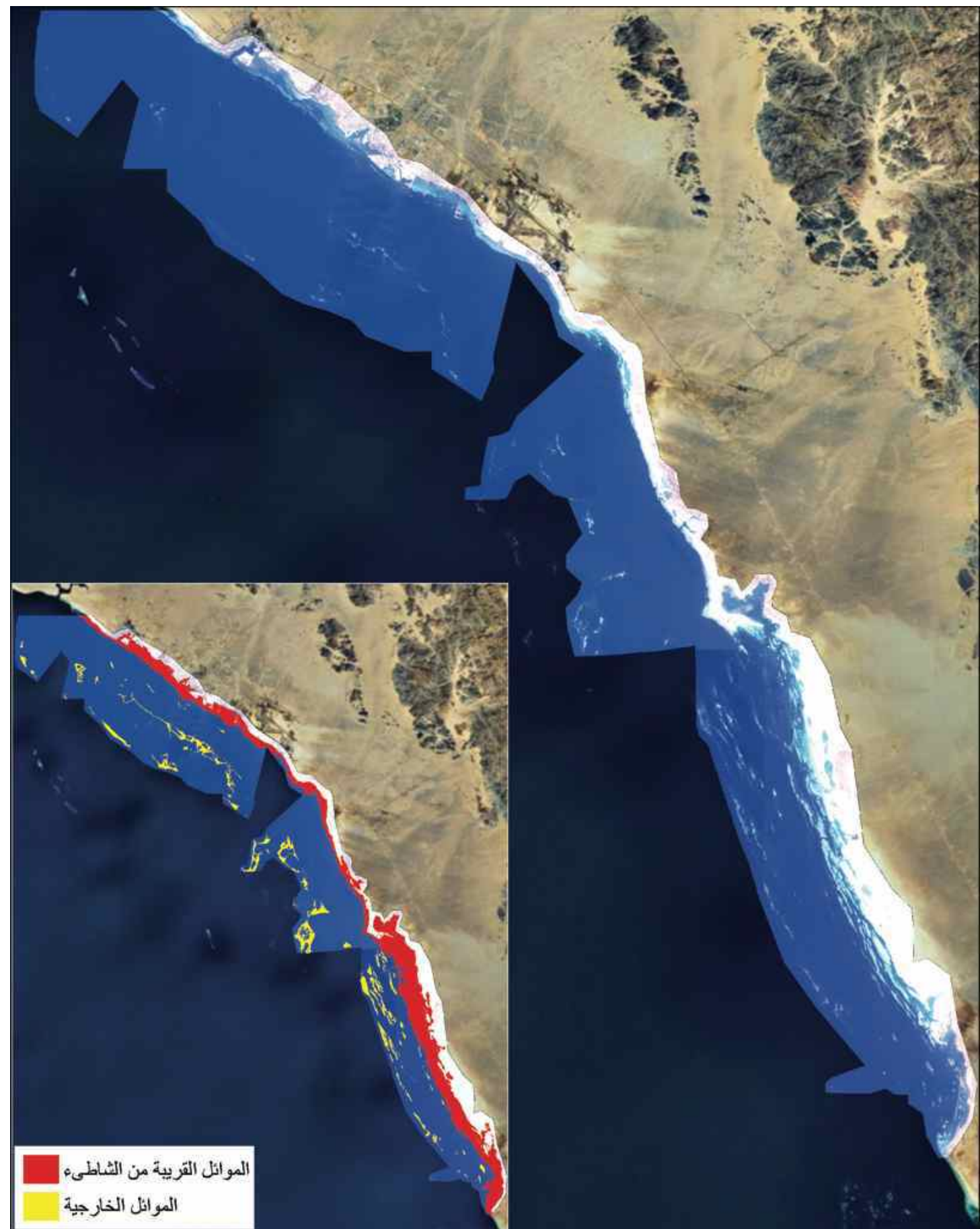
مرجانيات صغيرة من اكروبرا (*Acropora*) المتفرعة والتي احتلت هيكل مستعمرة بورايتس (*Porites*) في شعاب مواجهة للرياح في الحاجز المرجاني الصغير بمنطقة ينبع

صور وخرائط موائل ينبع

صور الأقمار الصناعية وقياسات الأعماق وخرائط الموائل لمنطقة ينبع موضحة على الصفحات 98 - 143. وتظهر صور الأقمار الصناعية كويك بيرد متعددة الأطياف لينبع (يمين)، وخريطة الموائل الناجمة عن نفس المنطقة (صفحة 99) على مقياس من 1: 525,000. وتنقسم المنطقة إلى ثلاثة أقسام، مع خريطة لتحديد المواقع، وخرائط الأعماق وخريطة تبيين الموائل بمقياس 1: 200,000 للشمال (صفحات 101 - 103)، والوسط (صفحات 117 - 119) والجنوب (صفحات 133 - 135). وخرائط الموائل عالية الدقة (1: 24,000) وخرائط الأعماق لكل قسم داخل ينبع تتضح بعد عمل خرائط للموائل بمقياس 1: 200,000. وتظهر خرائط الأعماق (مقياس رسم 1: 24,000) على الصفحات 108، 110، 112، 126، 128، 130 و 142 مع خرائط الموائل لنفس المنطقة على اليمين (الصفحة الفردية). خرائط الموائل تبدأ من الشمال وتستمر تدريجياً حتى الجنوب. وتشمل موائل مرتبطة بالحاجز المرجاني والموائل القريبة من الشاطئ. ومصدر صورة الخريطة الأرضية الأساسية المستخدمة في جميع خرائط الموائل وخرائط الأعماق هي:

ESRI,i-cubed,USFSA,USGS,AEX,GeoEye,AeroGRID,Getmapping,IGP.

تم رسم مساحة قدرها 423 كم²، وتنقسم إلى 11 فئة من الموائل حتى مناطق تحت عمق 25 م (المياه العميقة) والتي ظهرت في الصور بالأزرق الداكن. كما تم تقديم التغطية الجوية لكل موطن في الجدول للمناطق القريبة من الشاطئ، والتي تمتد من 0.5 - 1.5 كم بعيداً عن الشاطئ، (كما هو مبين باللون الأحمر في الخريطة الصغيرة على اليمين)، والمناطق البعيدة (كما هو مبين باللون الأصفر في الخريطة). وكان الموائل الأكثر انتشاراً هو صحائف الرمال الضحلة، والتي تشكل أكثر من 43% من كل الموائل البحرية. وتوجد الشعاب المرجانية في ستة أنواع من الموائل، وتغطي مساحة قدرها حوالي 190 كم². ومعظم هذه المناطق من موائل الشعاب المرجانية تمثل غطاء منخفض جداً، بما في ذلك القيعان الكربونية الصلبة و مسطحات الشعاب والمرجان والأحجار والرمل المتناثر التي تشكل ما يزيد على 110 كم². في حين الموائل ذات القاع الناعم وباستثناء طبقات الرمل فقد كانت مسطحات الرمال والطين هي السائدة (48 كم²) مع كمية محدودة من الحشائش البحرية وموائل أشجار الشوري (مانجروف) (2.5 كم²).



الموائل ينبع	المساحة الكلية (كم ²)	النسبة إلى المنطقة الكلية %	القريب من الشاطئ (كم ²)	البعيد عن الشاطئ (كم ²)
جدران مرجانية منخفضة بحدّة	0.00	0.00	0.00	0.00
قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح	11.01	2.60	4.03	6.98
قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح	14.23	3.40	14.20	0.03
بقع أكروبوورا كثيفة	0.54	0.10	0.00	0.00
هياكل عمودية	49.26	11.60	0.60	48.66
مرجان متناثر وحجارة ورمل	55.70	13.10	30.18	25.52
مسطحات الحشائش البحرية	0.94	0.20	0.93	0.01
طحالب كبيرة وإسفنجيات على القيعان الصلبة	0.00	0.00	0.00	0.00
طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال	0.24	0.05	0.24	0.00
أشجار الشوري (مانجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ	1.45	0.30	1.45	0.00
قنوات معرّاة	0.00	0.00	0.00	0.00
قيعان كربونية ومسطحات شعاب	59.33	14.00	50.66	8.67
طبقات رمال ضحلة	183.32	44.40	175.14	8.18
هور رملي عميق	0.00	0.00	0.00	0.00
مسطحات رمل وطين	47.56	11.20	47.56	0.00
المساحة الكلية للمنطقة	424	100	325	99

37°40'0"E

38°0'0"E

38°20'0"E

38°40'0"E

39°0'0"E

24°0'0"N

23°40'0"N

23°20'0"N

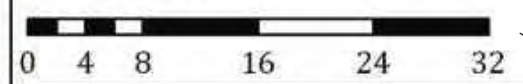


موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكتوبورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات العشائش البحرية
- طبقات اليكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:525,000



كيلومتر

37°40'0"E

38°0'0"E

38°20'0"E

38°40'0"E

39°0'0"E



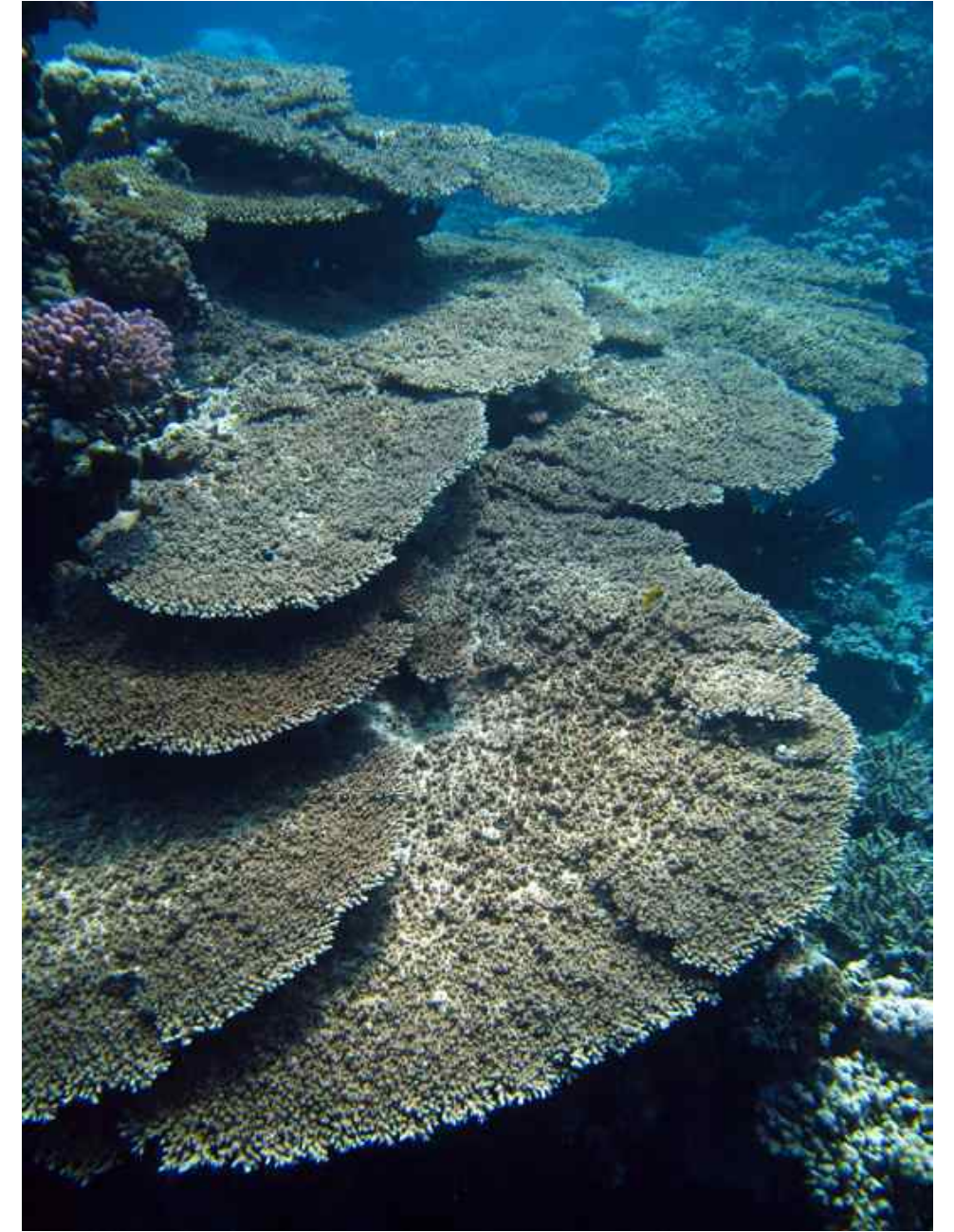
غالباً ما توجد مستعمرات ضخمة من *Porites lutea* والتي تشبه الفصوص أو الأعمدة، في المياه الضحلة في الحاجز المرجاني الخارجي. في حين أن الشعاب القريبة من الشاطئ فإن غالبية المستعمرات الضخمة بها أجزاء كبيرة ميتة إلى حد ما وهذه الهياكل الميتة غالباً ما تنمو عليها كائنات أخرى



مجتمعات شعاب أمامية وقمة شعاب ضحلة (عمق 1 - 3 م) في بيئة محمية من الموج بها غطاء عالي من المرجانيات الصغيرة المتفرعة من جنس *Acropora* و *Pocillopora* والتي غطت هيكل مستعمرة بورايتس (*Porites*) ميتة



في حين كانت تهيمن على الهيكل المرجاني للشعاب البعيدة في منتصف الأعماق (5 - 15 م عمق) مستعمرات كبيرة من *Acropora* و *Porites*، وكانت هذه المستعمرات في الشعاب القريبة من الشاطئ أقل حجماً ونمواً، وتسود فيها المرجانيات *faviid* الصغيرة بما في ذلك *Goniastrea* و *Favia* و *Acroporids* المتفرعة الإصبعية، ومستعمرات صغيرة من *Pocillopora*، متداخلة مع مرجانيات ميتة



رقع واسعة من مرجان الأوروبورا المتفرع وشبيه المنضدة وجدت على الحاجز المرجاني في المياه الضحلة (3 - 8 م عمق). والأكربورا شبيهة بالمنضدة الموضحة في الصورة (*Acropora cytherea*) تشكل سلسلة من الألواح المترابطة والمتداخلة والتي قد يصل قطرها وارتفاعها إلى عدة أمتار

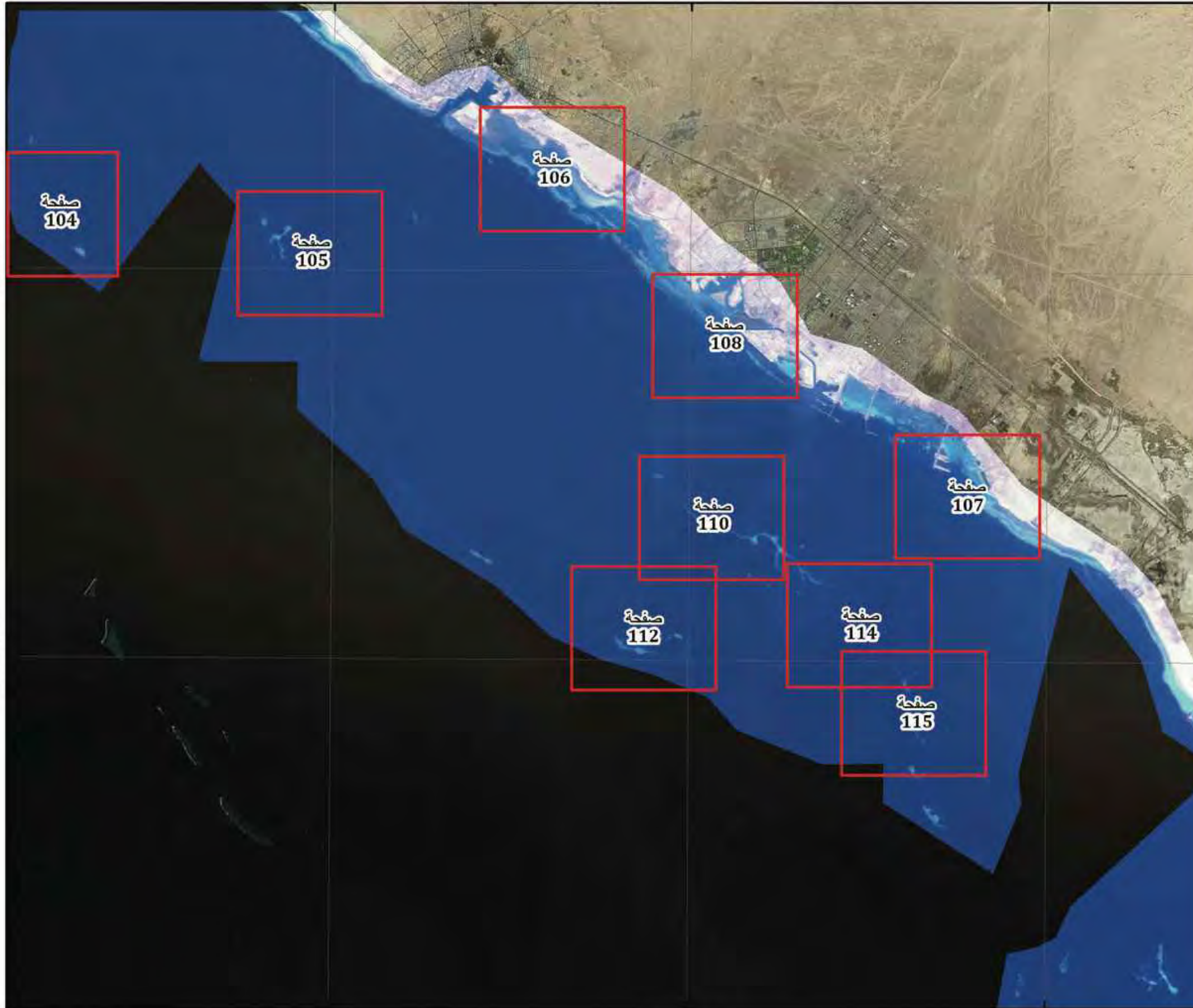
38°0'0"E

38°10'0"E

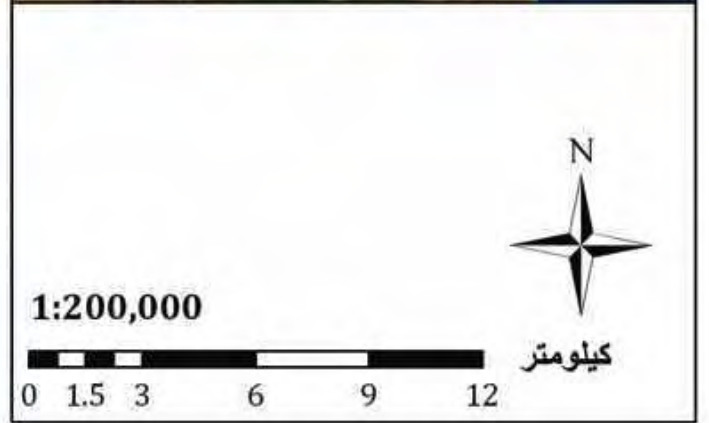
38°20'0"E

24°0'0"N

23°50'0"N



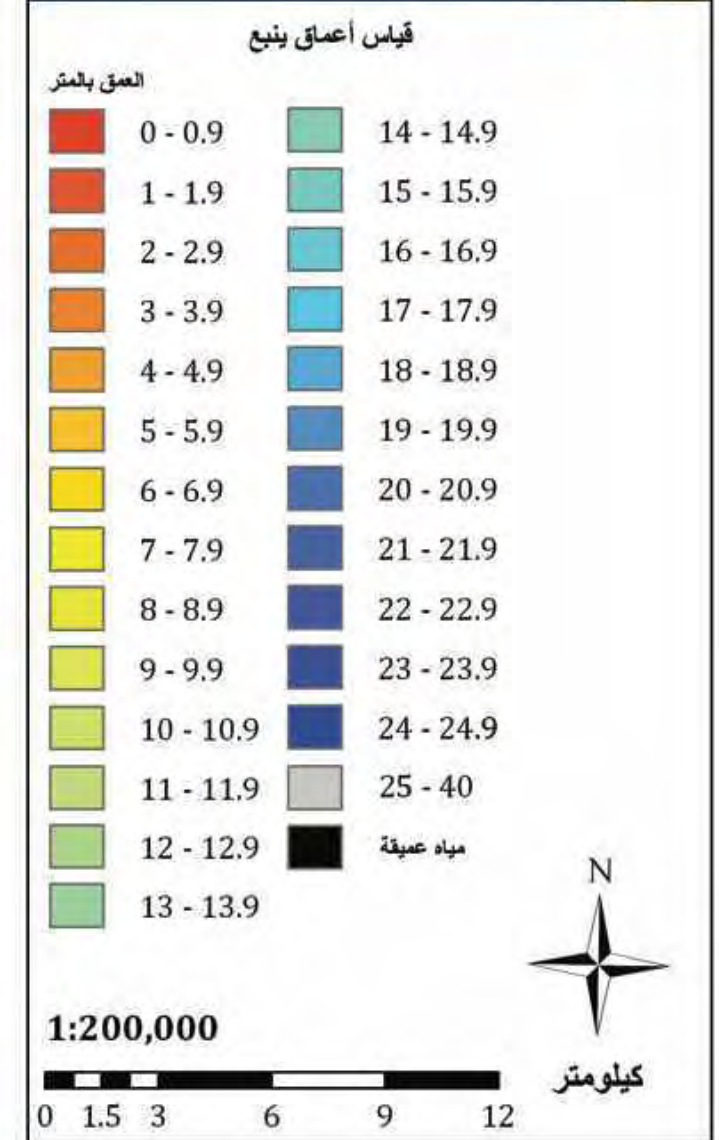
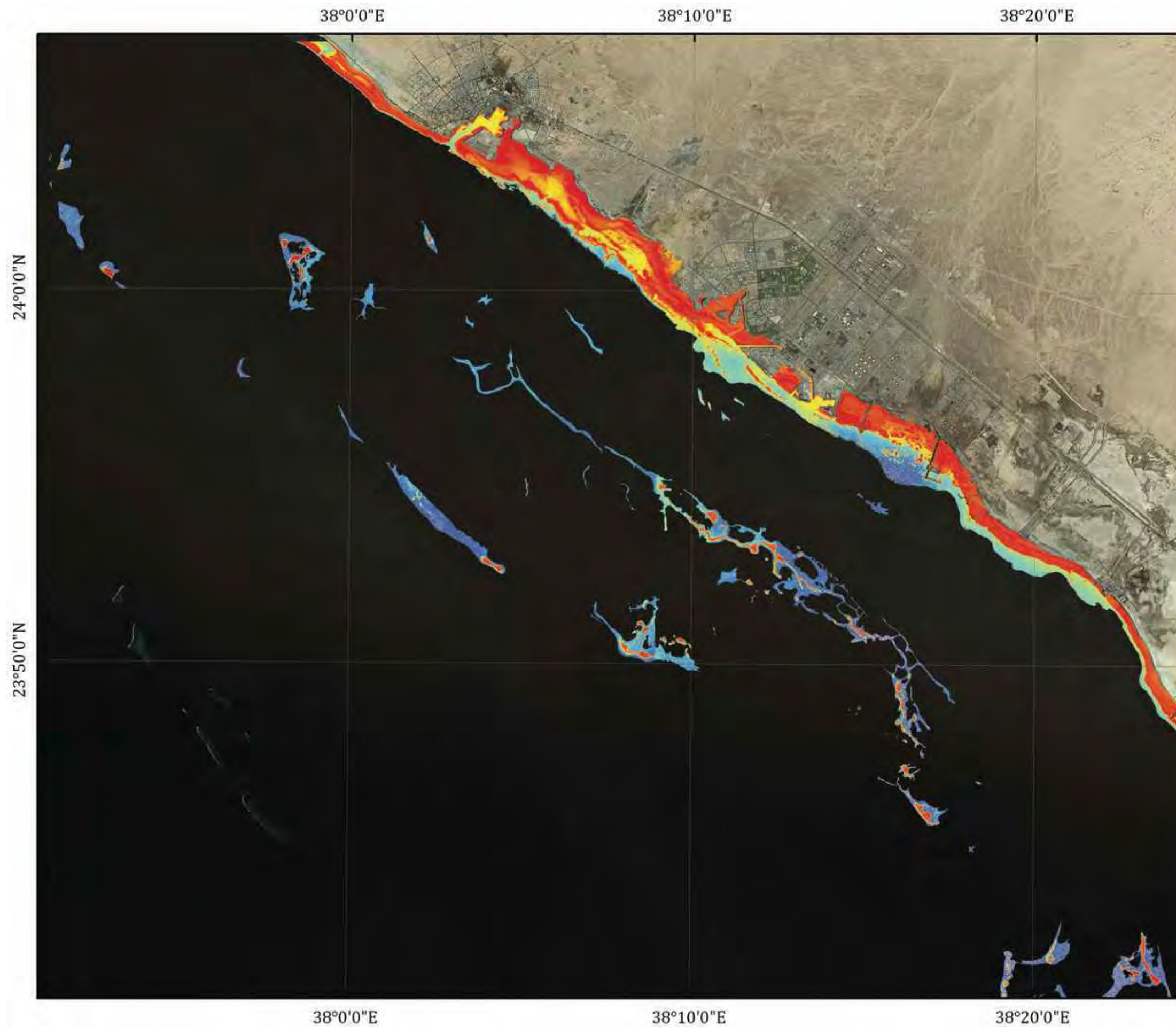
خريطة موقع ينبع



38°0'0"E

38°10'0"E

38°20'0"E



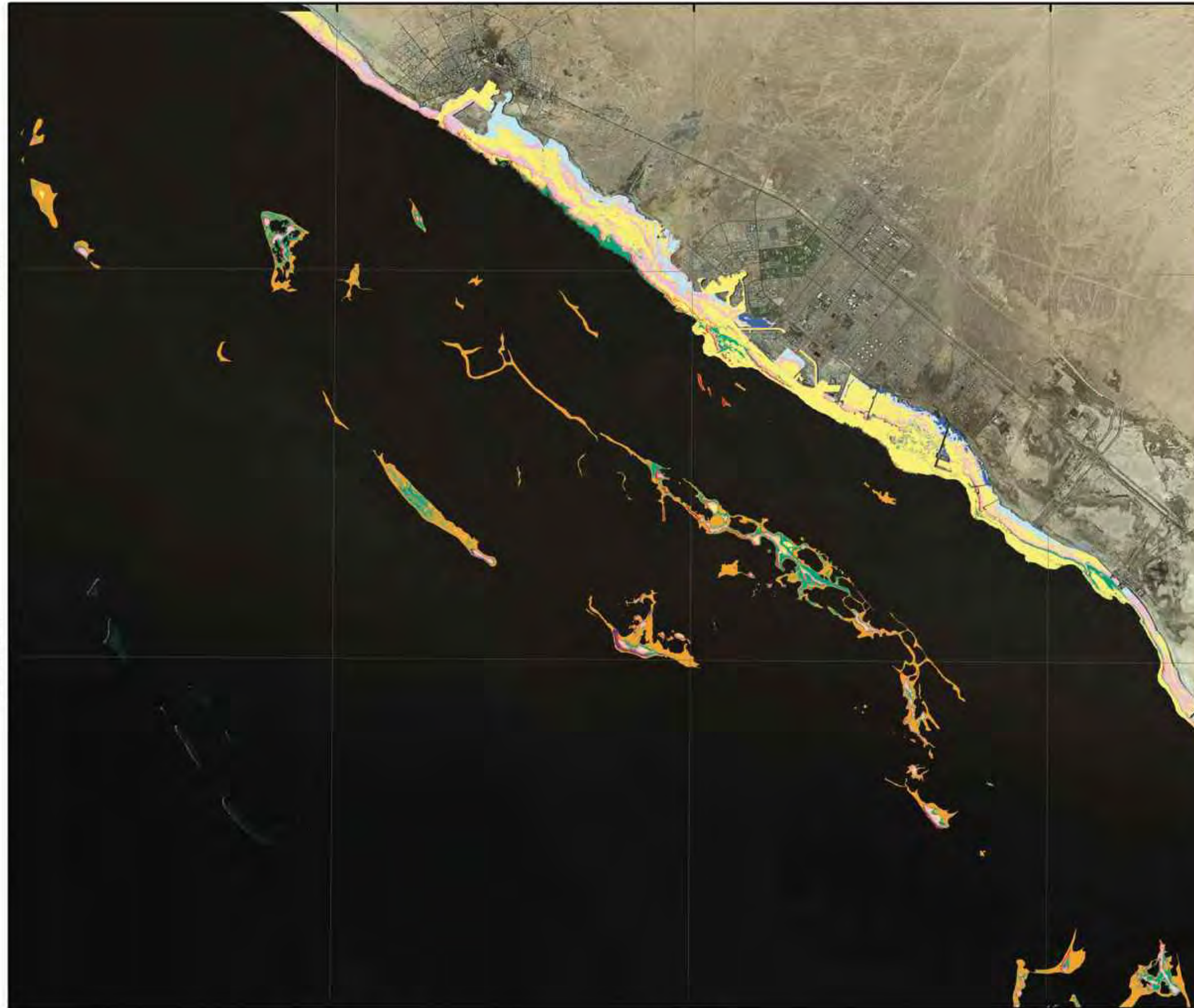
38°0'0"E

38°10'0"E

38°20'0"E

24°0'0"N

23°50'0"N



38°0'0"E

38°10'0"E

38°20'0"E

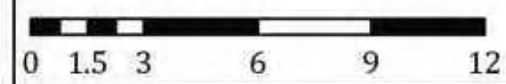


موانل ينبع

- قمم حائلية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حائلية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار النوري (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:200,000

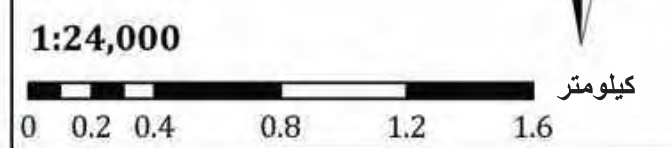


كيلومتر



موائل ينبع

- قمم حلقية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حلقية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



37°58'0"E

37°59'0"E

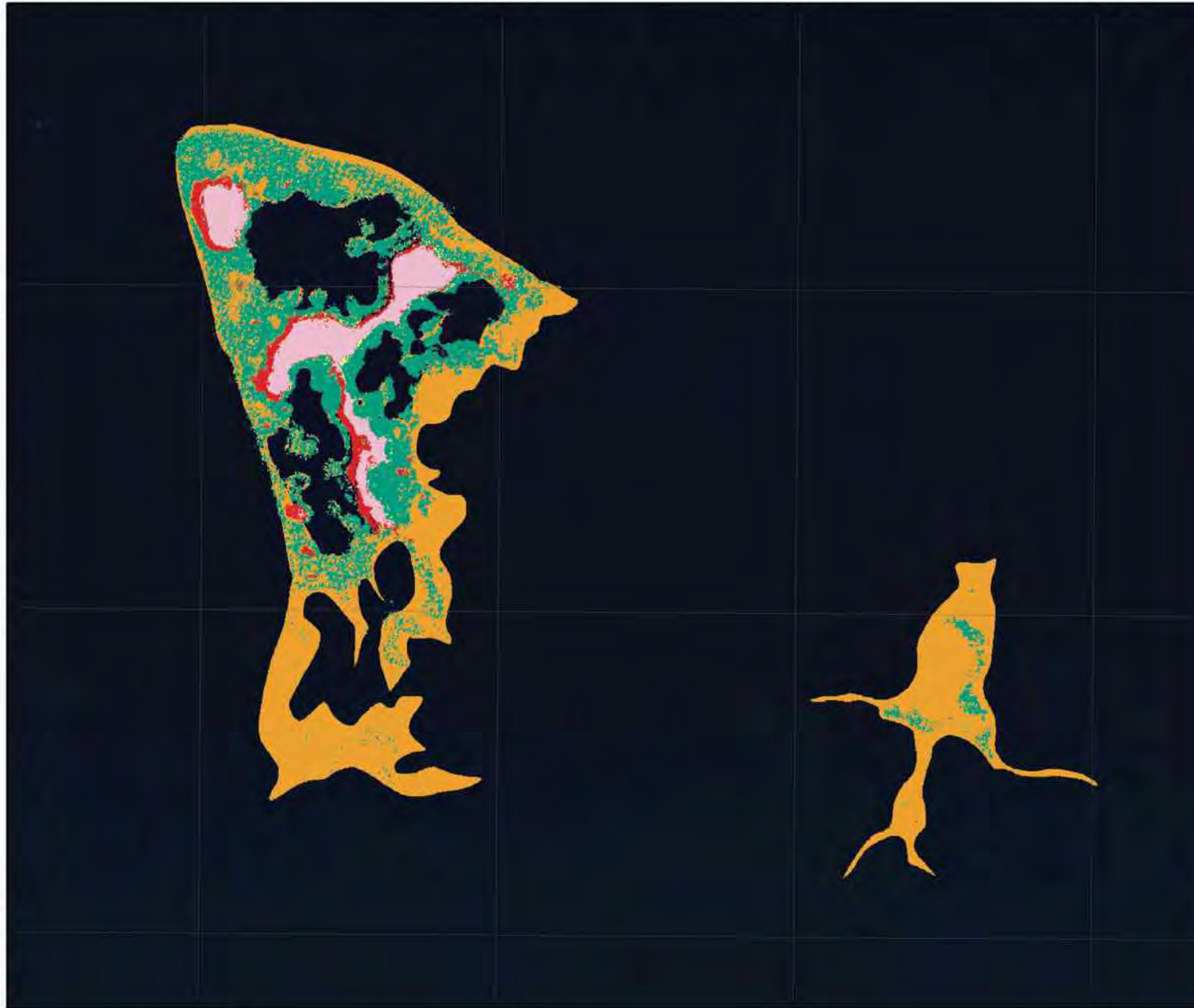
38°0'0"E

38°1'0"E

24°10'0"N

24°0'0"N

23°59'0"N

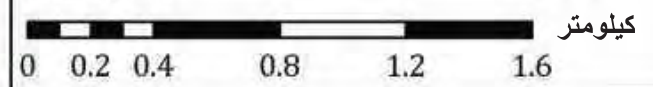


موانل ينع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000

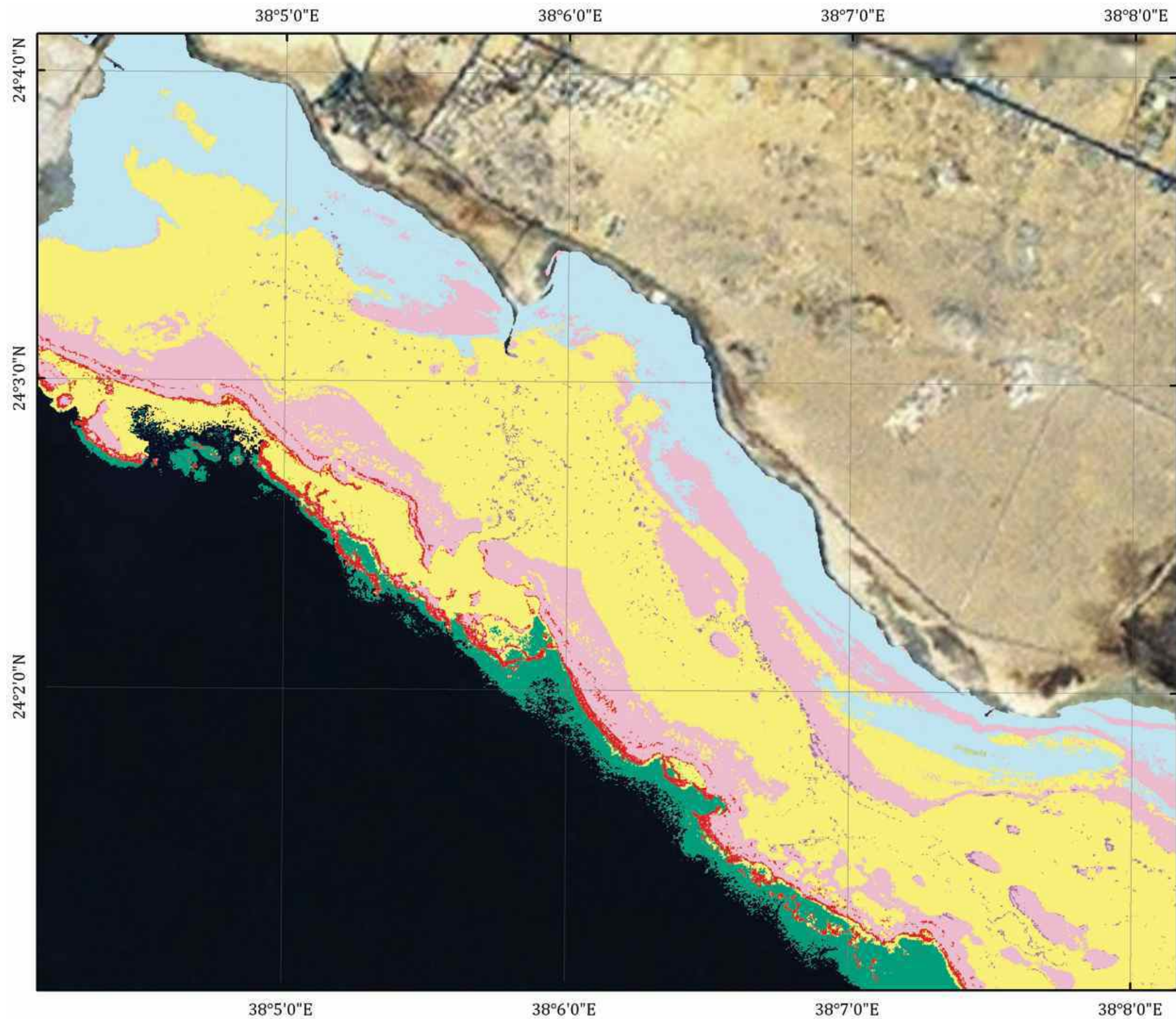


37°58'0"E

37°59'0"E

38°0'0"E

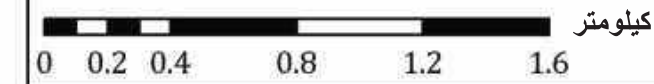
38°1'0"E



موائل ينبع

- قمم حافلية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافلية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة

1:24,000

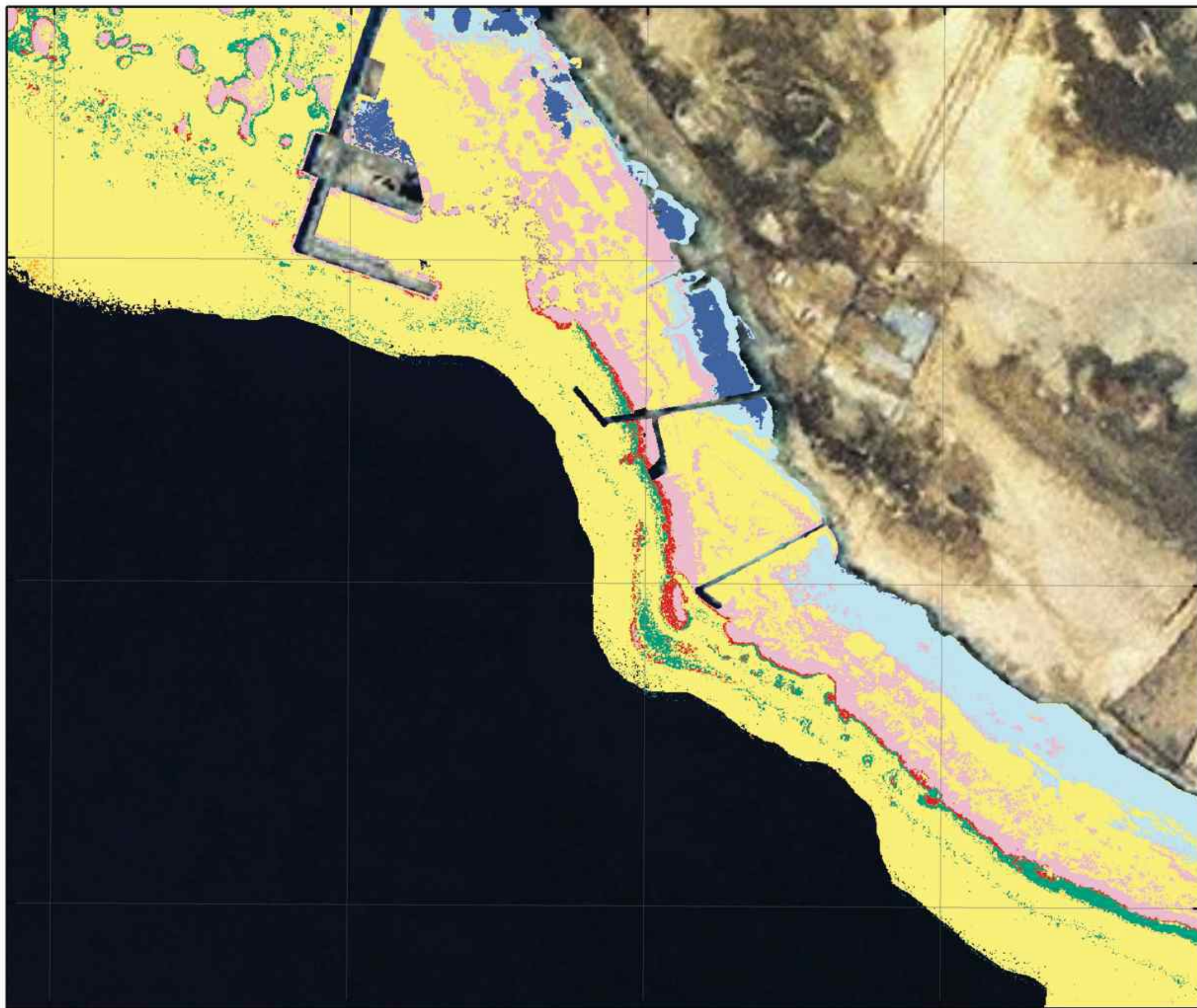


38°16'0"E 38°17'0"E 38°18'0"E 38°19'0"E

23°55'0"N

23°54'0"N

23°53'0"N

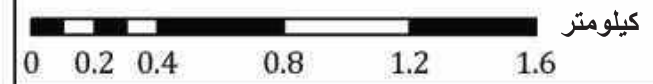


موانئ ينبع

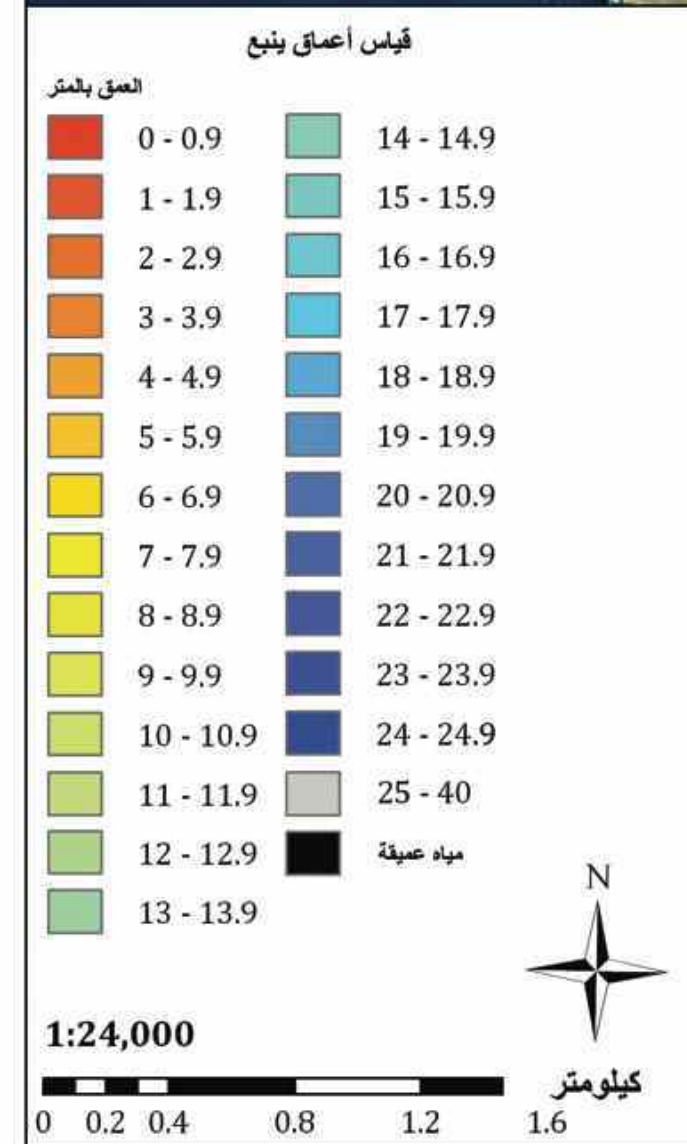
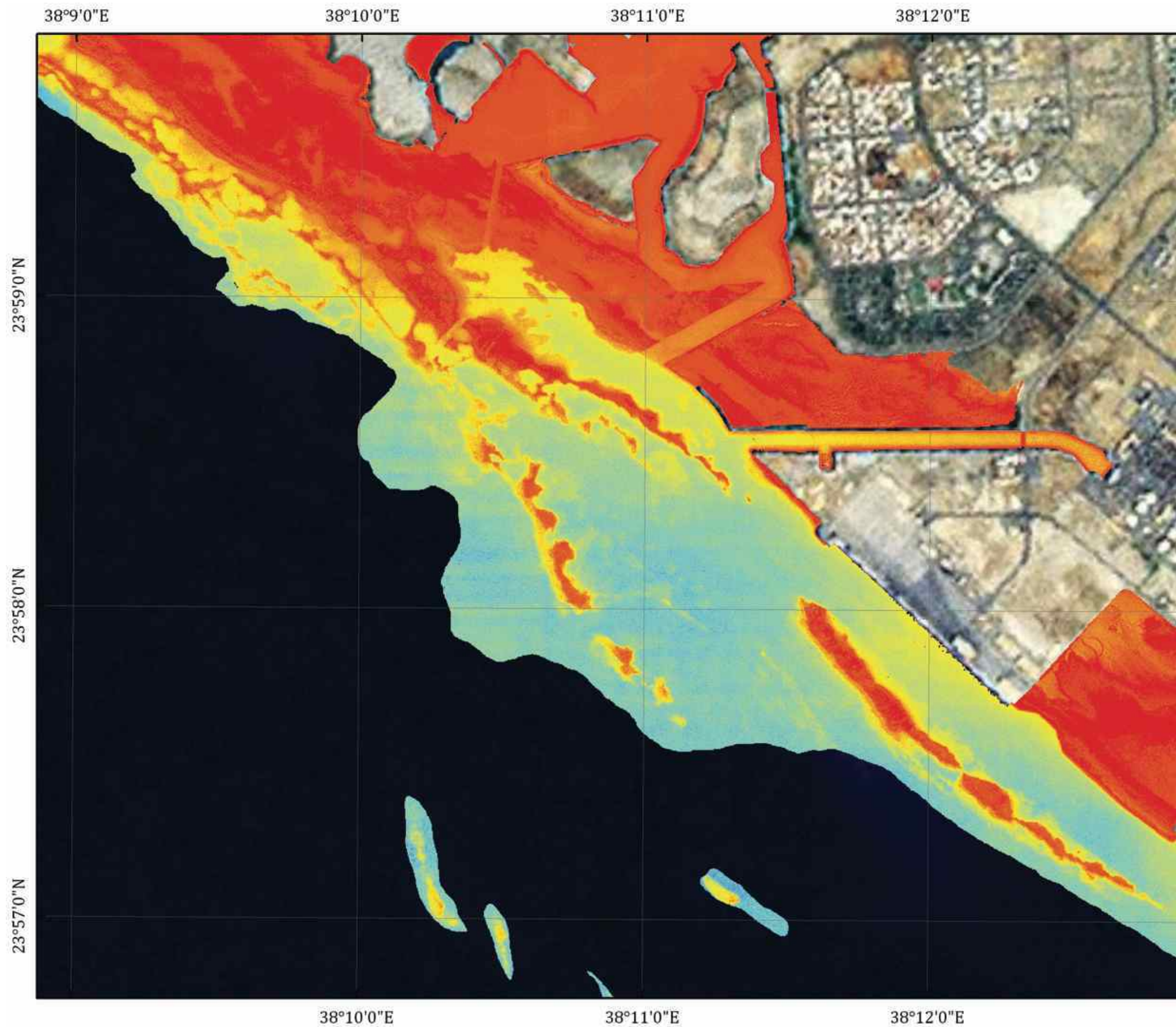
- قمة حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمة حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار النوري (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000



38°16'0"E 38°17'0"E 38°18'0"E 38°19'0"E



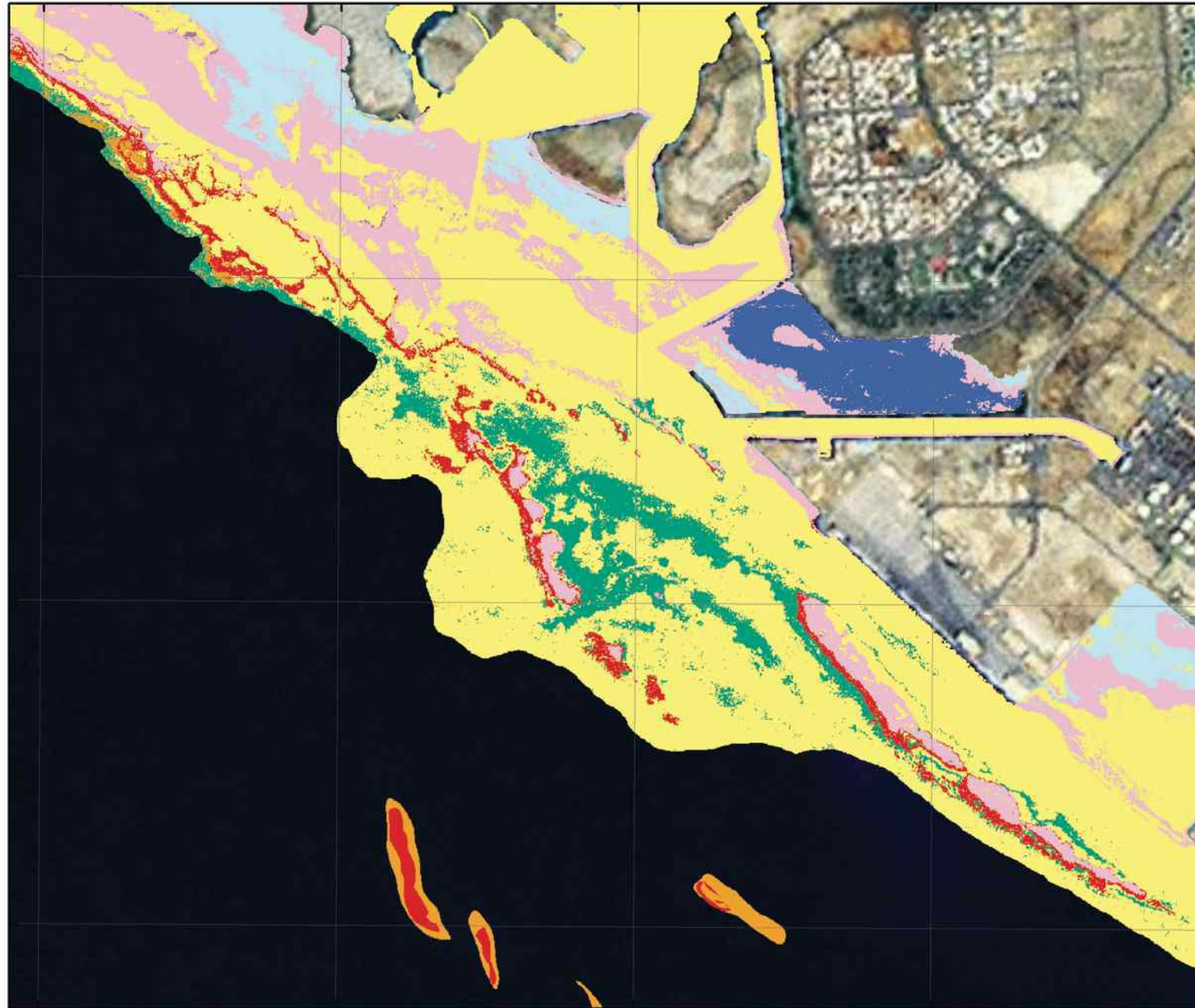
38°9'0"E 38°10'0"E 38°11'0"E 38°12'0"E

23°59'0"N

23°58'0"N

23°57'0"N

38°9'0"E 38°10'0"E 38°11'0"E 38°12'0"E

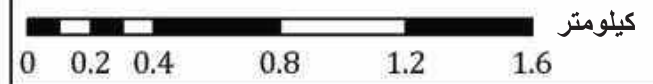


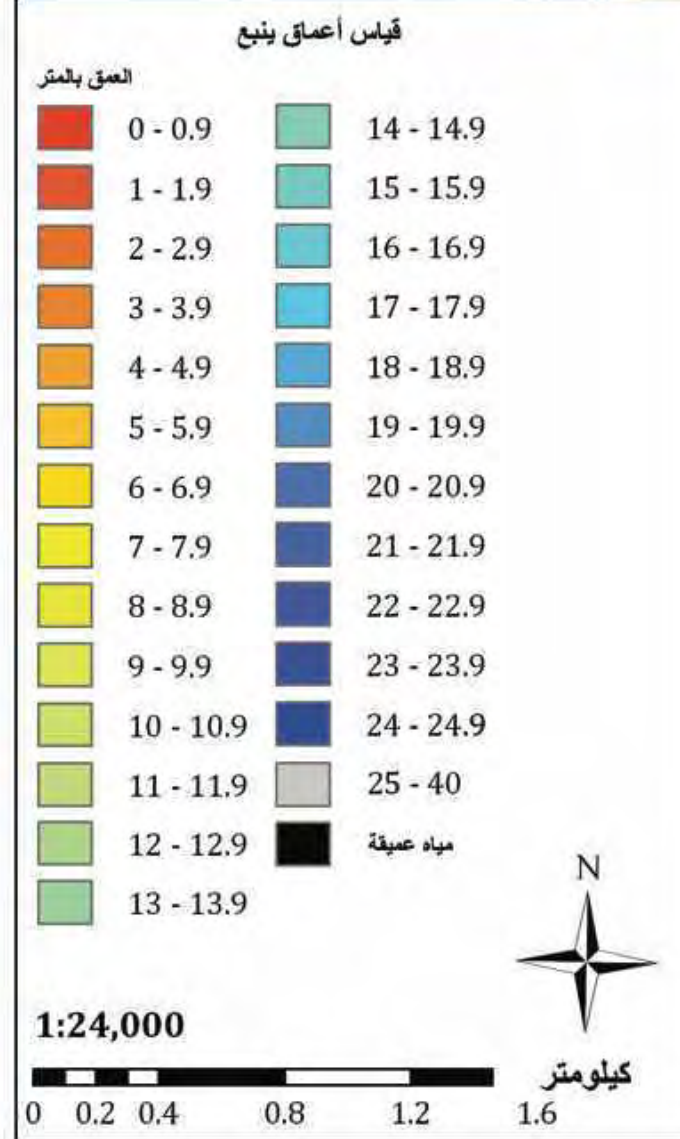
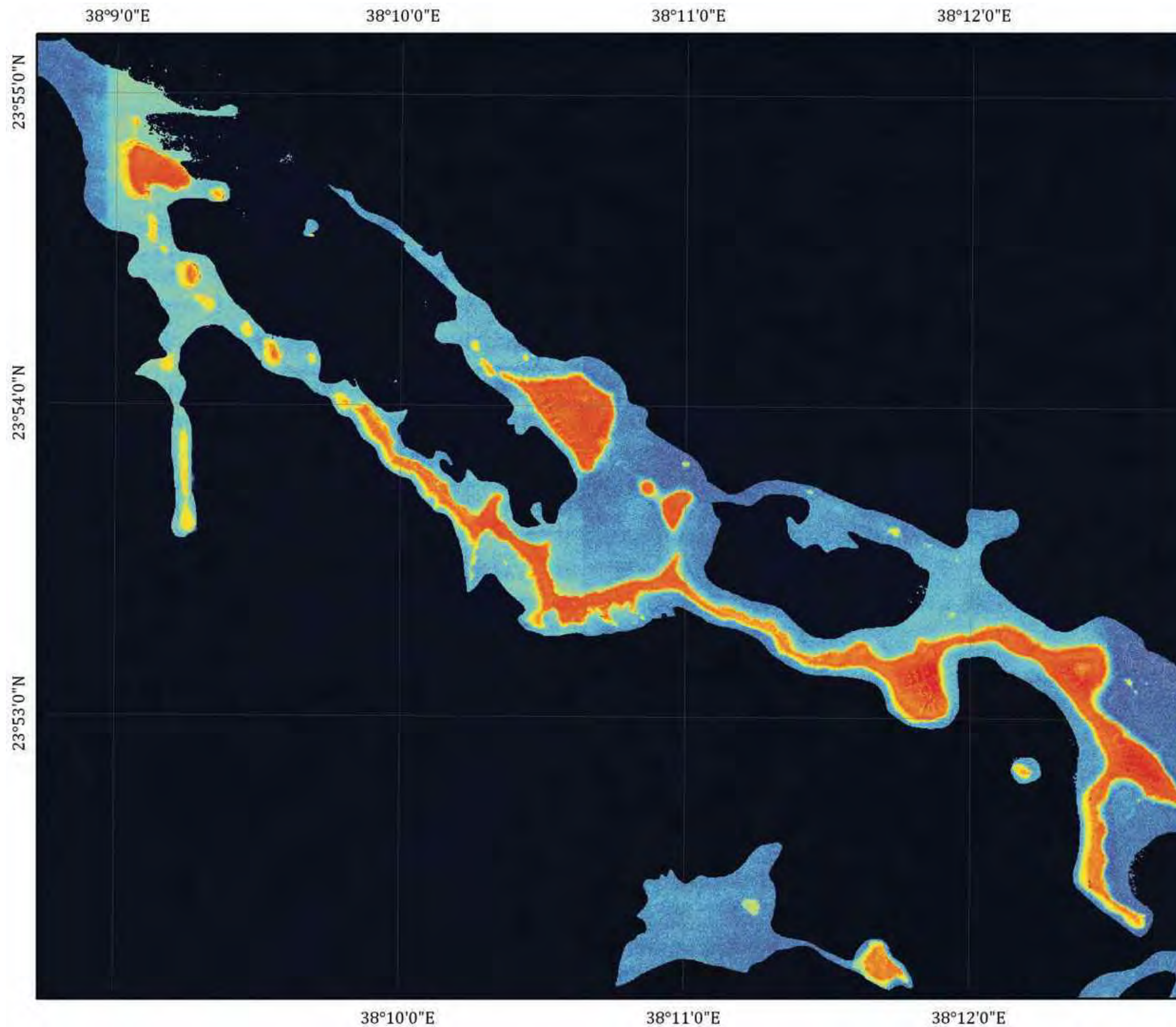
موانئ ينبع

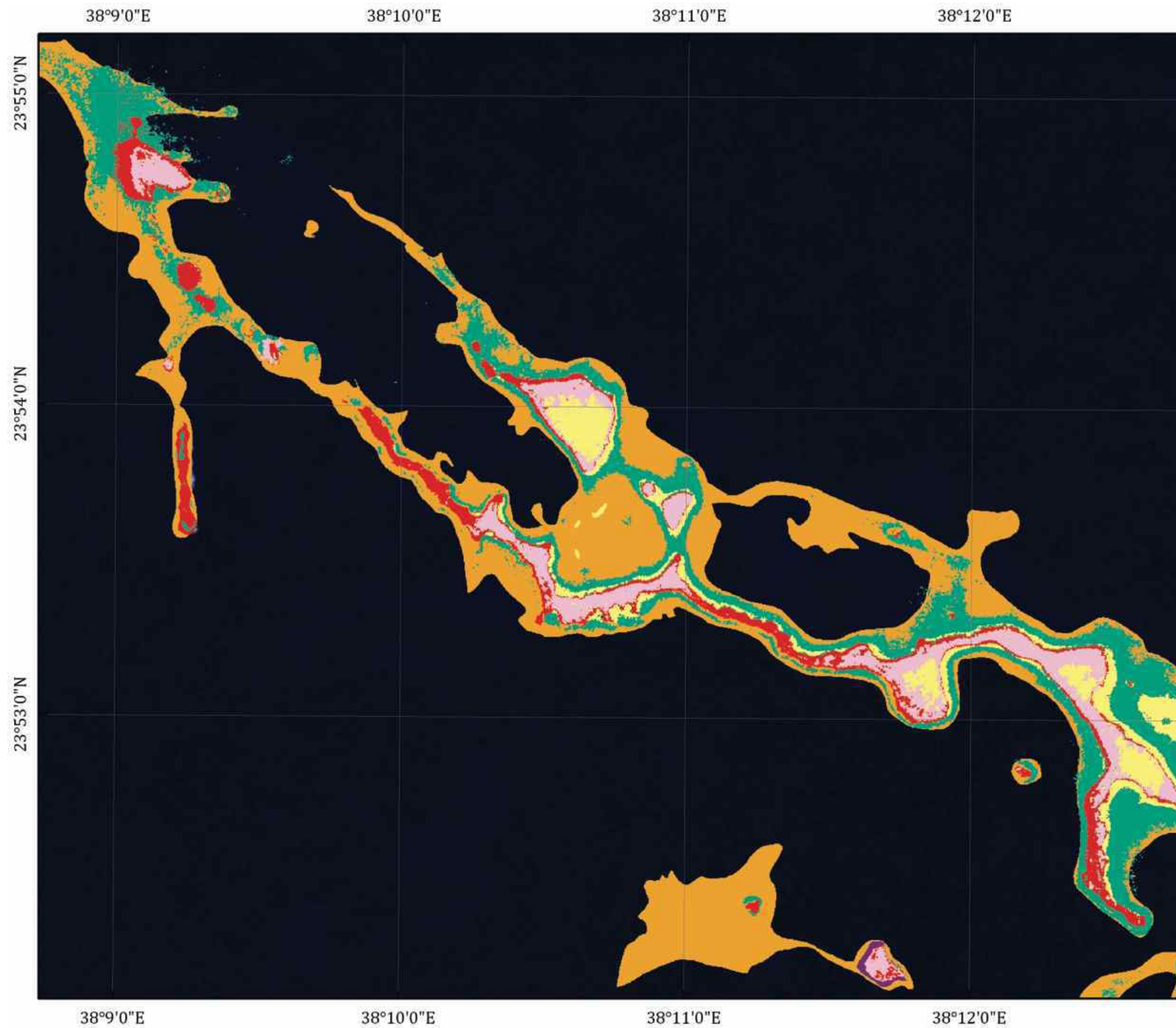
- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قبعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة

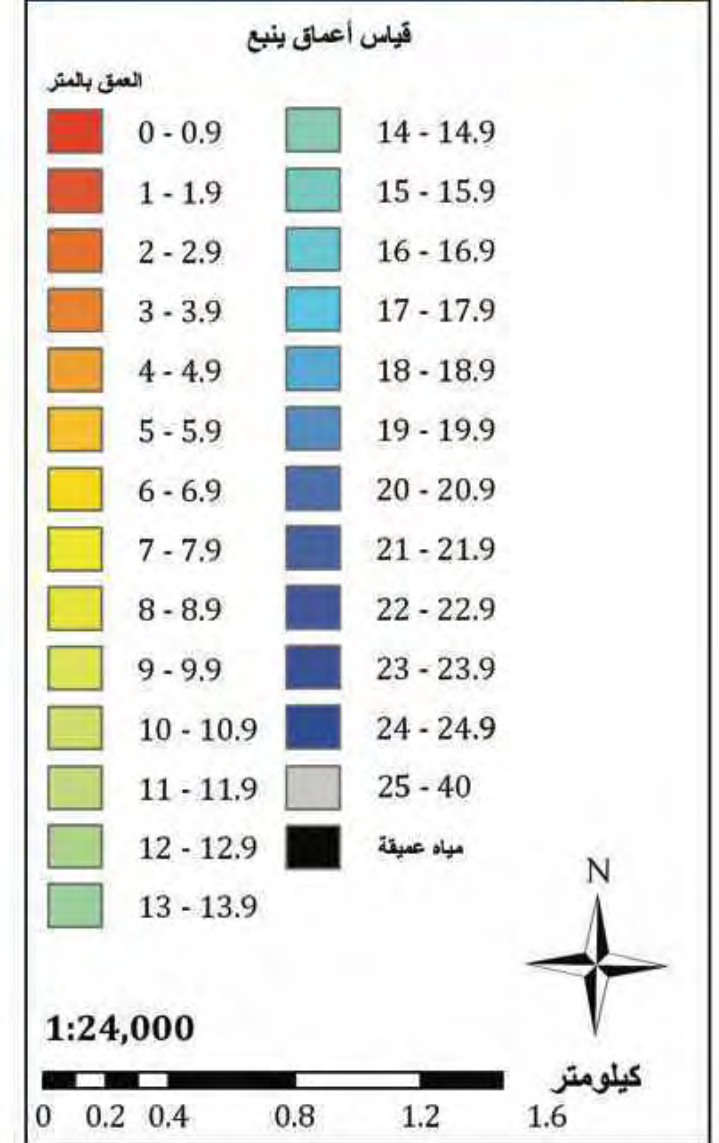
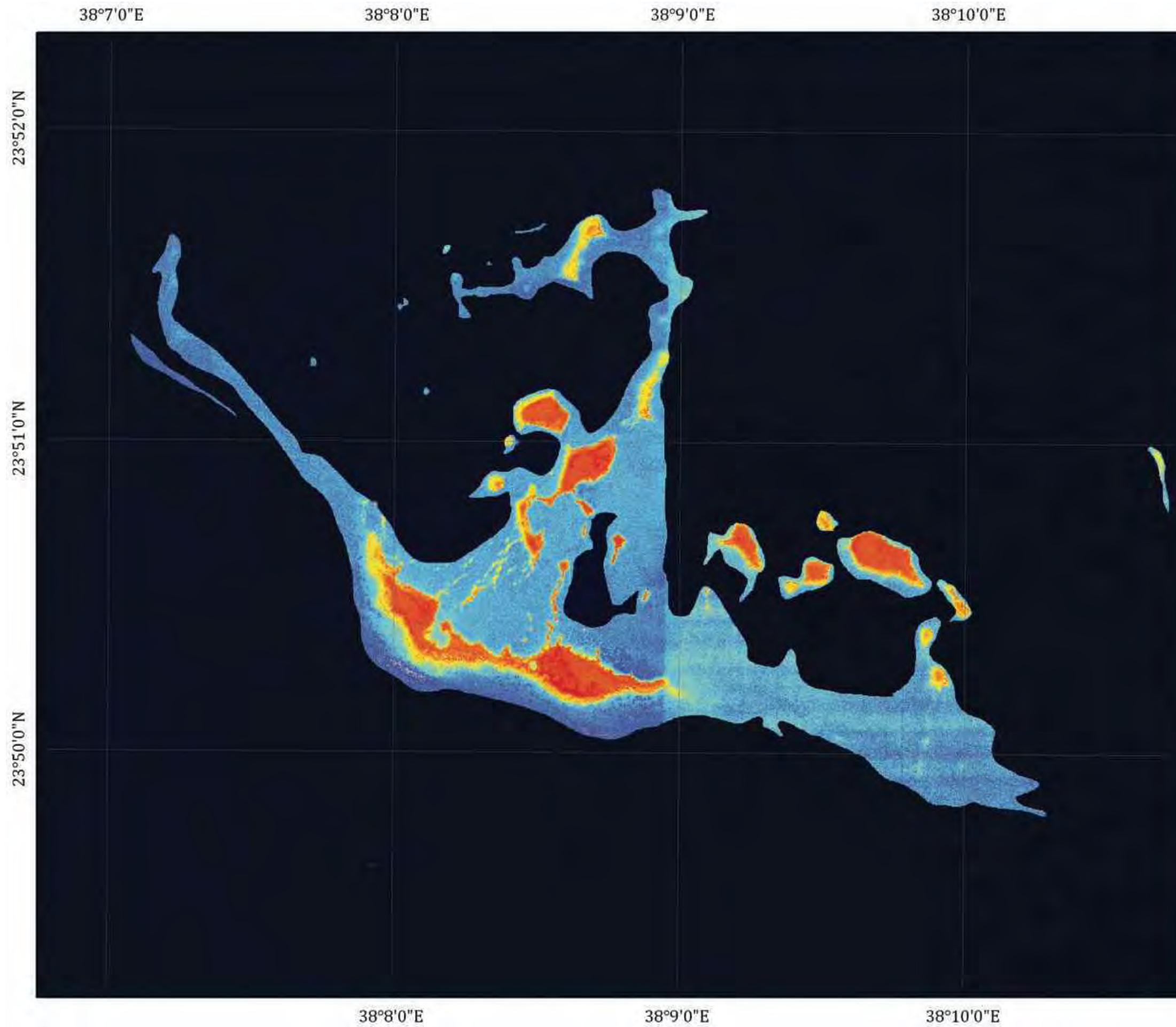


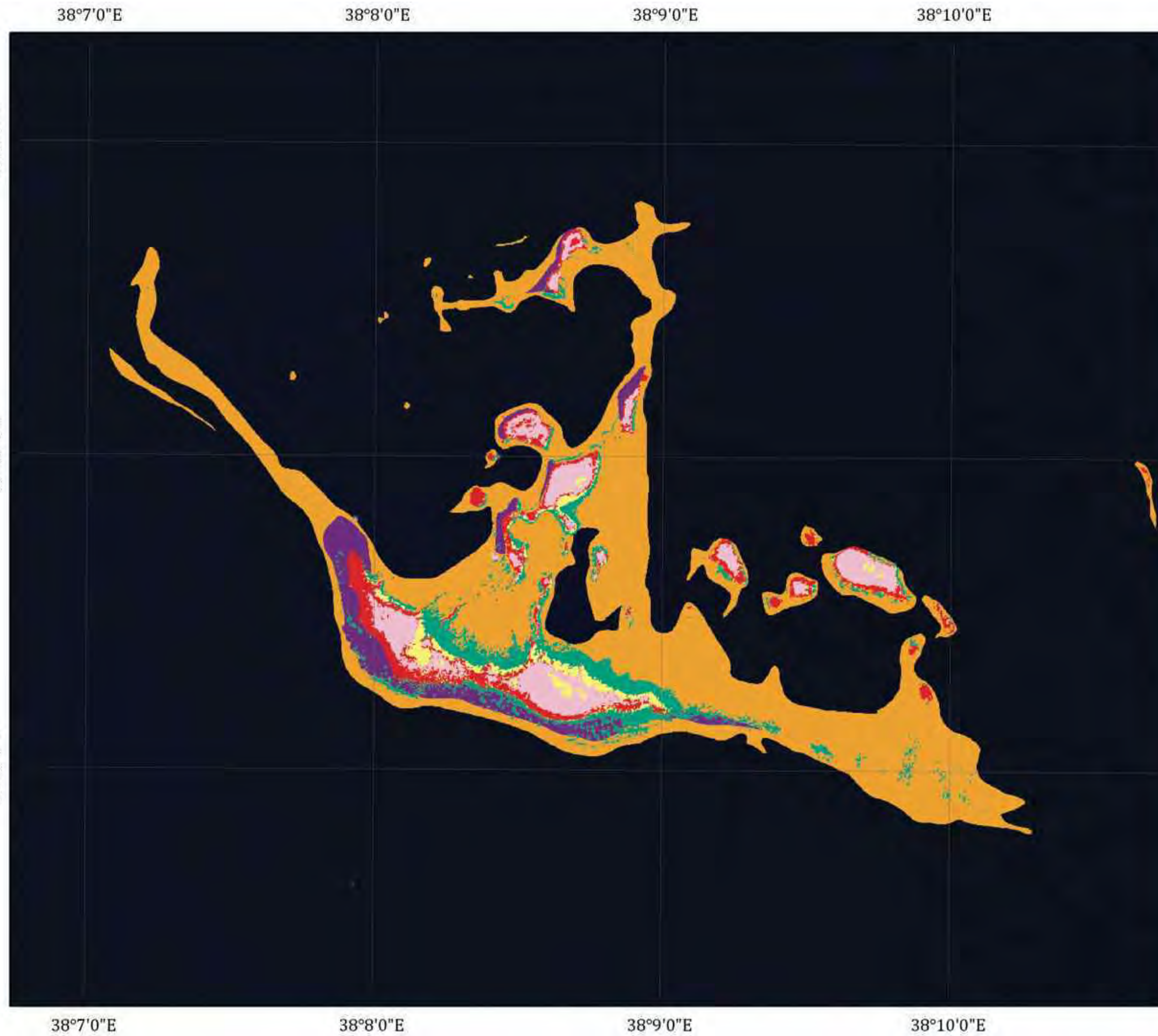
1:24,000











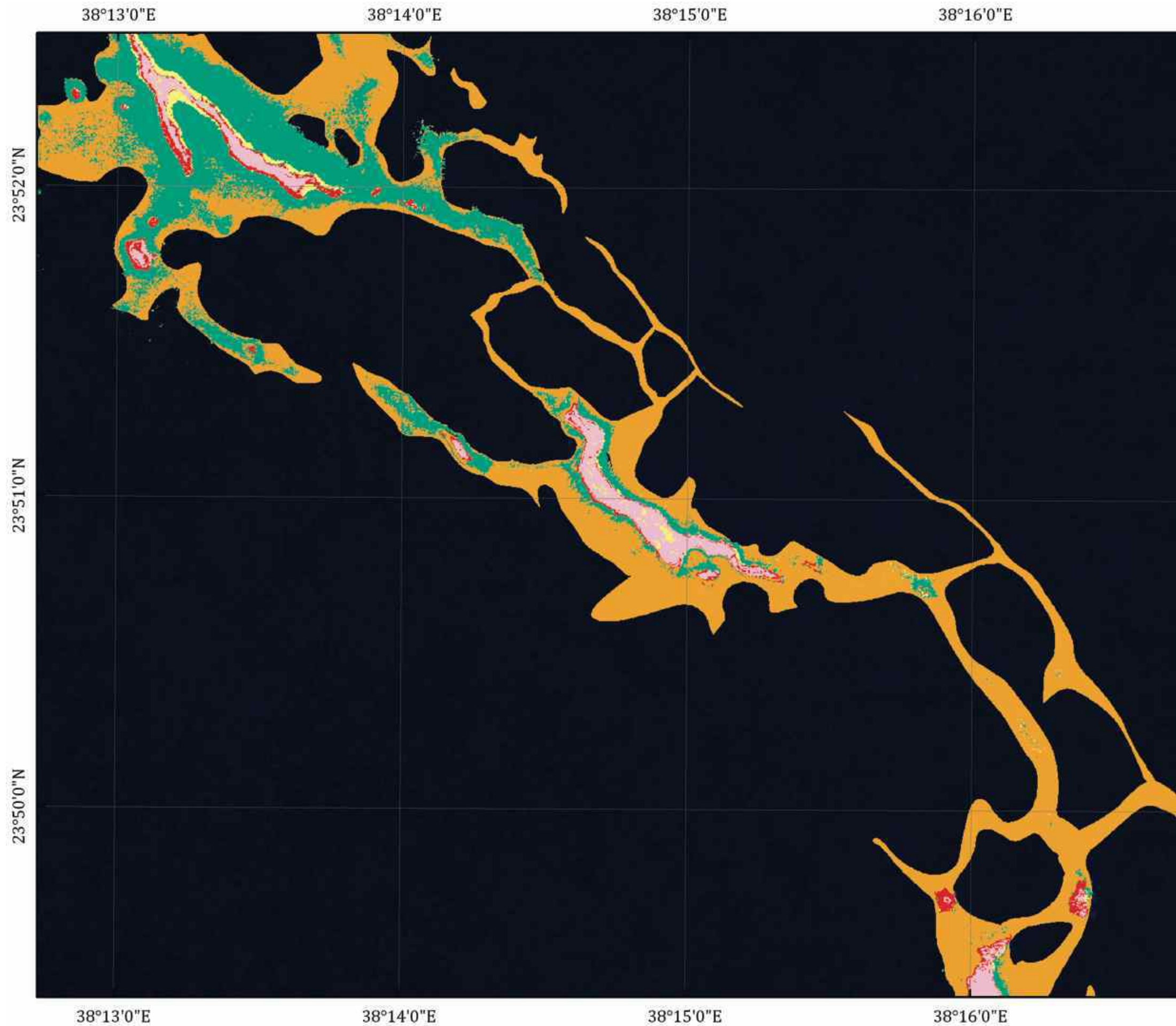
موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة

N

1:24,000

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 كيلومتر

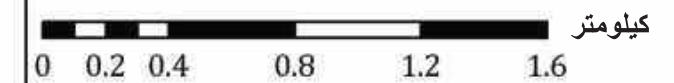


موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشوري (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000



38°13'0"E

38°14'0"E

38°15'0"E

38°16'0"E

23°52'0"N

23°51'0"N

23°50'0"N

38°15'0"E

38°16'0"E

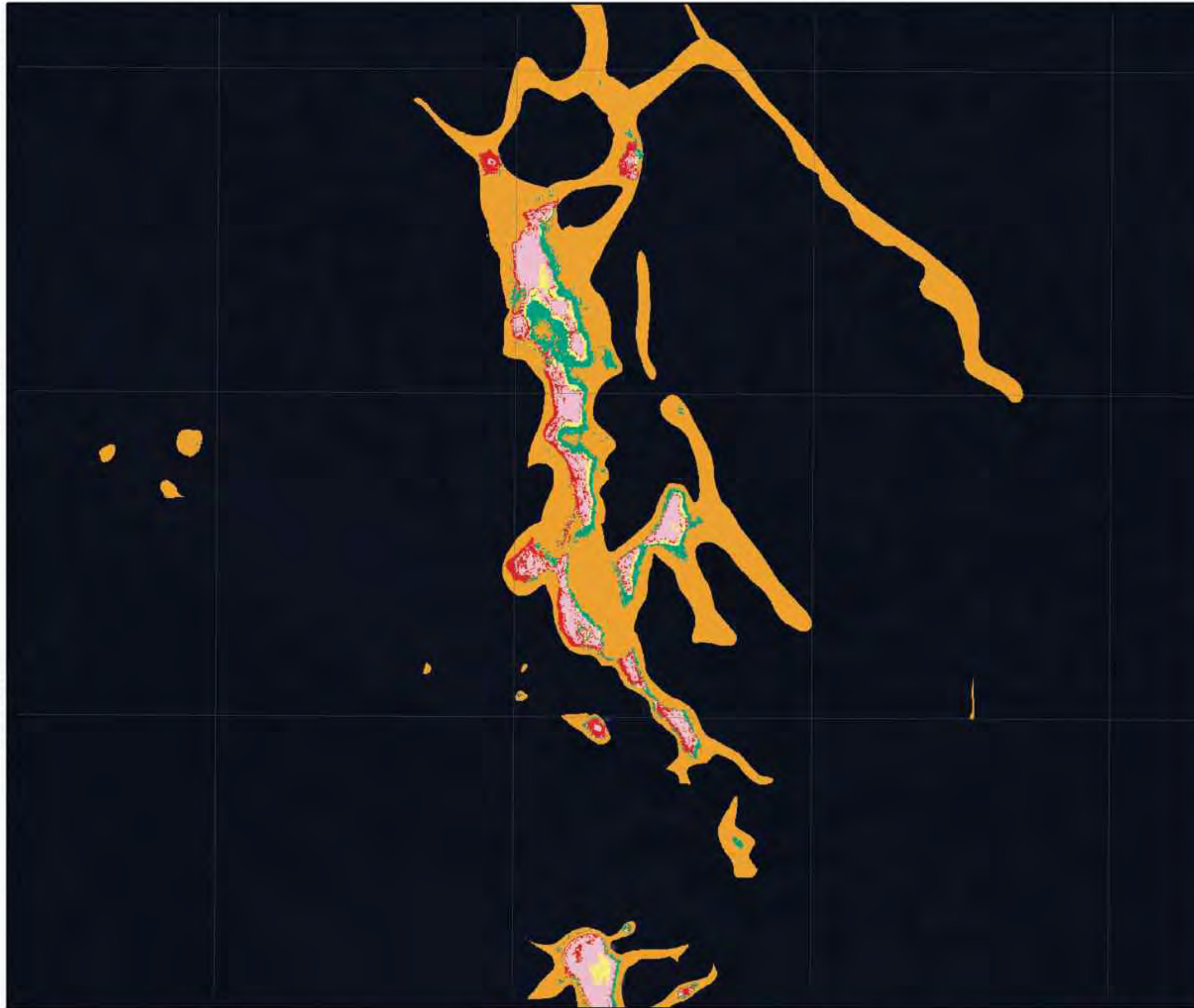
38°17'0"E

38°18'0"E

23°50'0"N

23°49'0"N

23°48'0"N

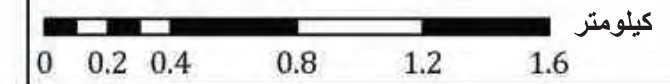


موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000

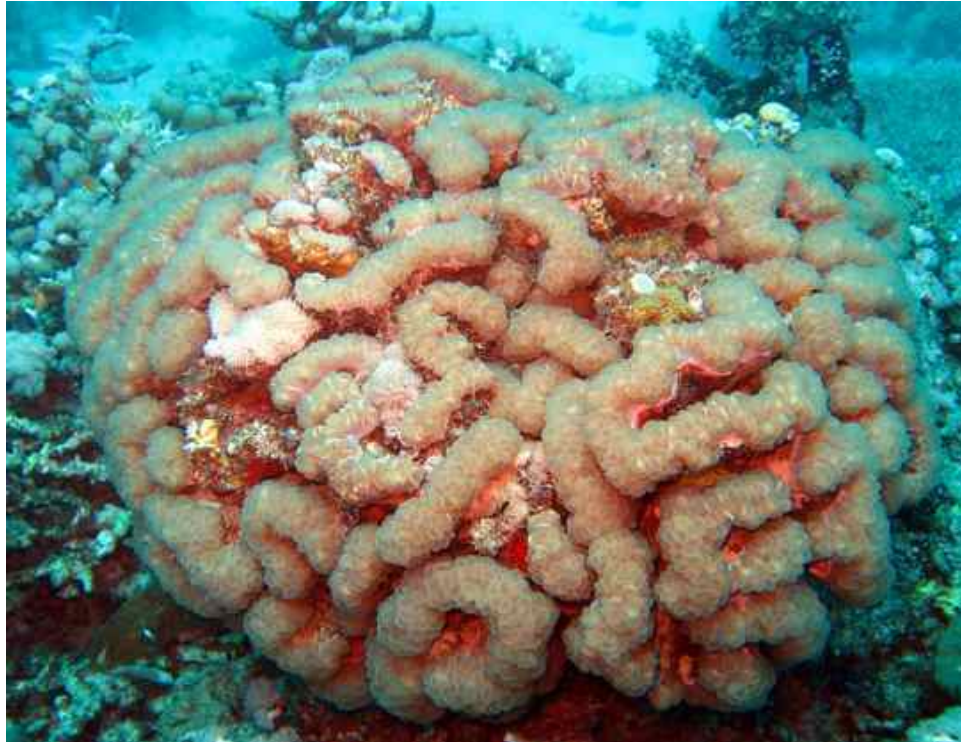


38°15'0"E

38°16'0"E

38°17'0"E

38°18'0"E



توجد مستعمرات معزولة من المرجان الفقاعي (*Plerogyra sinuosa*) على معظم الشعاب في منطقة ينبع. وهذه الفقاعات عبارة عن حويصلات مملوءة بالماء والتي يعتقد أنها تنظم كمية الضوء التي يتلقاها المرجان. وبالليل تمتد وتتسع اللوامس الكناسية، وهذه لديها لدغة قوية، تستخدم لالتقاط الطعام



يعتبر جنس *Pocillopora* الأكثر انتشاراً في شعاب ينبع. وغالباً ما تكون المستعمرات الصغيرة حية تماماً، واستهدفت أكبر المستعمرات المرجانية من قبل القواقع تناول الطعام التي يستهلكها مستعمرة بطريقة خطية



يحتوي جنس *Acropora* على أكثر الأنواع من أي أجناس أخرى، ولها أشكال متعددة النمو. بعض الأنواع (*A. hemprichii* وسط أعلى) تنتج فروع طويلة في بيئة محمية مكونة غابة كثيفة شديدة التعقيد مع فروع قصيرة في المياه الضحلة معرضة لنشاط الأمواج (وسط)



بقعة كثيفة من مرجان *Pocillopora* وجدت داخل قمة شعاب (عمق 2 - 4 م) في بعض الشعاب البعيدة



بعض المستعمرات من نوع *Turbinaria* تشكل قشرة على القاع في أعماق متوسطة (3 - 10 م) وتكون صفائح متداخلة على الجدران

يسار: المرجان الجلدي (*Sarcophyton*) وهو مرجان لين لا يمتلك هيكل وغالباً ما يحتل الهياكل المرجانية الميتة ويكون تجمعات ضخمة

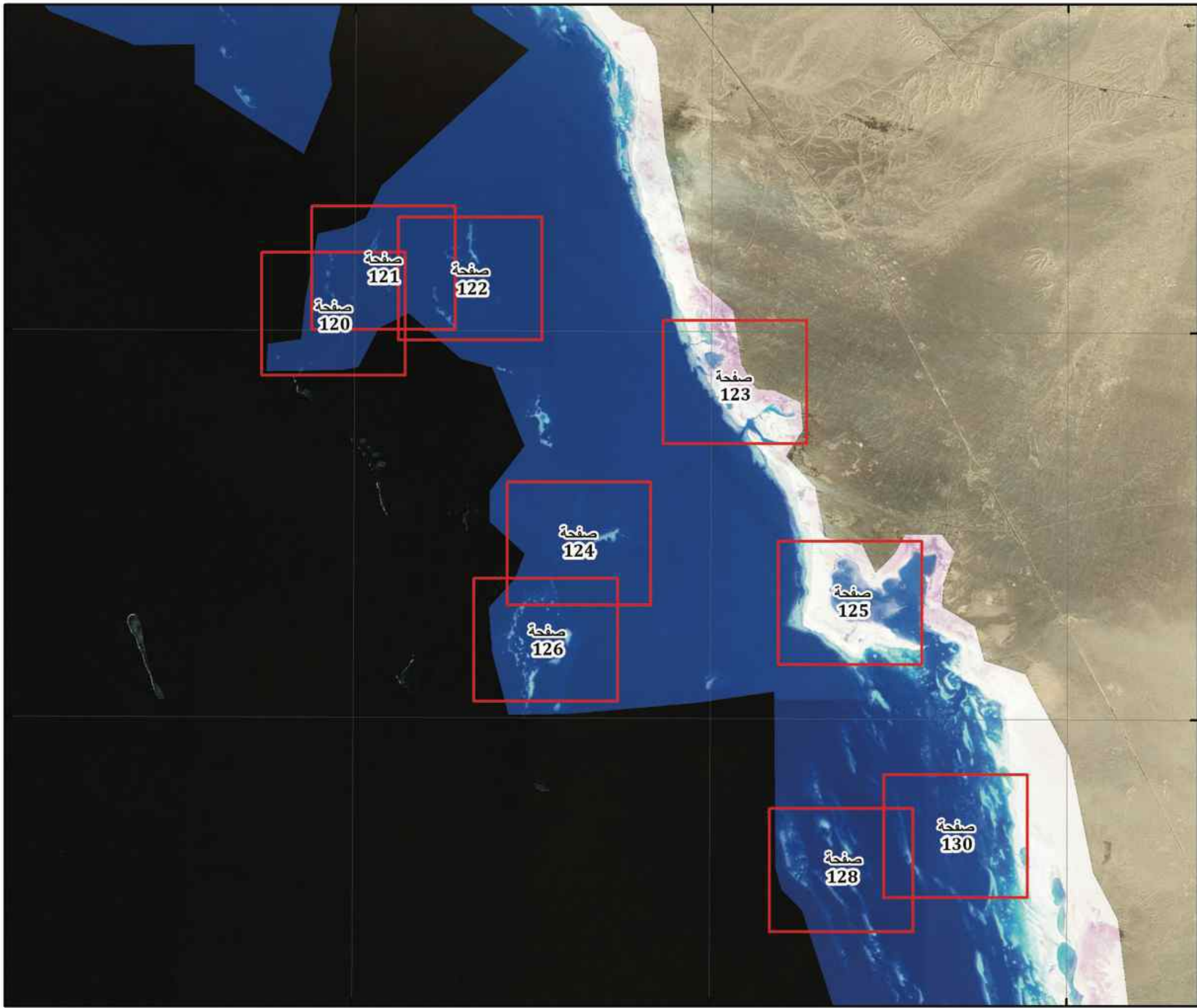
38°20'0"E

38°30'0"E

38°40'0"E

23°40'0"N

23°30'0"N

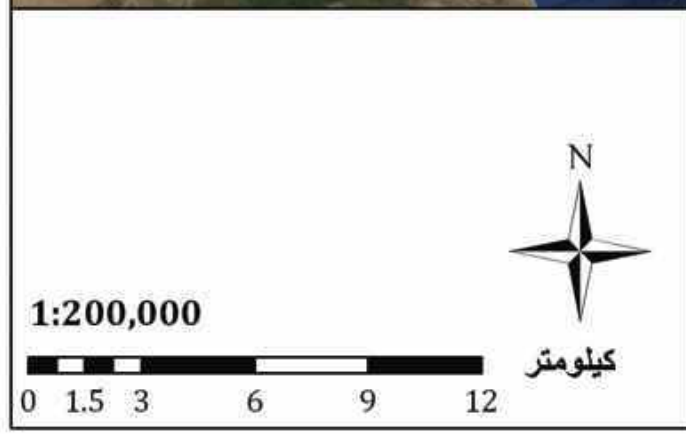


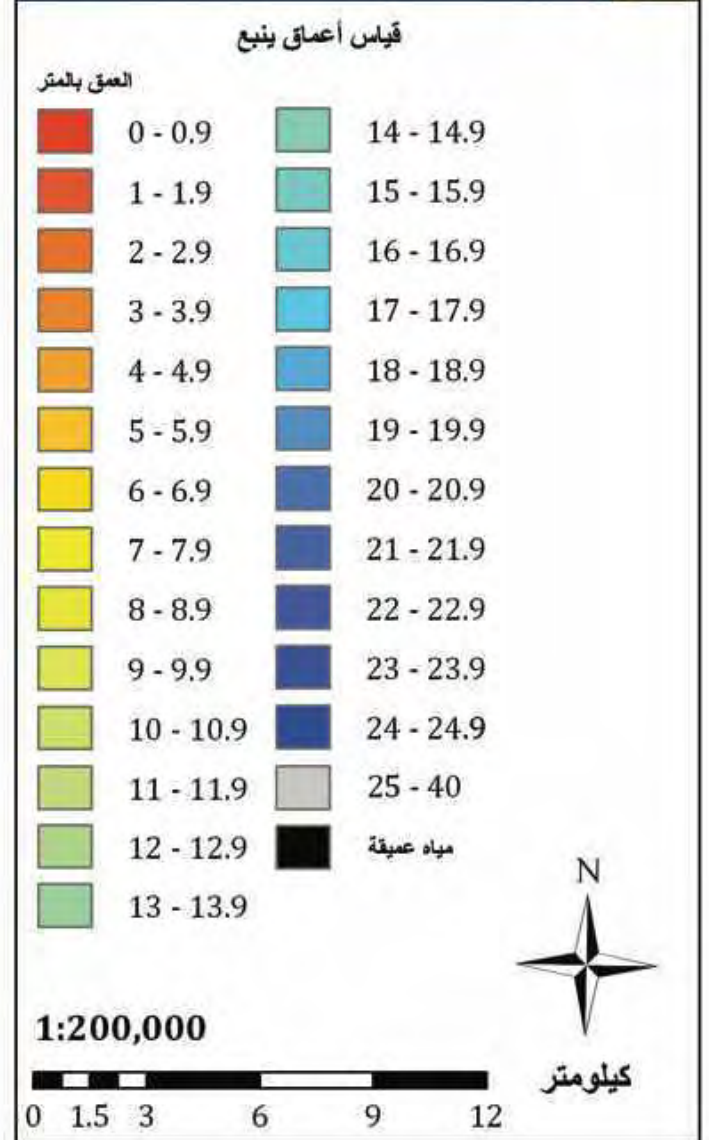
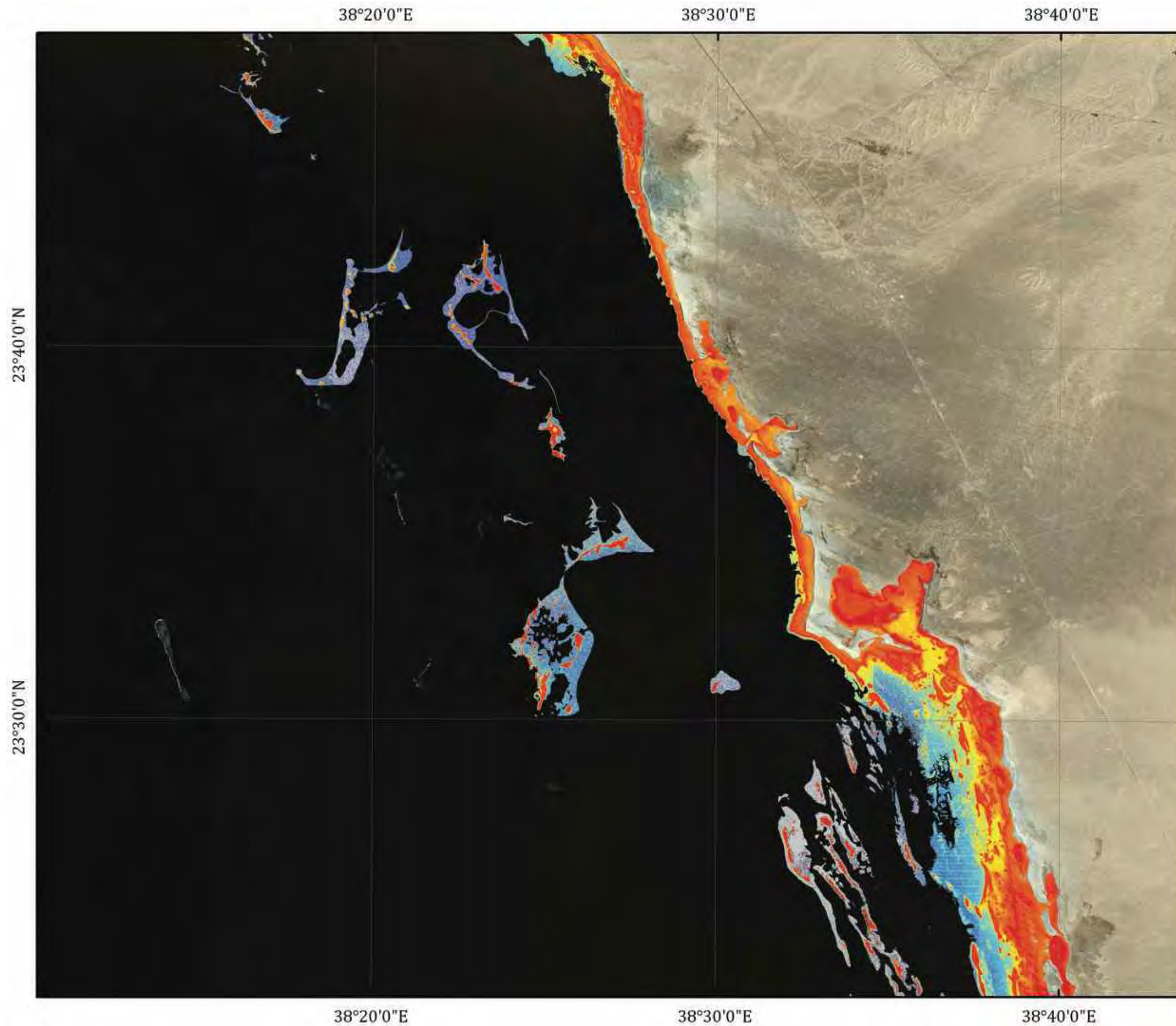
38°20'0"E

38°30'0"E

38°40'0"E

خريطة موقع ينبع





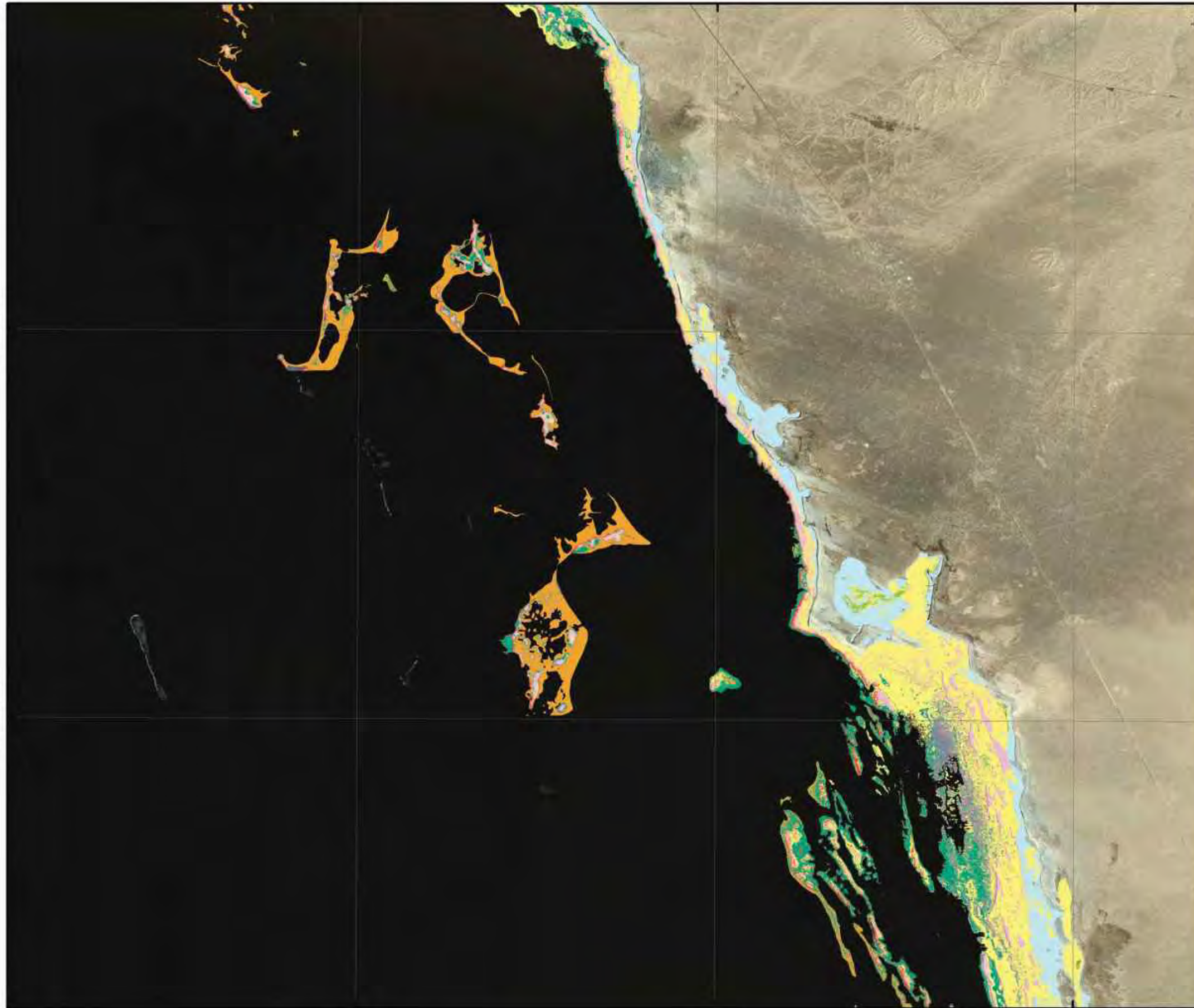
38°20'0"E

38°30'0"E

38°40'0"E

23°40'0"N

23°30'0"N

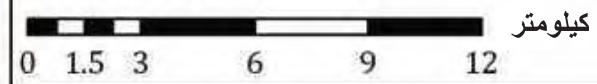


موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



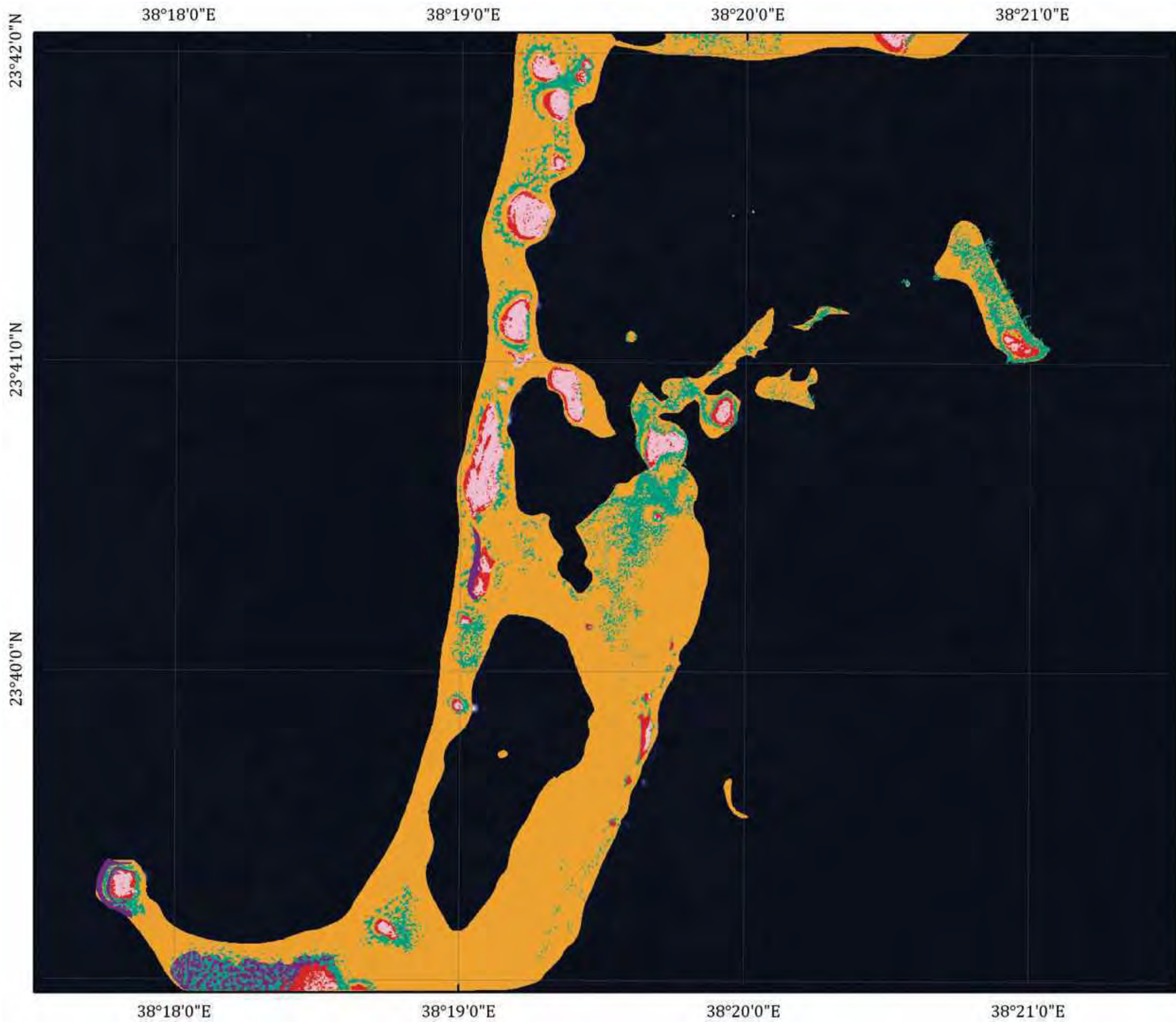
1:200,000



38°20'0"E

38°30'0"E

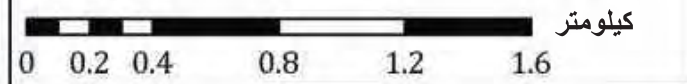
38°40'0"E

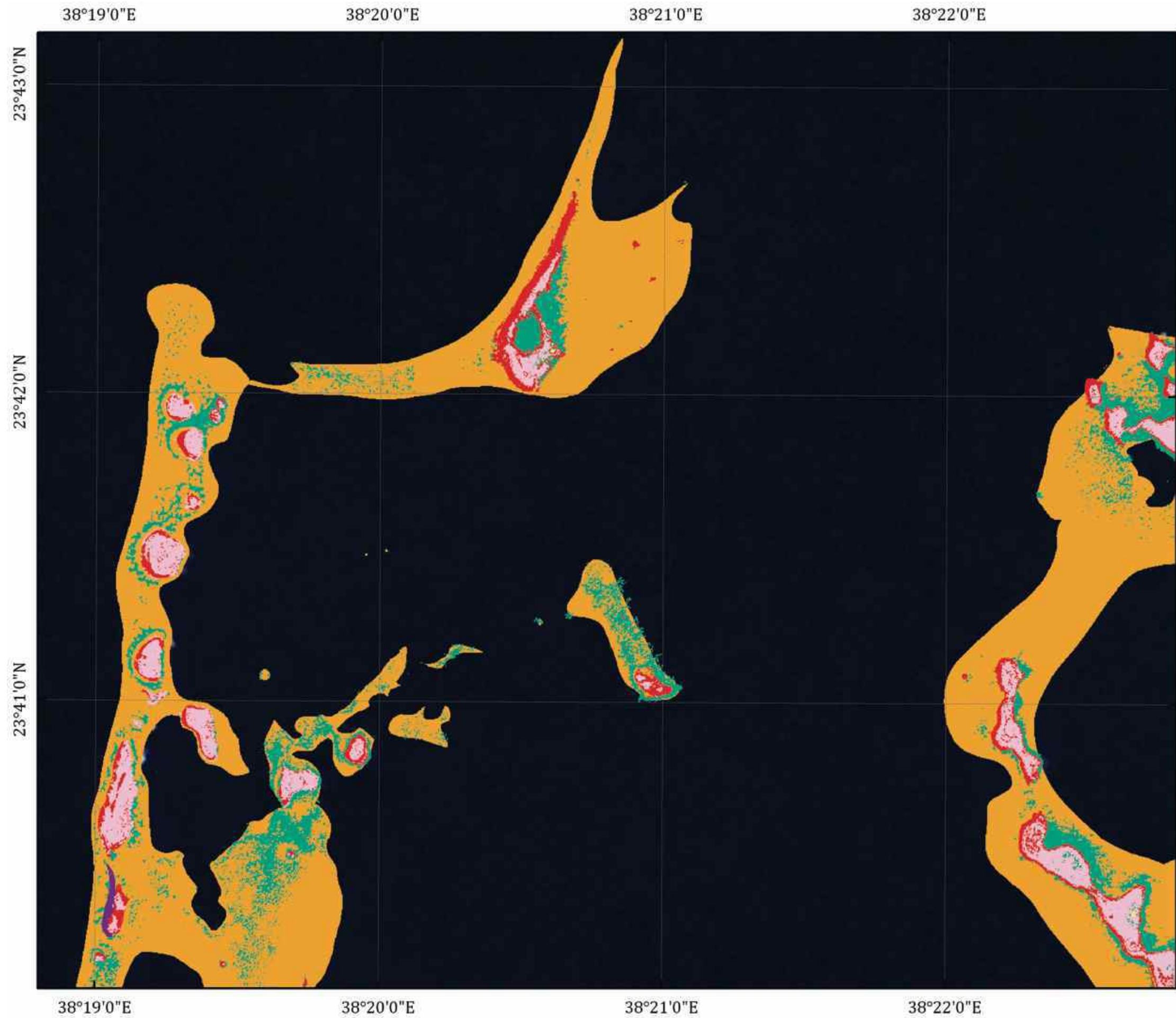


موانئ ينبع

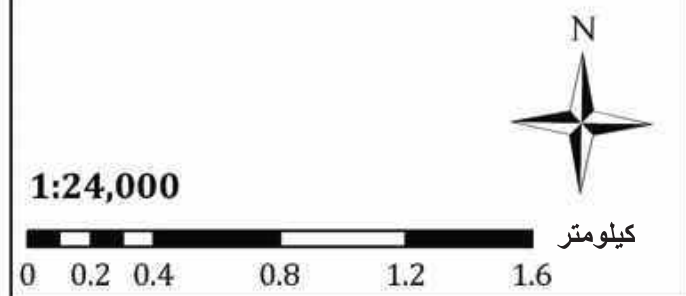
- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة

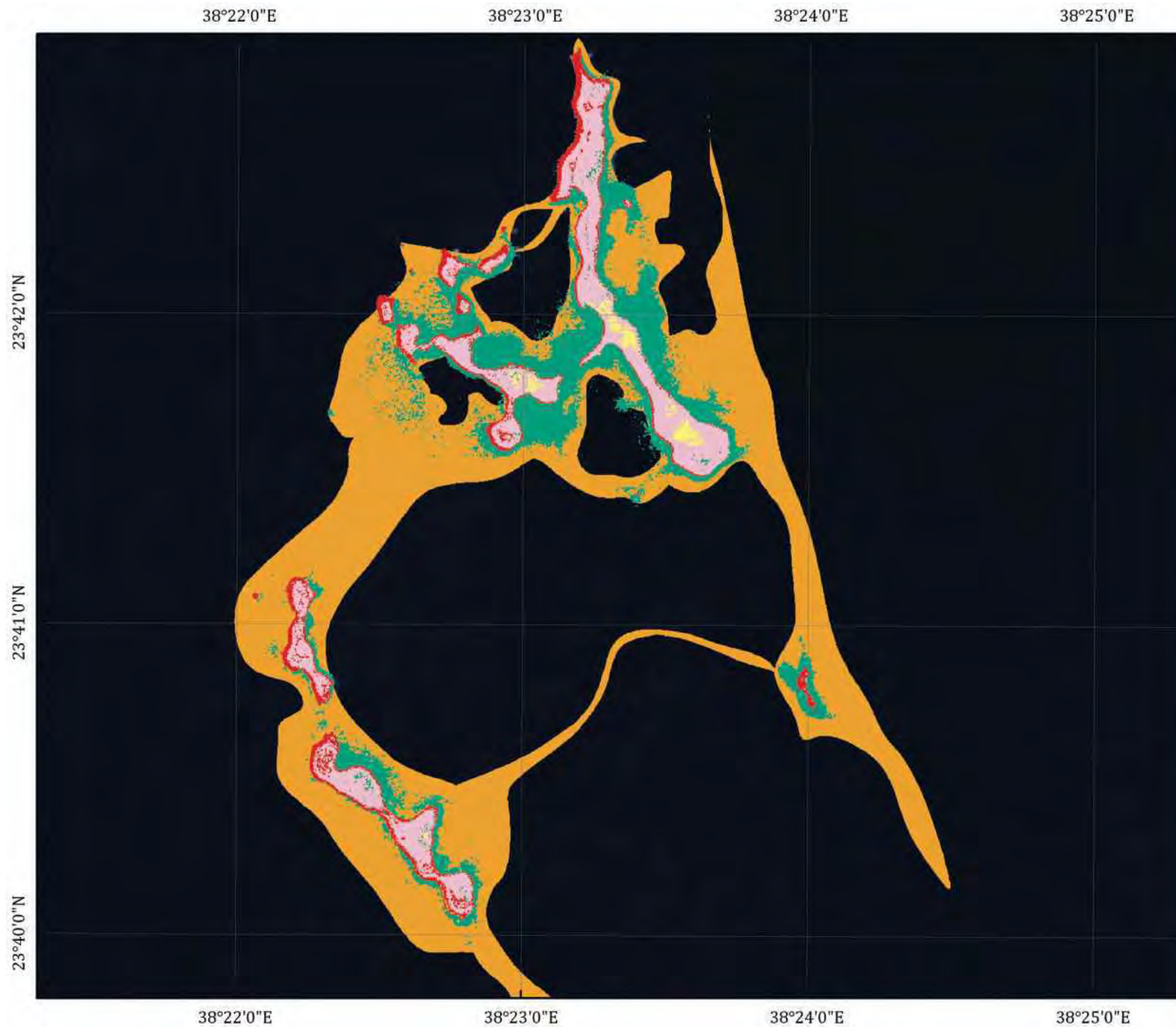
1:24,000





- موانل ينبع**
- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
 - قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
 - بقع أكروبورا كثيفة
 - هياكل عمودية
 - مرجان منتشر وحجارة ورمل
 - مسطحات الحشائش البحرية
 - طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
 - أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
 - قيعان كربونية ومسطحات شعاب
 - طبقات رمال ضحلة
 - مسطحات رمل وطنين
 - مياه عميقة



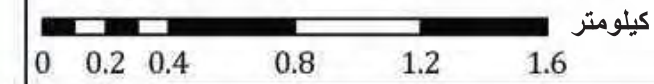


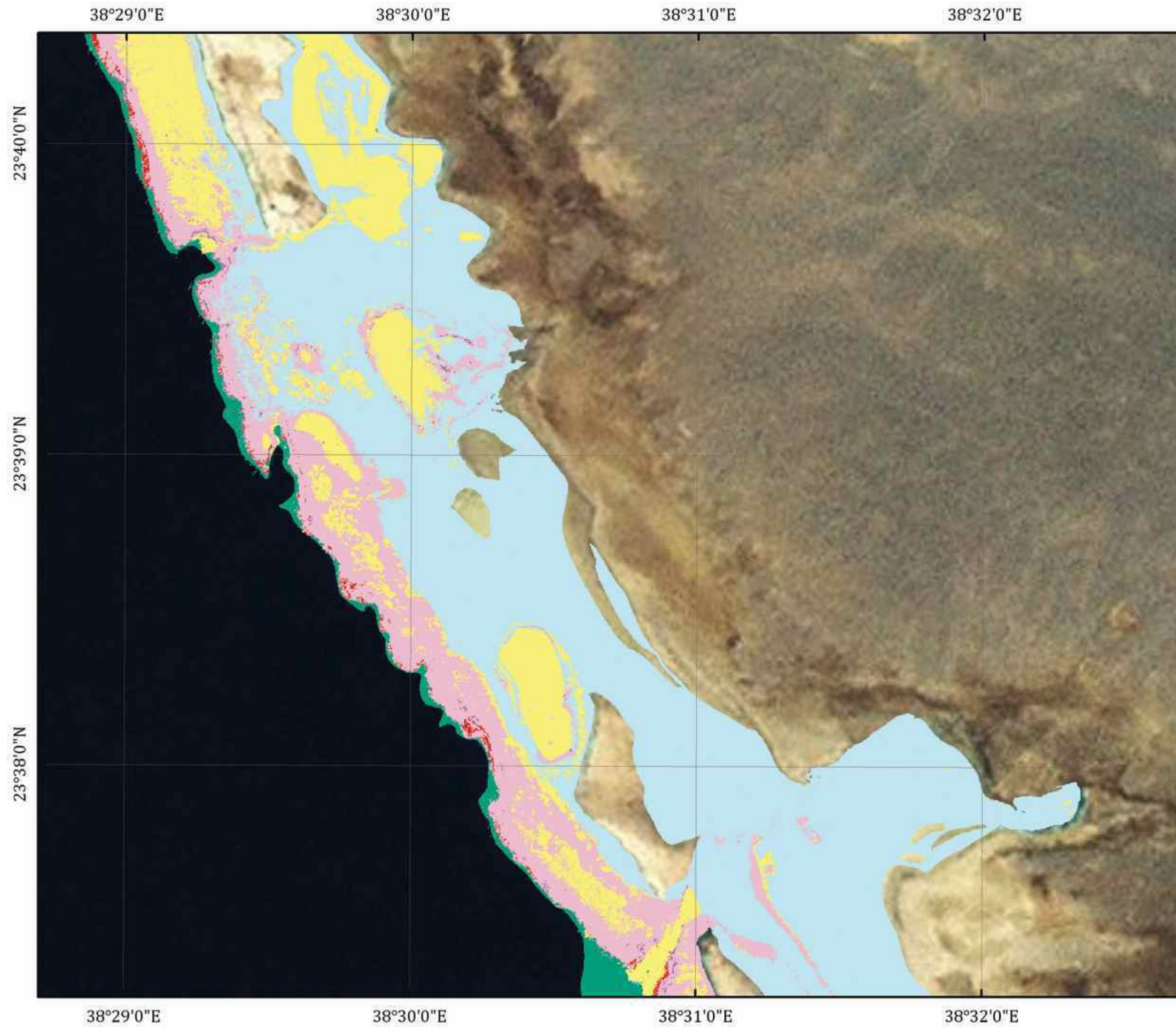
موانئ ينيح

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشوري (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000





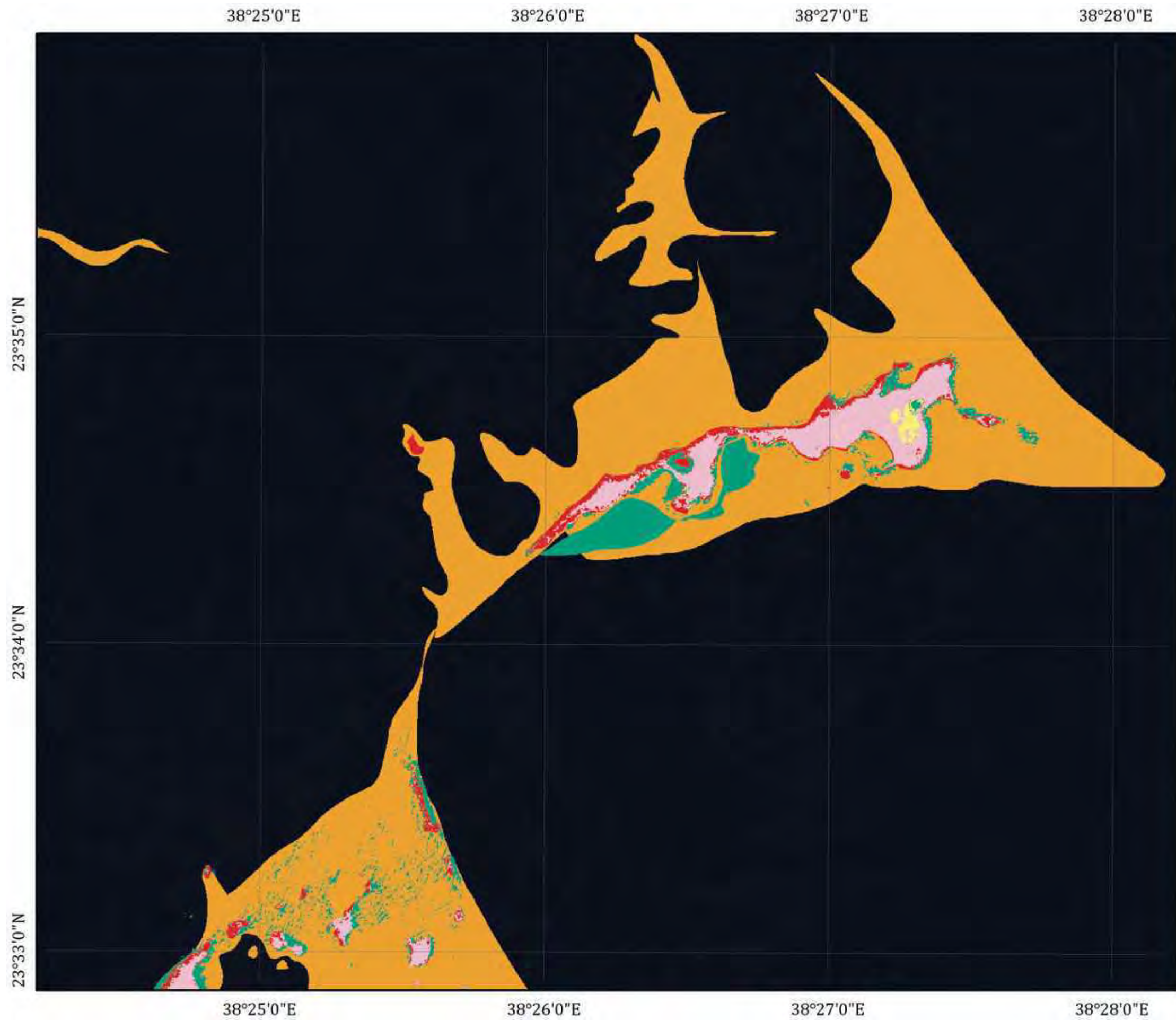
موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة

N

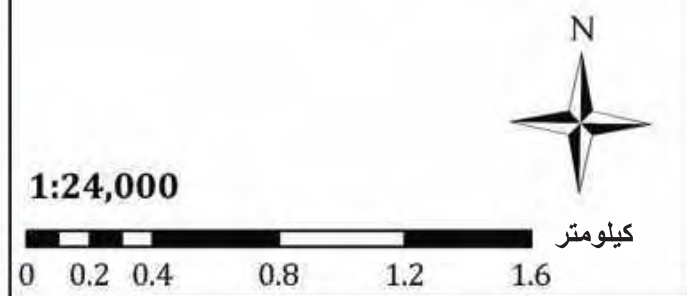
1:24,000

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 كيلومتر



موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



38°33'0"E

38°34'0"E

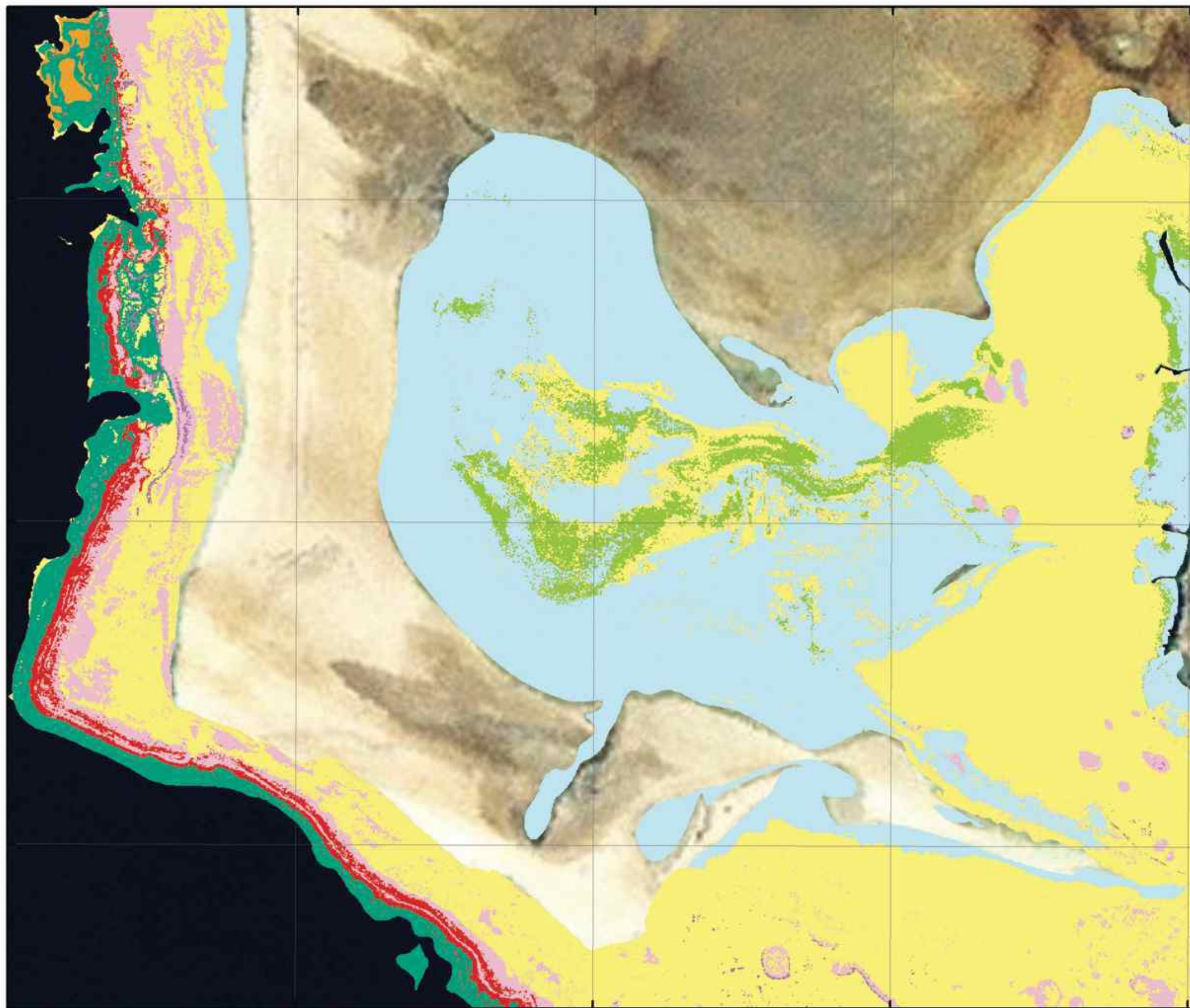
38°35'0"E

38°36'0"E

23°34'0"N

23°33'0"N

23°32'0"N

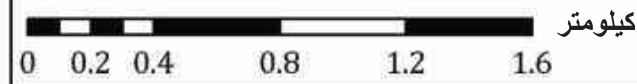


موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قبعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000

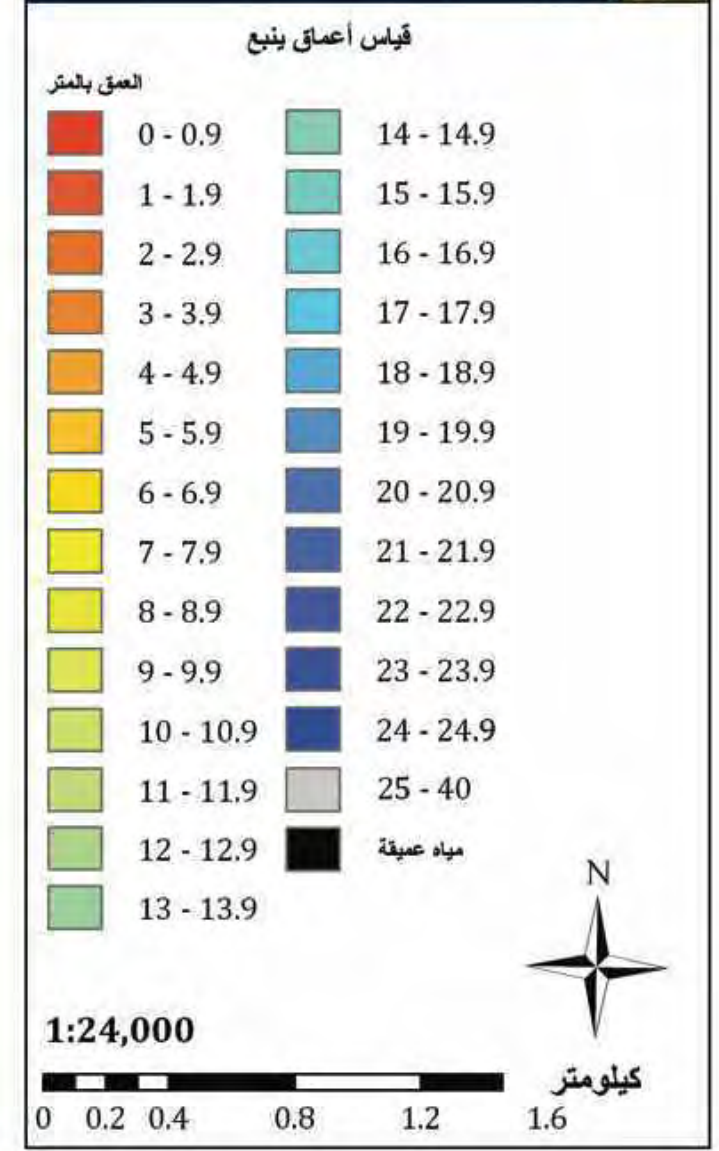
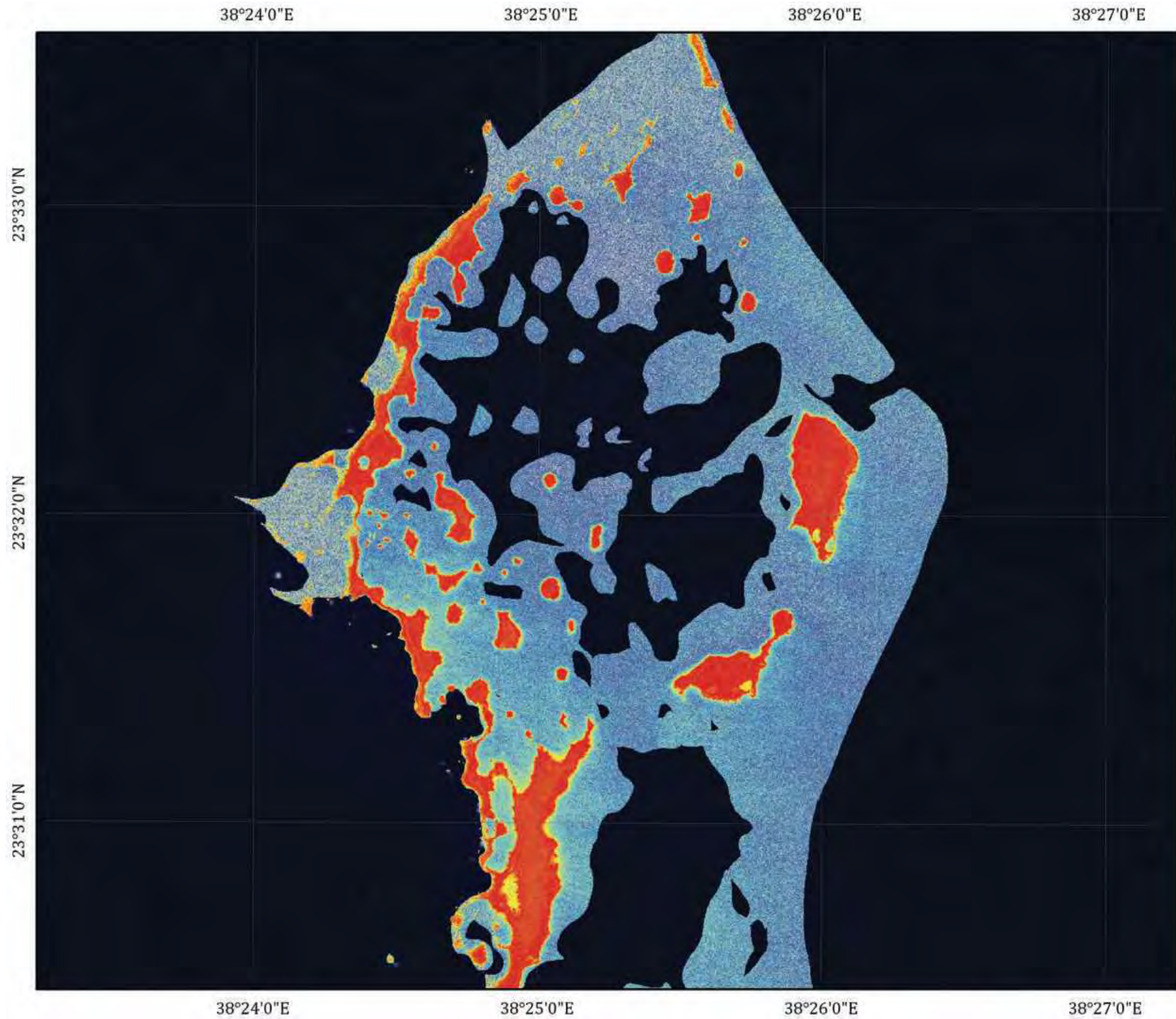


38°33'0"E

38°34'0"E

38°35'0"E

38°36'0"E



38°24'0"E

38°25'0"E

38°26'0"E

38°27'0"E

23°33'0"N

23°32'0"N

23°31'0"N



38°24'0"E

38°25'0"E

38°26'0"E

38°27'0"E

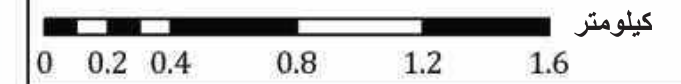


موانل ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطن
- مياه عميقة



1:24,000



38°32'0"E

38°33'0"E

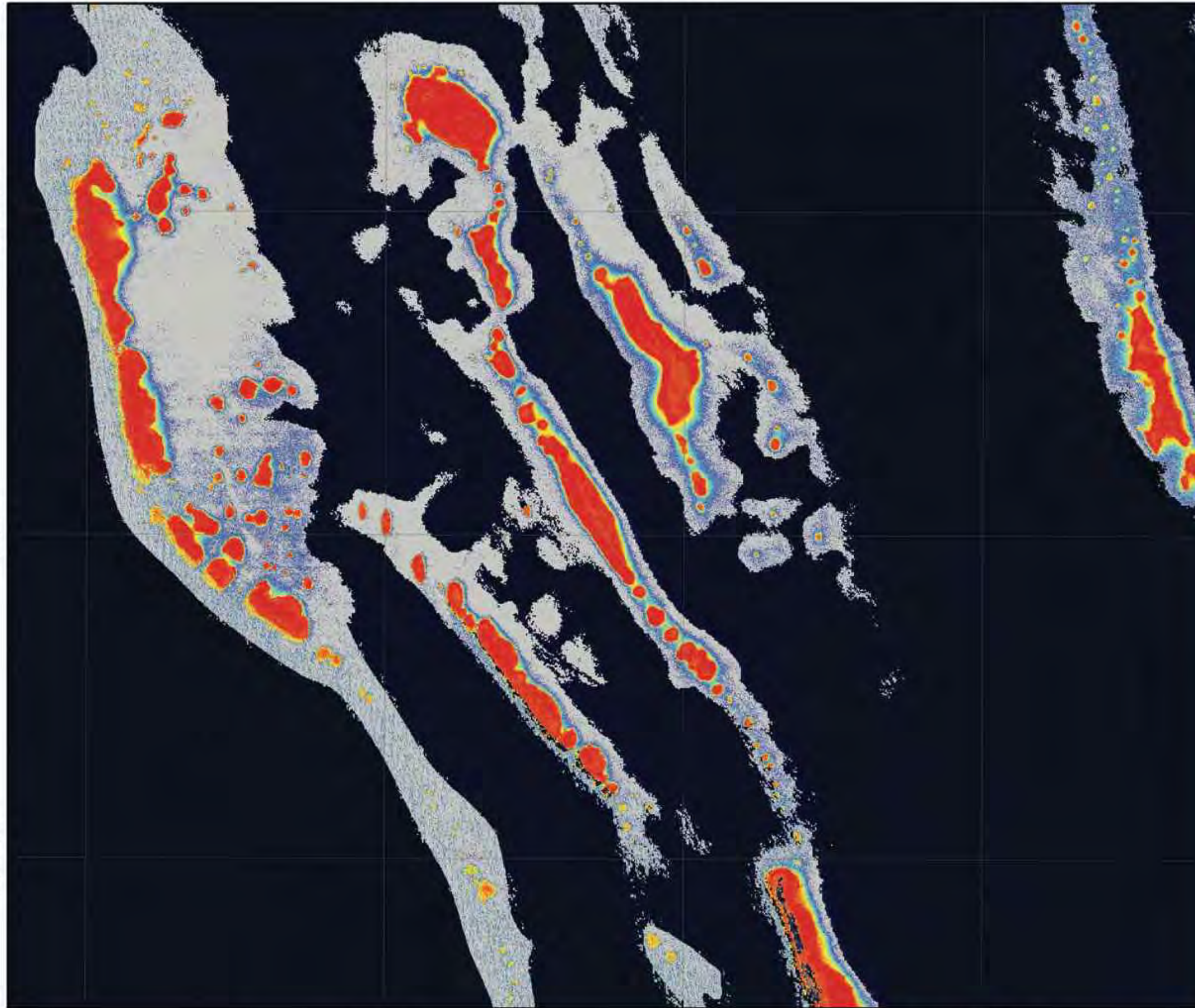
38°34'0"E

38°35'0"E

23°27'0"N

23°26'0"N

23°25'0"N



38°33'0"E

38°34'0"E

38°35'0"E

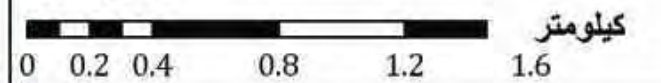


قياس أعماق بنبع

العمق بالمتر

0 - 0.9	14 - 14.9
1 - 1.9	15 - 15.9
2 - 2.9	16 - 16.9
3 - 3.9	17 - 17.9
4 - 4.9	18 - 18.9
5 - 5.9	19 - 19.9
6 - 6.9	20 - 20.9
7 - 7.9	21 - 21.9
8 - 8.9	22 - 22.9
9 - 9.9	23 - 23.9
10 - 10.9	24 - 24.9
11 - 11.9	25 - 40
12 - 12.9	مياه عميقة
13 - 13.9	

1:24,000



كيلومتر

38°32'0"E

38°33'0"E

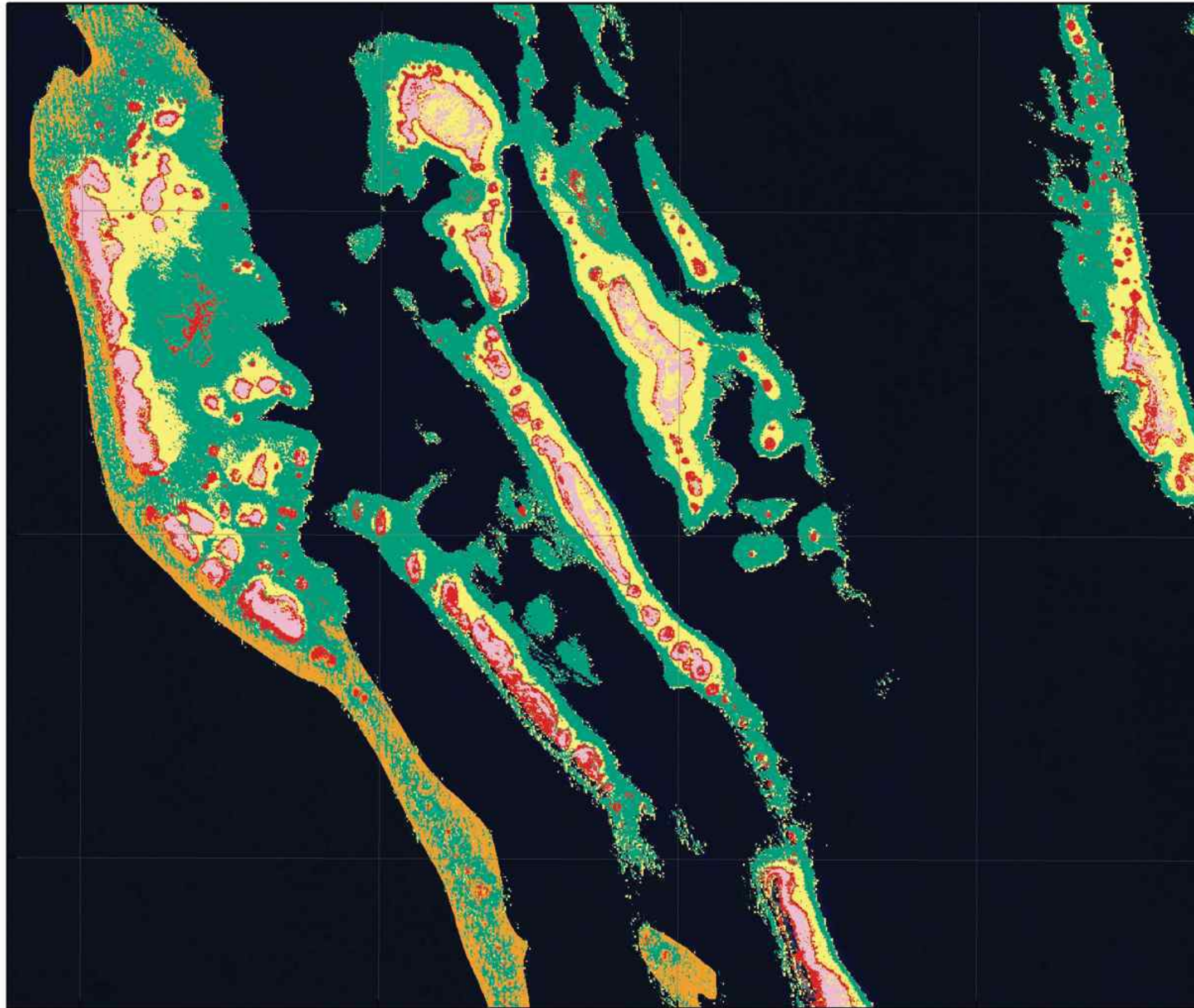
38°34'0"E

38°35'0"E

23°27'0"N

23°26'0"N

23°25'0"N



38°32'0"E

38°33'0"E

38°34'0"E

38°35'0"E

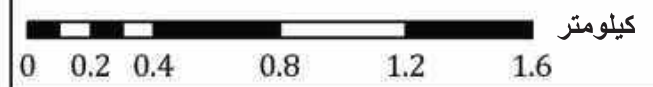


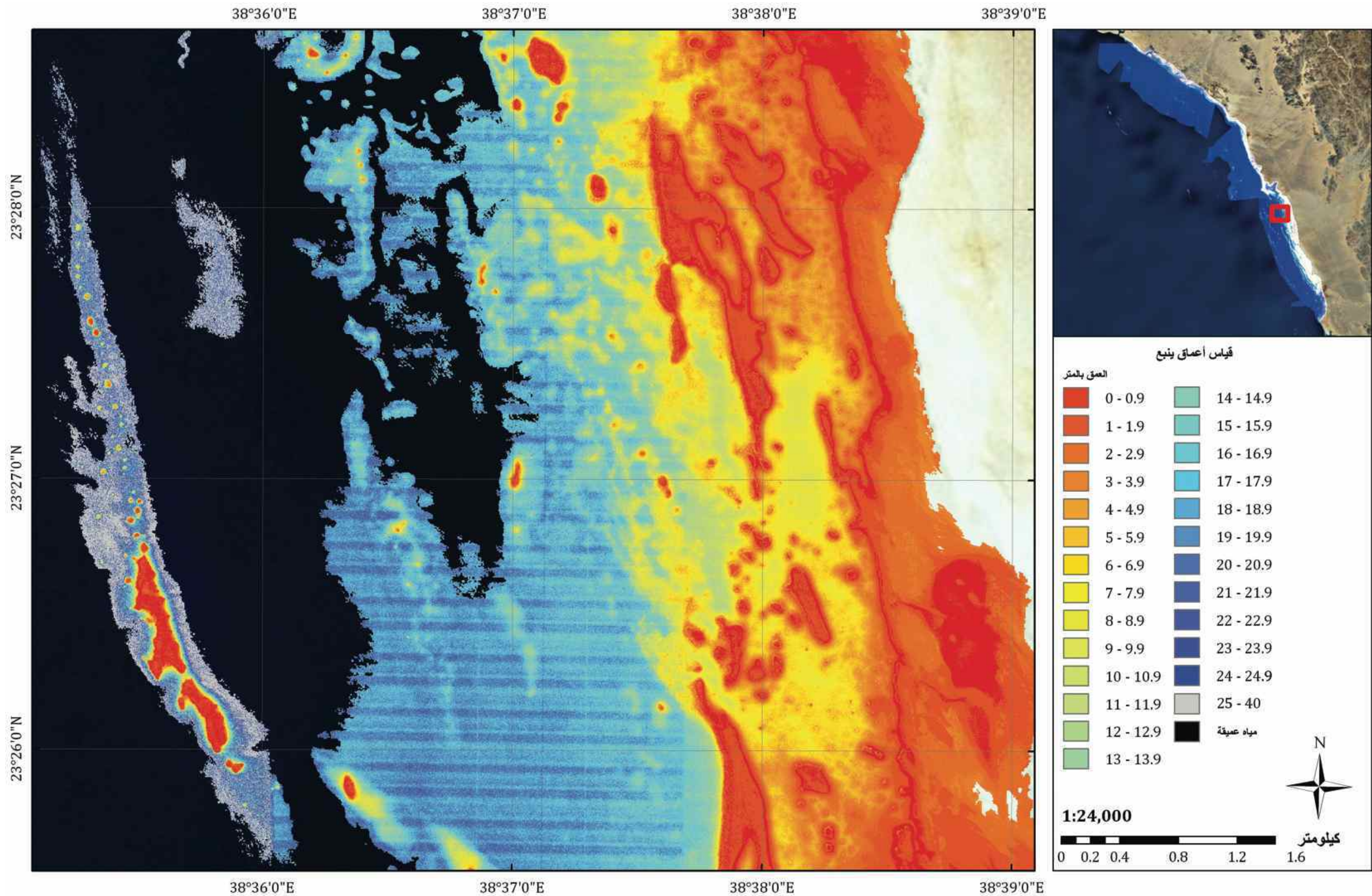
موانئ ينبع

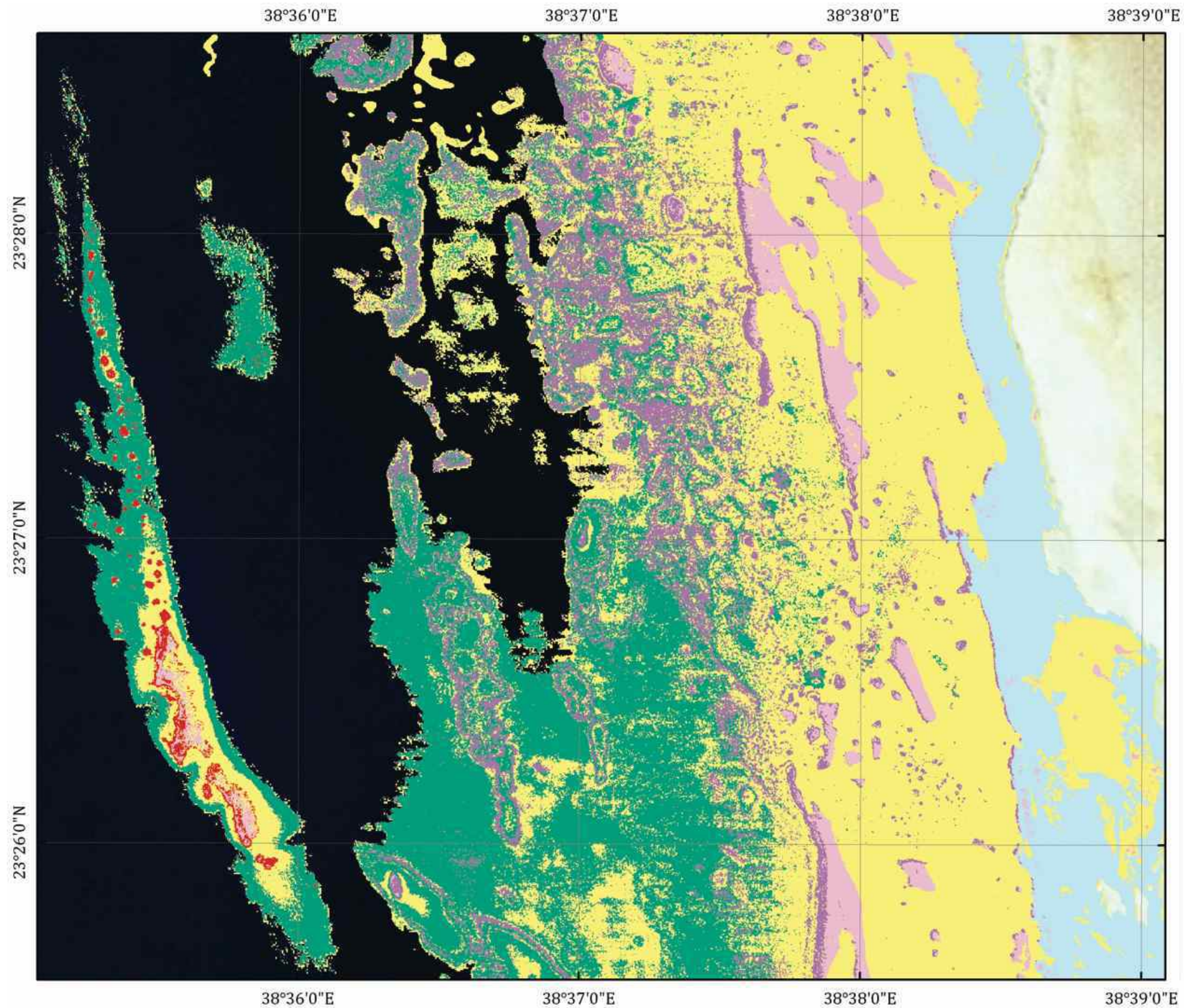
- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



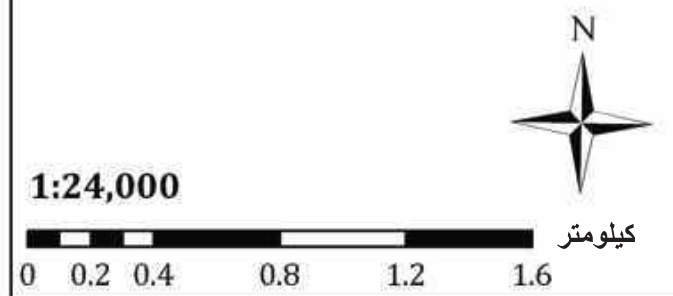
1:24,000







- موانئ ينبع**
- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
 - قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
 - بقع أكروبورا كثيفة
 - هياكل عمودية
 - مرجان متناثر وحجارة ورمل
 - مسطحات الحشائش البحرية
 - طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
 - أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
 - قيعان كربونية ومسطحات شعاب
 - طبقات رمال ضحلة
 - مسطحات رمل وطنين
 - مياه عميقة





مستعمرة عمودية مفصصة من نوع *Porites lutea* في المياه الضحلة



شعاب مرجانية ضخمة من جنس *Goniopora* تمتد لوامسها خلال النهار. وهذه الشعاب المرجانية ترتبط ارتباطاً وثيقاً ببناء هيكل الـ *Porites* السائد في المنطقة. وتميل هذه المرجانيات بنموها في البيئات العكرة في الهور وتكون مستعمرات ضخمة بشكل غير عادي



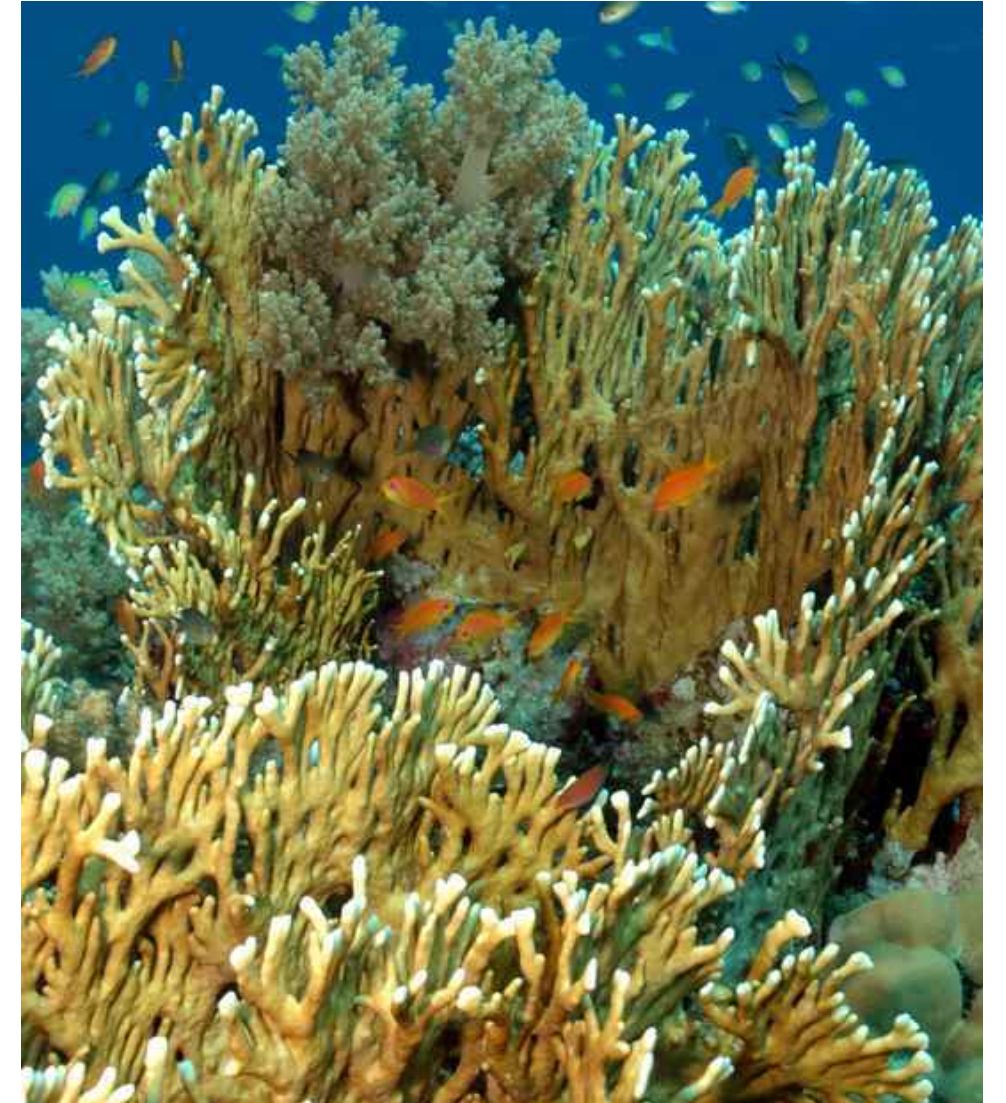
مرجان مستطيل (يشبه الخف) يعيش منفرداً من مرجانيات الـ *fungiid* *(Ctenactis echinata)* يوجد تحت مستعمرة ضخمة من مرجان الـ *faviid* *(Favia stelligera)*



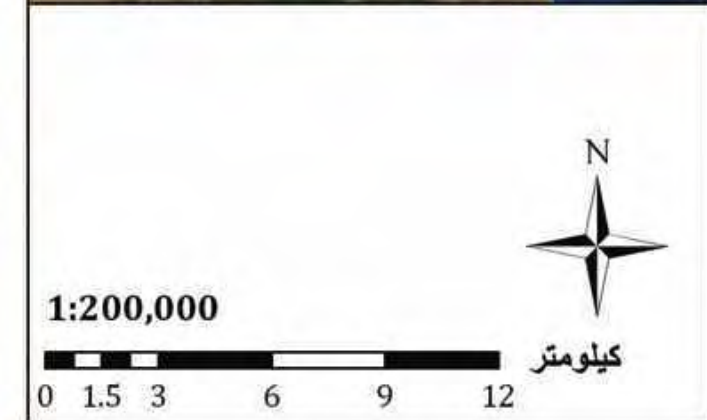
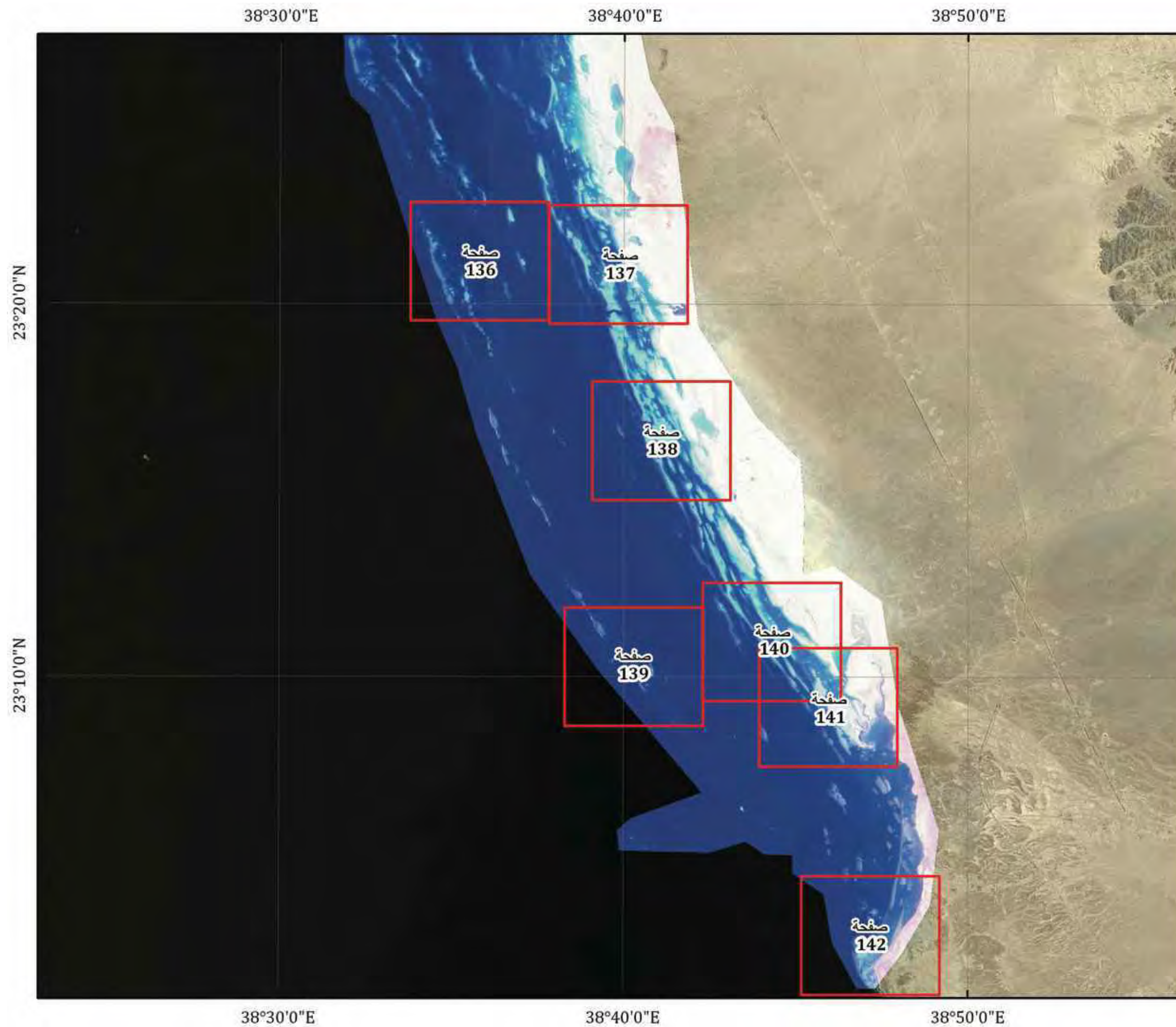
يكون نوع *Echinopora fruticulosa* كتل على شكل قبة من الأفرع المتشابكة. وهو نوع مستوطن للبحر الأحمر وأجزاء من المحيط الهندي

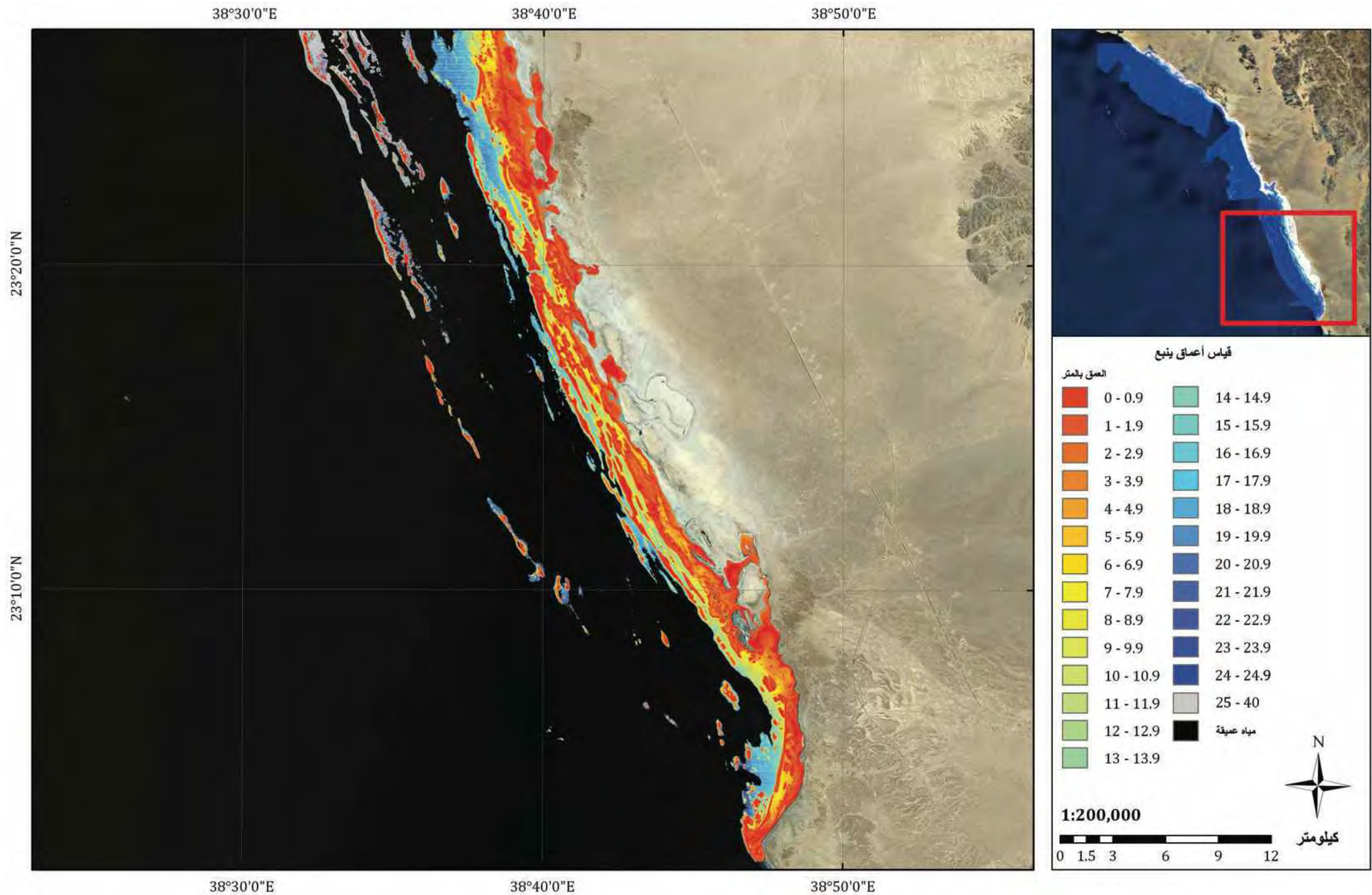


يكون نوع *Acropora cytherea* مناخذ واسعة ومسطحة وغالباً ما تكون رقيقة ودقيقة التفرع، وتبرز الأفرع الصغيرة رأسياً. وفي شعاب ينبع تظهر هذه المرجانيات بصورة شائعة في الشعاب الخارجية كما تنمو على المنحدر المرجاني وأيضاً في الأهوار الرملية



مستعمرات من مرجان الهيدروزوا (الشعاب النارية) *Millepora* موجود في قمة الشعاب





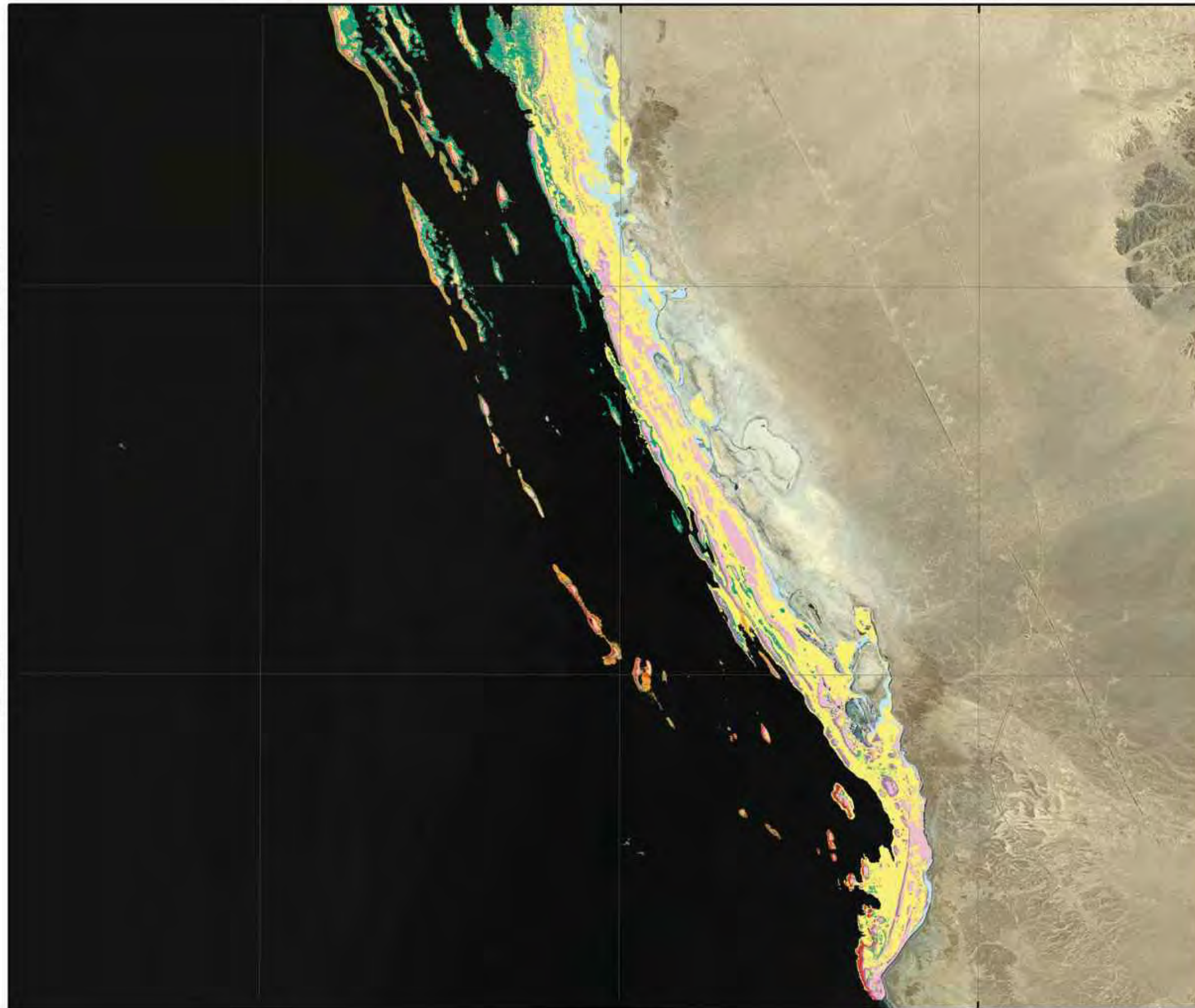
38°30'0"E

38°40'0"E

38°50'0"E

23°20'0"N

23°10'0"N



38°30'0"E

38°40'0"E

38°50'0"E

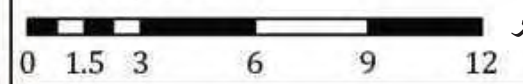


موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروپورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:200,000



كيلومتر

38°34'0"E

38°35'0"E

38°36'0"E

38°37'0"E

23°22'0"N

23°21'0"N

23°20'0"N

38°35'0"E

38°36'0"E

38°37'0"E

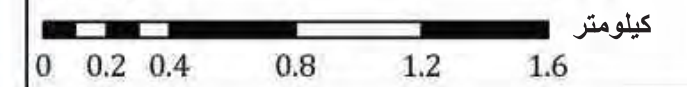


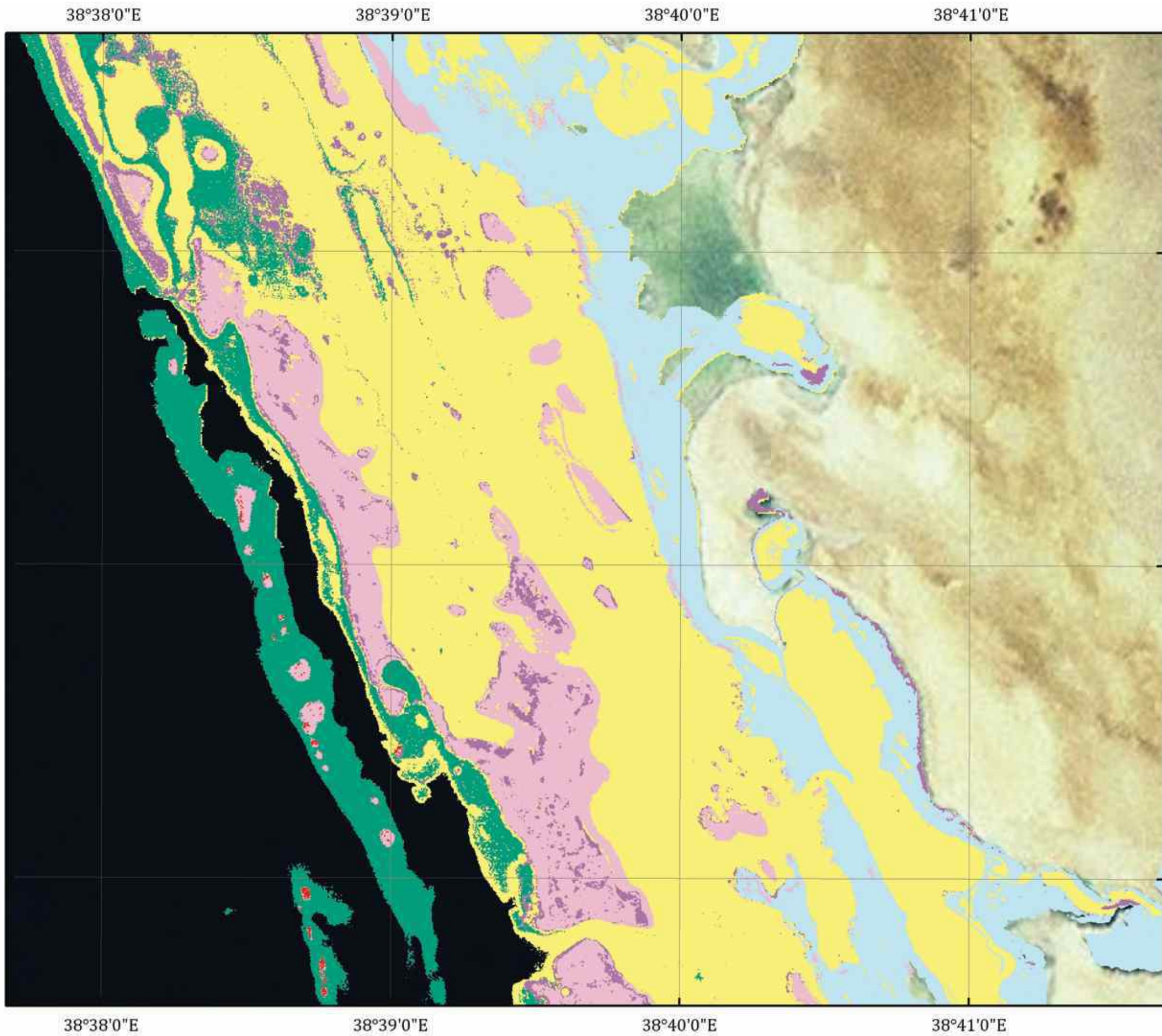
موائل ينعق

- قمم حاقية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حاقية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000





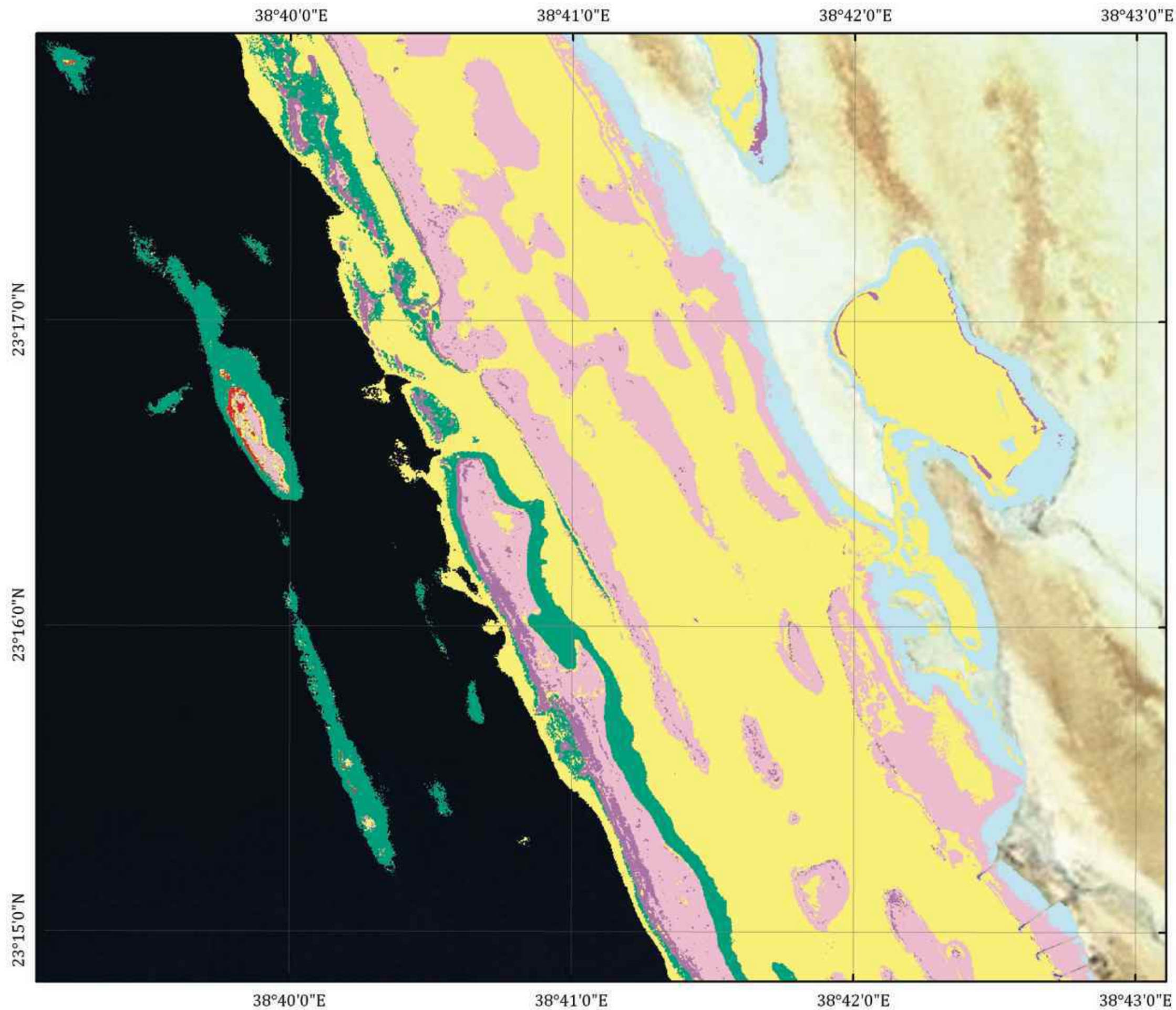
موانل ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قبعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطن
- مياه عميقة

N

1:24,000

0 0.2 0.4 0.8 1.2 1.6 كيلومتر

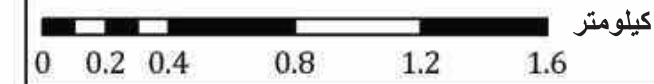


موائل ينيع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشوري (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000



38°39'0"E

38°40'0"E

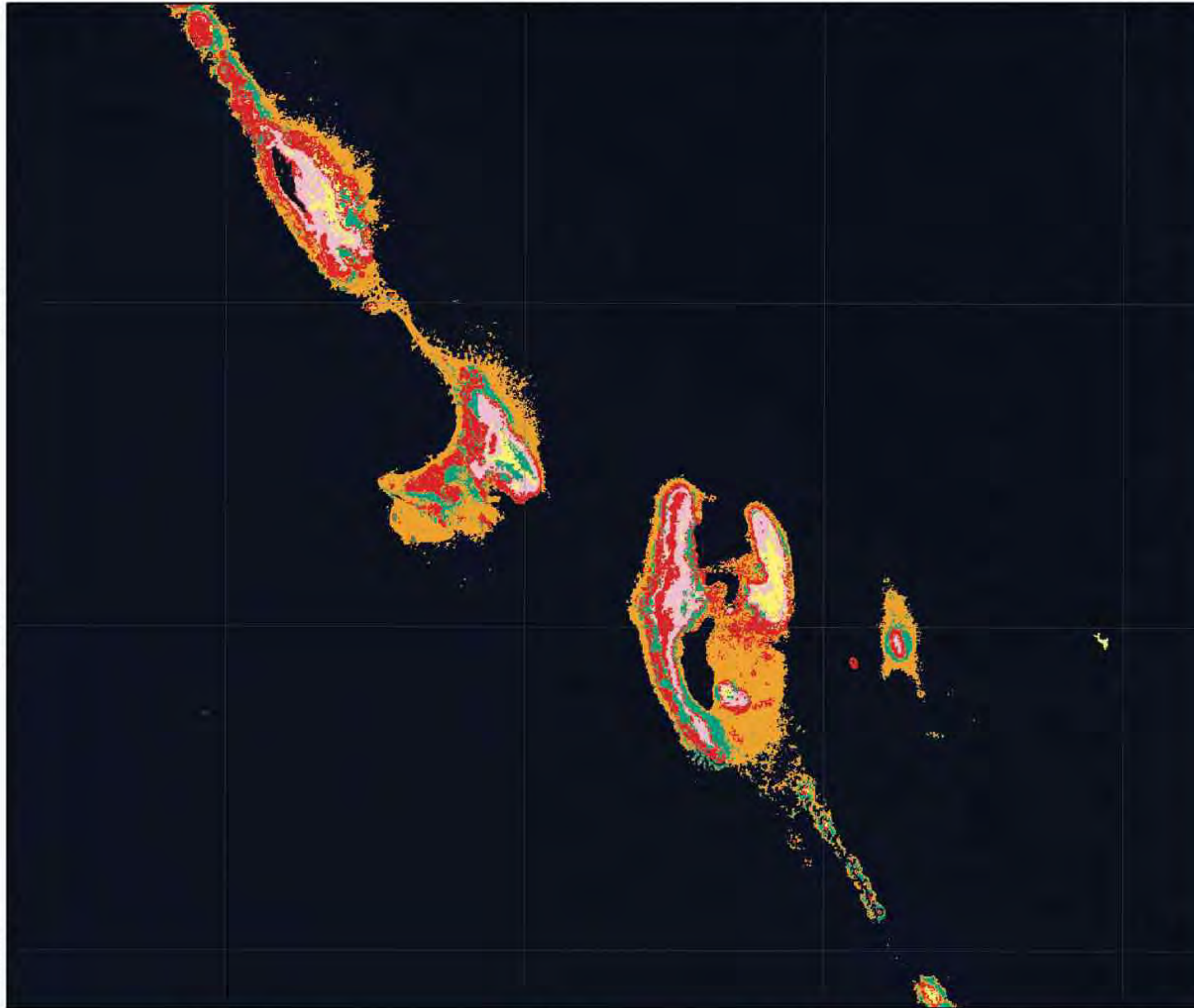
38°41'0"E

38°42'0"E

23°11'0"N

23°10'0"N

23°9'0"N

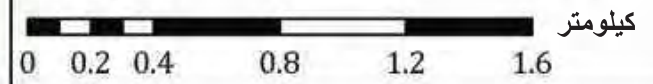


موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهه للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الحشائش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000

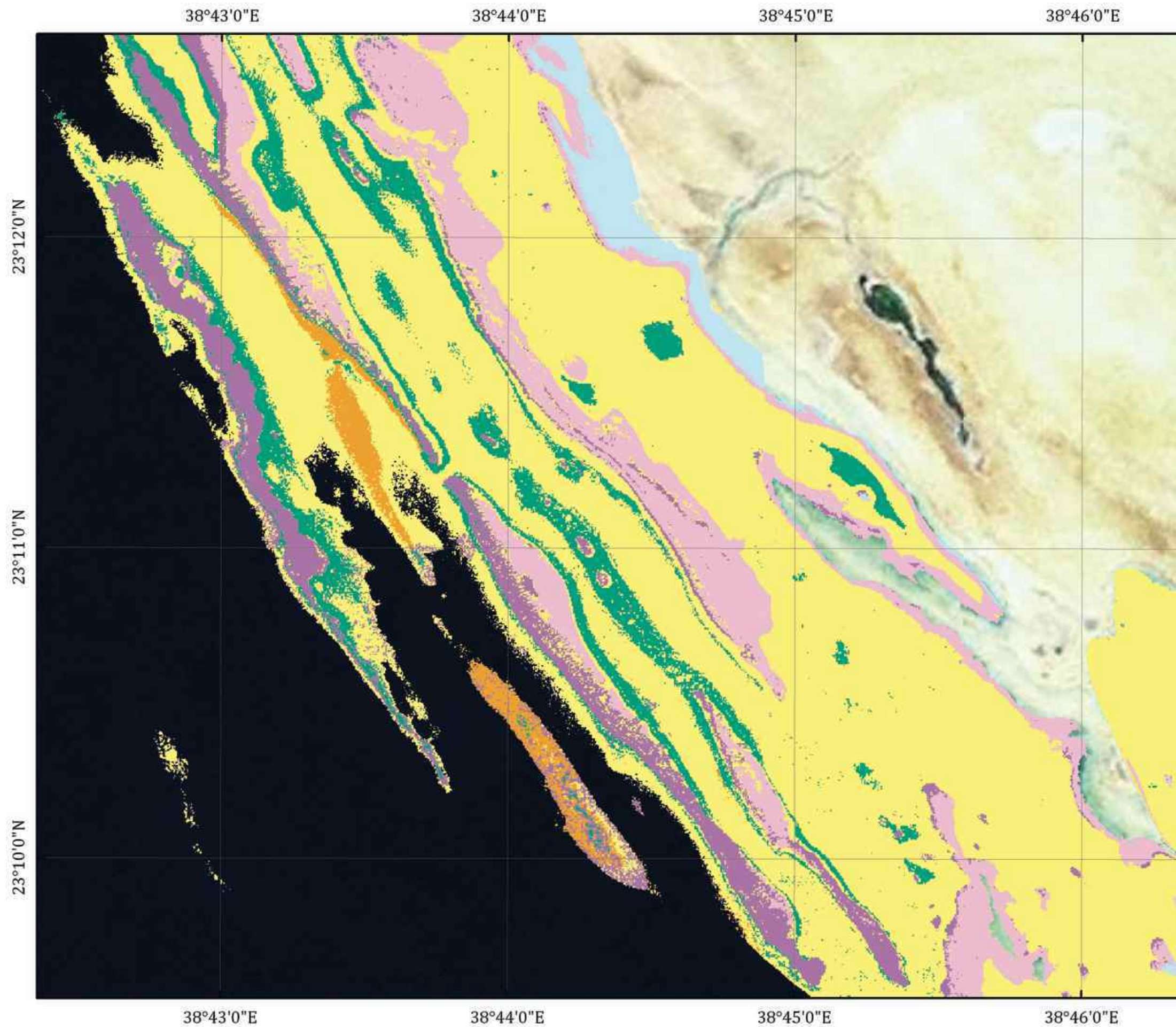


38°39'0"E

38°40'0"E

38°41'0"E

38°42'0"E

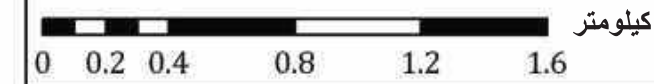


موانل ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبيورا كثيفة
- هياكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطين
- مياه عميقة



1:24,000



38°45'0"E

38°46'0"E

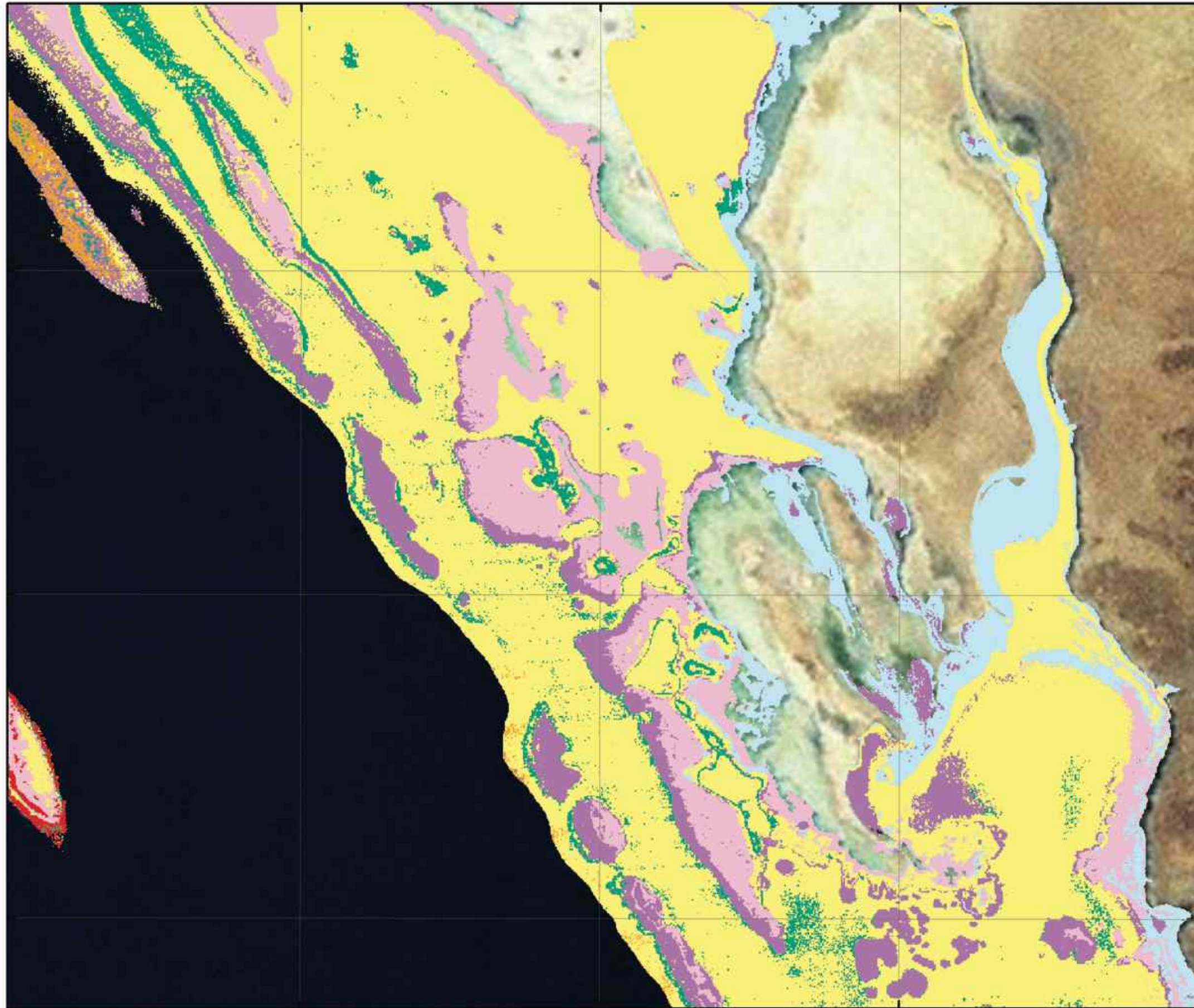
38°47'0"E

38°48'0"E

23°10'0"N

23°9'0"N

23°8'0"N

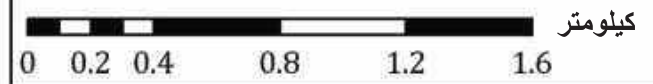


موانئ ينيح

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000

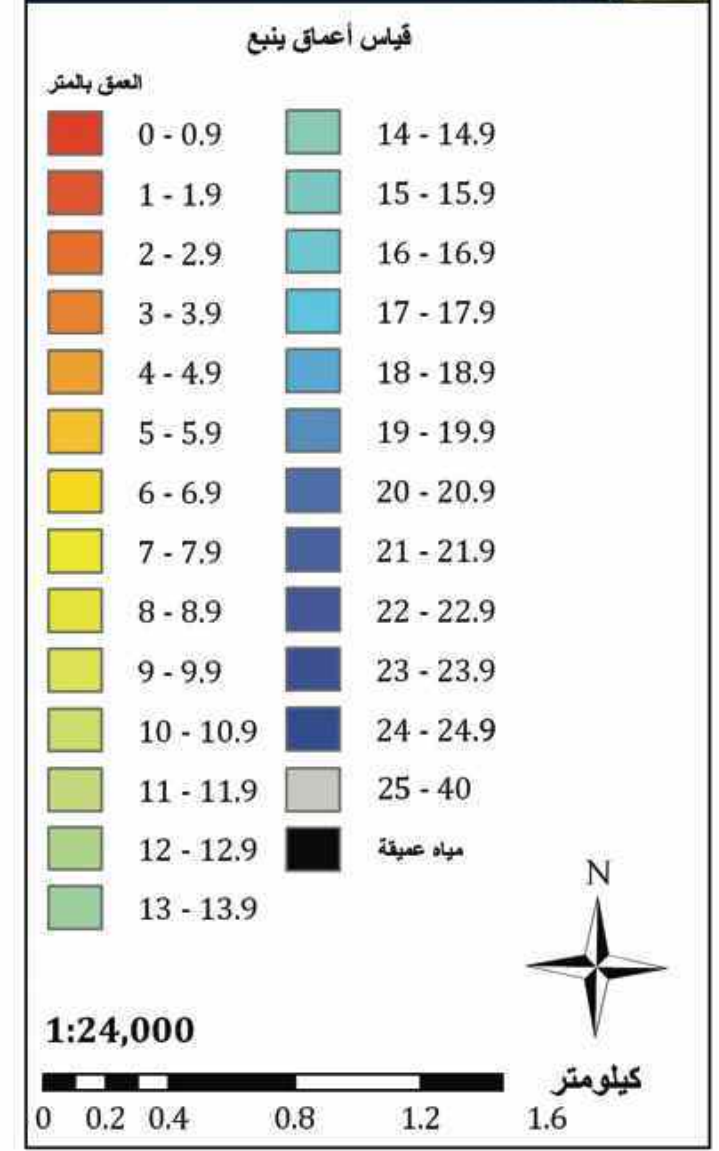
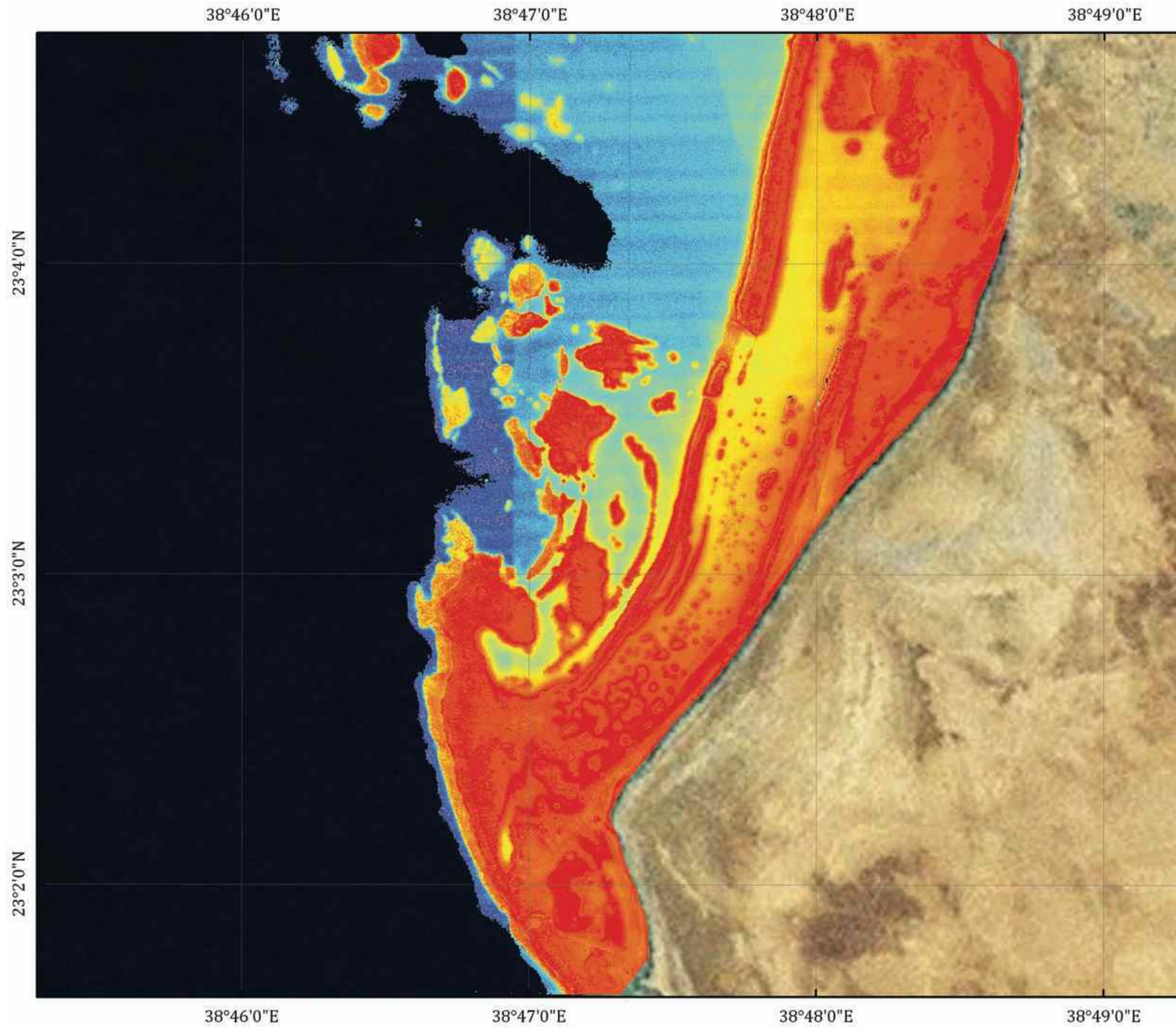


38°45'0"E

38°46'0"E

38°47'0"E

38°48'0"E



38°46'0"E

38°47'0"E

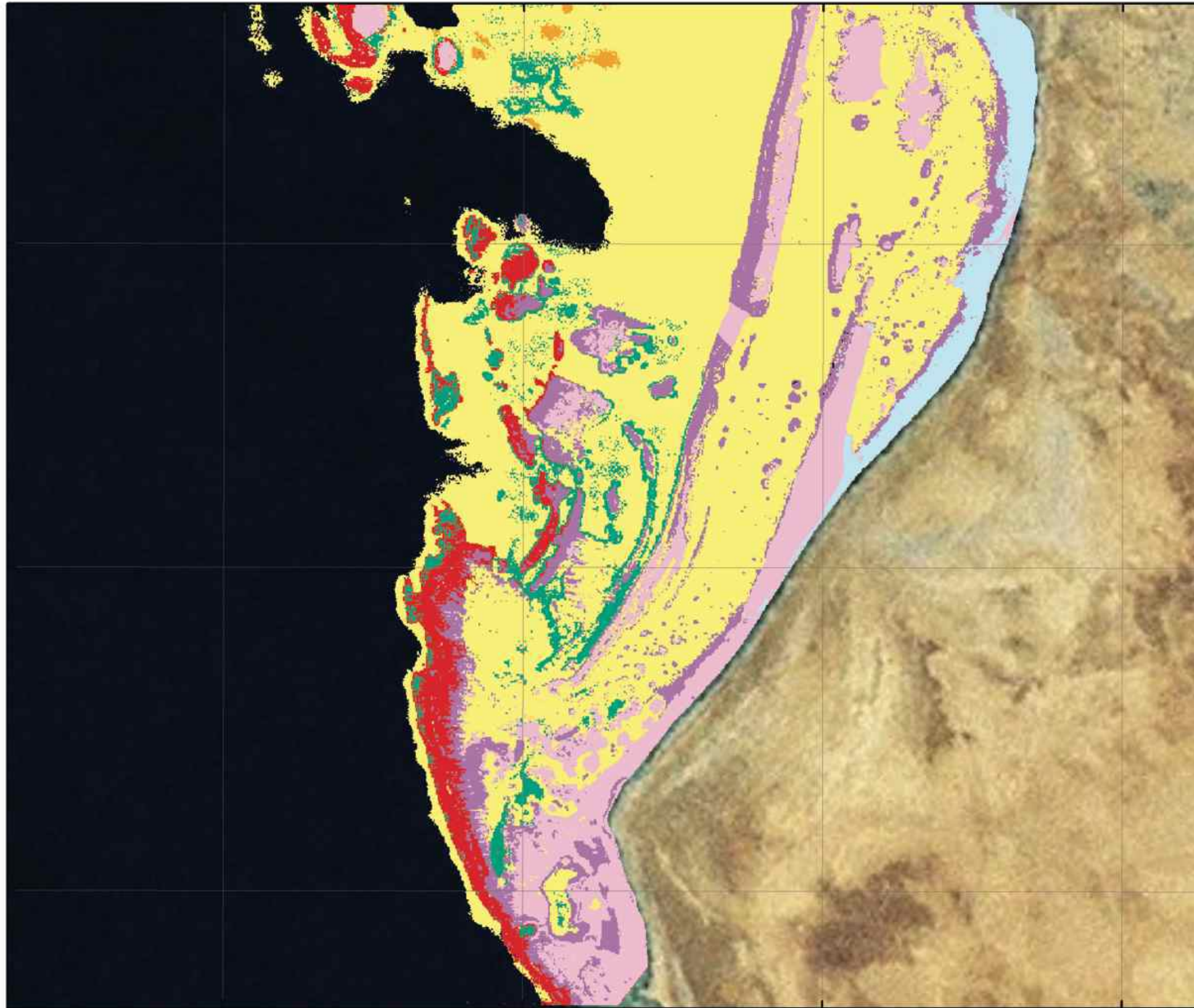
38°48'0"E

38°49'0"E

23°4'0"N

23°3'0"N

23°2'0"N



38°46'0"E

38°47'0"E

38°48'0"E

38°49'0"E



موانئ ينبع

- قمم حافية مرجانية مواجهة للرياح
- قمم حافية مرجانية غير مواجهة للرياح
- بقع أكروبورا كثيفة
- هيكل عمودية
- مرجان متناثر وحجارة ورمل
- مسطحات الخشاش البحرية
- طبقات البكتيريا الزرقاء فوق الرمال
- أشجار الشورى (متجروف) والنباتات القريبة من الشاطئ
- قيعان كربونية ومسطحات شعاب
- طبقات رمال ضحلة
- مسطحات رمل وطنين
- مياه عميقة



1:24,000

