

الأثار الاوقيانية والبيئية والبيولوجية

لتقلب ماء البحر الأحمر

أ.د. عوض إبراهيم عبدالرحمن الحفيان - أستاذ الجغرافيا الطبيعية - كلية الجغرافيا - جامعة الخرطوم

د. أمل الماحي الخليفة محمد - أستاذ الجغرافية البشرية - جامعة الملك خالد - المملكة العربية السعودية

المستخلص:

يعتبر تقلب الماء البحري نشاط أوقياني بحري له تبعاته البيئية والاقتصادية: فيعتبر تقلب الماء البحري الرأسي، الصاعد منه والهابط، مصدرا للمكونات الغذائية «تخصب» الماء السطحي، مما يعني أن هذا الماء السطحي غالبا ما يكون له إنتاجية بيولوجية عالية. لذلك، عادة ما توجد هنا مناطق صيد جيدة حيث يكون ارتفاع ماء القاع إلى السطح شائعا. وتتوفر الأسباب الرئيسية لأفضل نمو للشعب المرجانية على طول البحر الأحمر بسبب الأعماق وكفاءة نمط توزيع الغذائية في ماء البحر الأحمر. يمكن القول: إن ظاهرة التقلب المائي البحري في البحر الأحمر لم تجد الاهتمام الكافي من الباحثين عامة، والأكاديميين منهم، خاصة، وتأثيرها على المكون البحري من كائنات حية، عامة، و شعاب مرجانية، بشكل أخص. وأول ما يلاحظ على هذه الظاهرة: أن للرياح الموسمية لها تأثير في بروز ظاهرة التقلب المائي الرأسي: الصاعد و الهابط، في منطقة البحث. كما يلاحظ أيضا أن لدخول ماء خليج عدن، الغني بالغذائيات، إلى جنوب البحر الأحمر، تتركز في الساحل الشرقي لجنوب البحر الأحمر. كما أوضح البحث، من ناحية أخرى، تأثير هذه الغذائيات في توفر وتكاثر الطافيات البحرية (*Plankton*)، وحصولها على الغذاء الكافي في ماء خليج عدن المتدفق. ويلاحظ أيضا، من ناحية أخرى: تسبب هذا الماء المتدفق من خليج عدن نحو جزر فرسان، في ظاهرة ابيضاض الشعاب المرجانية. أشار هذا البحث، ومن خلال مراجعته لأدبيات البحث، ولعدد من الدراسات والبحوث: أنه رغم بروز ظاهرة التقلب المائي البحري في المنطقة، إلا أن عدد قليل من الباحثين في منطقة الجوار، قد أعطى ظاهرة التقلب المائي البحري حقه من البحث و الدراسة، وخاصة بما يتعلق بتأثيرها على ظاهرة ابيضاض الشعاب المرجانية. تم استخدام المنهج التحليلي الذي به يتم تحديد عناصر الظواهر البحرية المختلفة.

كلمات مفتاحية: تقلب مائي بحري ، تقلب مائي بحري صاعد، تقلب مائي بحري هابط، ابيضاض الشعاب المرجانية.

Ecological and Biological Effects of Red Sea Oceanic, Upwelling/

Down welling

Pr. Awad Ibrahim Abdel – Rahman El – Hafian

Dr.Amel Elmahi Elklifa Mohmed

Abstract:

In the Red Sea, upwelling has received relatively little attention, particularly in coral reef habitats. It is noted that monsoon wind reversals could induce vertical mixing and upwelling. It is traced the inflow of cool, nutrient-rich, sub-surface Gulf of Aden Intermediate Water into the Red Sea, and noted that it is mainly constrained to the eastern margin of the southern Red Sea. The research describes the influx of nutrients in the southern Red Sea and resulting plankton blossoms within the Red Sea. It is evident that high-nutrient Indian Ocean water impact the Farasan Islands, and more recently, it is showed that upwelling in the southern Red Sea plays a key role in the susceptibility of resident corals to bleaching. Analysis indicates that upwelling occurs in this region, but no study has investigated the spatio-temporal patterns, and the drivers, of upwelling onto the shelf and across coral reef habitats in the southern Red Sea. In the Red Sea, upwelling has received relatively little attention, particularly in coral reef habitats. It is noted that monsoon wind reversals could induce vertical mixing and upwelling, particularly in the far northern Red Sea. As it is traced the inflow of cool, nutrient-rich, sub-surface Gulf of Aden Intermediate Water into the Red Sea, and it is noted that it is mainly constrained to the eastern margin of the southern Red Sea. The Researchers' observations extended to the shelf edge but not onto the shelf where coral reefs are abundant. Researchers have described the influx of nutrients in the southern Red Sea and resulting plankton blooms, but without characterizing the dynamics of upwelling within the Red Sea. It is important to mention that high-nutrient Indian Ocean water affects the Red Sea Farasan Islands, and it is noticed that upwelling in the southern Red Sea plays a key role in the susceptibility of resident corals to bleaching. It is also noted, and indicated that upwelling has occurred and dominates in this region, but, to the researchers' knowledge, no study has investigated the spatio-temporal patterns, and the drivers, of upwelling onto the shelf and across coral reef habitats in the southern Red Sea. The Research Adopts An analytical Methods to find Relationships Among Maritime Phenomena

Keywords:Marine Welling -Upwelling-Downwelling -Coral Reef Bleaching-

مقدمة:

الدورة المحيطية: البحر الأحمر:

البحر الأحمر أحد الأربعة بحار المسماة باللغة الإنكليزية بعد توحيد أسماء الألوان— والأخرى التي في البحر الأسود، البحر الأبيض والبحر الأصفر. والبحر الأحمر هي ترجمة مباشرة للكلمة اليونانية إريثرا ثالاسا - *ErythràThálassa* واللاتينية مير روبروم - *Mare Rubrum* (بدلاً من الكلمة سينوس اراييكوس *SinusArabicus*، التي تعني حرفياً «الخليج العربي»). وعند العرب قديماً كان يسمى (بحر القلزم)، وكلمة قلزم تعني المضيق وسمي البحر بهذا الاسم نسبة إلى مدينة القلزم، وأسمها القديم كليسم *Clysmal*. وخليج القلزم يعرف في كتب اليونان باسم هيروبوليت *Heroopolie*. وقد خربت هذه المدينة في القرن 5هـ/11م، وعلى أنقاضها أنشأت مدينة السويس الحالية في القرن 6هـ/12م وسمي الخليج بخليج السويس. وفي الصومالية يسمى بدأ عَس - *BaddaCas* والتجريدية غايح-باجري - *Φεῖληῖς*. وقد تكون تسمية البحر مأخوذة من خرائط البرتغالية نظراً إلى خطر الدخول به - *erythraeumTrichodesmium* - بسبب الموسمية الحمراء اللون القريبة من سطح الماء. وذكر بعض العلماء العصريين نظرية أن الأحمر هو اسم يشير إلى اتجاه الجنوب، كما البحر الأسود قد يشير إلى الشمال. وعلى أساس هذه النظرية بعض اللغات الآسيوية تستخدم أسماء الألوان للإشارة إلى الاتجاهات السماوية. وقد كان هيرودوت في المناسبة الواحدة يستخدم كلمة البحر الأحمر وبحر الجنوب بشكل متبادل. وقد ارتبط البحر الأحمر مع الكتاب المقدس عند عبور الإسرائيليين له قديماً في عهد موسى، وقد وضحت في ترجمة السبعونية في سفر الخروج من العبرية إلى اللغة اليونانية في القرن الثالث قبل الميلاد تقريباً في هذا الإصدار، وقد ترجمت (يام صوف - '1105- العبرية) ل(إريثرا ثالاسا - أي البحر الأحمر). وتشير كلمة (*Erythrathalassa* - إريثرا ثالاسا) اليونانية وباللاتينية (*MareErythraeum* - مير إريثيوم [Red Sea]) وهي تشير إلى الجزء الشمال الغربي من المحيط الهندي، الذي فيه البحر الأحمر، وكذلك إلى (منطقة على سطح المريخ).

كما عرف بما يسمى (عالم دافئ *Hot World*)، أو عالم جليدي (*Glacial Worlds*)، خلال العصور الجليدية التي سادت الأرض، كان ذلك فقط في وجود محيطات دافئة وأخرى باردة، على التوالي. خلق هذا التكوين تشكيل معين لتوزيع القارات والمحيطات في كوكب الأرض. بدون محيطات عميقة ودافئة: لم يكن في الإمكان تشكل أقاليم مناخية دافئة: كما لم يكن في الإمكان وجود عصور جليدية، في غياب محيطات باردة. خلقت حرارة البحار والمحيطات بدرجة رئيسية بدفع من ظاهرة التقلب المائي البحري (*Downwelling / Upwelling*)، الهابط منه والصاعد. عندما يهبط الماء الدافئ والمالح جدا إلى قاع المحيط، تظهر المحيطات الدافئة. وعندما يهبط الماء المالح البارد إلى قاع المحيط، تظهر المحيطات الباردة. ولكن متى وكيف تحدث تقلبات ماء البحر والمحيط صعود و هبوطاً؟ هذا هو سؤال البحث.

سبب تسمية البحر الأحمر:

تم تُشكل حوض البحر الأحمر عن طريق انفصال شبه الجزيرة العربية عن أفريقيا بسبب حركة الأخدود الإفريقي *African Rift* الموجود حالياً في البحر الأحمر. بدأ هذا الانقسام في عصر الآيوسين وتسارع خلال العصر الأوليغوسيني. ولا يزال البحر يأخذ في الاتساع، ويُعتقد أن البحر الأحمر سيصبح محيطاً يوماً ما. حدث إغلاق لباب المنذب في بعض الأحيان خلال فترة العصر الثلاثي وقد تبخر ماء البحر الأحمر مكوناً حوضاً فارغاً جافاً وحادراً لطبقة ملحية. ترتبت الآثار التي قد تسبب هذه الحالة، وهي على النحو التالي:

- «سباق» بين اتساع البحر الأحمر وانفجار بركان جزيرة بريم ليملاً باب المنذب بالحمام البركانية .
- خفض مستوى سطح البحار في العالم خلال العصر الجليدي بسبب الكميات الكبيرة من الماء المحتجزة في القمم الجليدية.

حالياً: تبقى درجات حرارة الماء السطحية ثابتة نسبياً عند 21-25 درجة مئوية (70-77 درجة فهرنهايت) ويظل مدى الرؤية جيداً لحوالي 200 متر (656 قدم)، ولكن المعروف أن للبحر رياح قوية وتيارات محلية لا يمكن التنبؤ بها. فيما يتعلق بالملوحة، تعدّ ملوحة البحر الأحمر أكثر من المتوسط العالمي، ما يقرب من 4 ‰. ويرجع ذلك إلى عدة عوامل، أهمها:

1. ارتفاع معدل التبخر وانخفاض معدل تساقط المطر.
2. عدم وجود أنهار كبيرة أو جداول تصب في البحر الأحمر.
3. اتصال البحر الأحمر محدود مع المحيط الهندي، والذي يعدّ أقلّ ملوحة.
4. يزداد عدد الجزر البركانية وسط البحر. ومعظمها -بالطبع- خامل، ولكن في 2007 ثار بركان جزيرة جبل الطير بعنف.

تقع منطقة ضفة «الوجه» في الجزء الشمالي الشرقي للبحر الأحمر ضمن الحدود الإدارية لمنطقة تبوك وتمتد بالتوازي مع الساحل على نحو 60 كم، حيث يشكل التفاف ستة من الجزر الكبيرة والممتدة بشكل عمودي حاجز مرجاني يحيط بالمنطقة التي تحتوي على أكثر من أربعين جزيرة صغيرة ومتوسطة المساحة ذات تنوع بيئي متباين، أكبر الجزر الموجودة في المنطقة وهي أشهرها جزيرة بريم والتي تقع في الجزء الشمالي الغربي لمركز الحُرج وتبلغ مساحتها 19 كم مربع وتعد أقصى الجزر باتجاه الغرب. يمثل البحر الأحمر علامة انفصال الصفيحة العربية عن الصفيحة الأفريقية. البحر الأحمر يعتبر محيط وليد حديث ونتج من الخسف القاري ومن ثم انتشار قاع المحيط. • مياه البحر الأحمر أدفئ ماء عميقة مقارنة مع محيطات العالم. • وجود الشعاب المرجانية في البحر الأحمر على شواطئه وجزره تعطي له أهمية كبرى. من طبوغرافية البحر الأحمر أنه يضيّق في الاتساع شمالاً، و يزداد توسعاً جنوباً. ومتوسط عمق البحر الأحمر حوالي 491 متر وهذا العمق المتوسط مقارنة مع المحيطات. الأخرى يعتبر قليل جداً، أما أقصى عمق للبحر الأحمر فهو 2500 متر (أي حوالي 2.5 كم). البحر الأحمر هو غور طويل شمال غرب جنوب

شرق يمتد من جزيرة سيناء في الشمال حتى باب المندب في الجنوب. يمتاز البحر الأحمر بخطوط شواطئ متوازية، حيث يتسع في الجنوب ويضيق في الشمال (NOAA 2011)).

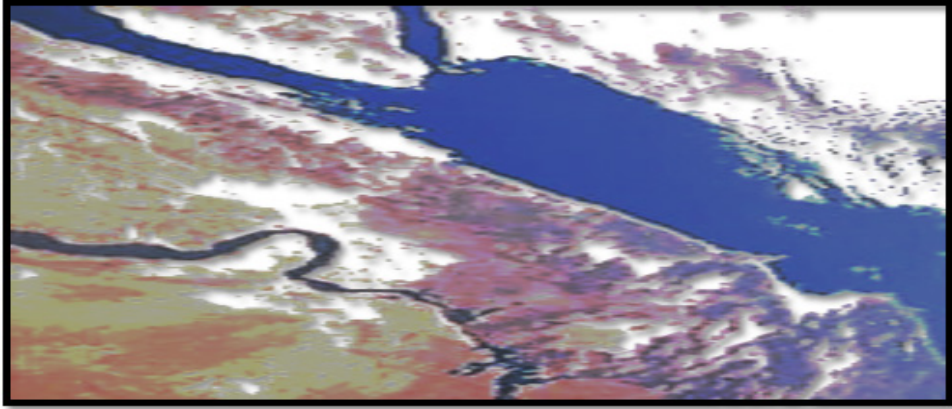
معلومات عامة عن البحر الأحمر:

- الطول: ~ 2,250 كم- 79 ٪ من شرق البحر الأحمر يوجد فيها العديد من المداخل الساحلية.
 - أقصى عرض: 398 كم- على خط دائرة العرض 18 ° شمالاً.
 - أقل عرض: ~ 26-29 كم- باب المندب (اليمن).
 - متوسط العرض: 280 كم.
 - متوسط العمق: ~ 490 م. أقصى عمق: ~ 2,211 م.
 - المساحة: 438,000-450,000 كم².
 - الحجم: 215,000-251,000 كم³.
 - حوالي 40 ٪ من البحر الأحمر تعدّ مناطق ضحلة جداً (أقل من 100 م)، وحوالي 25 ٪ عمقها تحت 50 متراً.
 - حوالي 15 ٪ من البحر الأحمر يزيد عمقه عن 1,000 م.
 - تشتهر المنحدرات القارية في البحر الأحمر بالشعاب المرجانية.
 - للمنحدر القاري معلومات متغيرة، حيث تتباين ما بين السطح الى عمق ~500م.
 - في مركز البحر الأحمر قاع ضيق (يتراوح بين 1000 م وبعض الأعماق تتجاوز 2,500 م).
- جغرافيا البحر الأحمر:

يقع البحر الأحمر بين خطي عرض 12 شمالاً إلى 30 شمالاً، حيث يبدأ من عند باب المندب إلى منطقة السويس طول البحر الأحمر حوالي 1932 كم. بالتقريب حوالي 2000 كم، يتفرع من الشمال إلى خليج العقبة وخليج السويس، عرض البحر الأحمر حوالي 354 كم وهي أقصى مسافة من جيزان إلى مصوع في اريتريا أما متوسط عرض البحر الأحمر فيقدر 280 كم. من طبوغرافية البحر الأحمر أنه يضيق في الاتساع شمالاً، ويزداد توسعاً جنوباً. ومتوسط عمق البحر الأحمر حوالي 491 متر وهذا العمق المتوسط مقارنة مع المحيطات الأخرى يعتبر قليل جداً، أما أقصى عمق للبحر الأحمر فهو 2500 متر (أي حوالي 2.5 كم).

البحر الأحمر هو غور طويل شمال غرب جنوب شرق يمتد من جزيرة سيناء في الشمال حتى باب المندب في الجنوب. يمتاز البحر الأحمر بخطوط شواطئ متوازية، حيث يتسع في الجنوب ويضيق في الشمال.

شكل (1) صورة فضائية لجزء من البحر الأحمر:



المصدر: NASA, 2020.

كانت الجزيرة العربية ملتصقة بأفريقيا وسبب انفصالهما عن بعضهما هو الخسف القاري، والذي نتج عنه البحر الأحمر حالياً. سبب حدوث الخسف القاري هو أن الصحارة (الماغما) بدأت في الصعود من الأسفل إلى الأعلى في مكان حدوث الخسف: فحدثت للأرض ظاهرة التقبيب *Tombing* وكما ذكر نتيجة لصعود الصحارة، ومع كثرة الصعود وتكرار العملية حصل للأرض من بعد التقبيب *Tombing* تشقق لأن الأرض أصبحت ضعيفة غير قادرة على احتمال الضغط المتولد من أسفل وبعد عملية التشقق حدث الخسف وعندما يحدث هذا ينتج لنا منطقة منخفضة تجذب إليها البحار وبالتالي تصبح بحر ويبدأ البحر بالانتشار ليصبح محيطاً. حدث خسف للبحر الأحمر في أواخر عصر الأوليغوسيني *Oligocene* أي منذ 38 مليون سنة حيث بدأ كغور ثم توالى عمليات الخسف مما أدى إلى دخول ماء البحر المتوسط (بحر التيتش) عن طريق برزخ السويس فكون بحر شبه مغلق ضحل مساحته نصف مساحة البحر الأحمر حالياً، حيث لم يصل البحر الأحمر إلى باب المندب بعد. وبالتالي ترسبت طبقات بحرية طينية سمكها 2000 متر أثناء عصر الميوسين *Miocene* الأوسط. ثم حدث تغير بيئي مفاجئ في أواخر عصر ال ميوسين *Miocene*: أي منذ حوالي 25-5 مليون سنة حيث أصبح حوض البحر الأحمر حوض تبخير عظيم تكون فيه سمك كبير من الأملاح المتبخرات (*evaporates*) إلى تجمع المواد العضوية فجأة. في تلك الأثناء كان البحر الأحمر مفصول عن المحيط الهندي بوصلة من الأرض. ملاحظة: أثناء العصر الجليدي لم يتجمد ماء البحر ولكن فقط تجمدت مناطق القطبين لذلك انخفض منسوب البحر حتى 120 متر (من 90-120 متر) ومع هذا الانخفاض أدى إلى فصل البحر الأحمر عن المحيط الهندي: فسادت الظروف الفوق ملحية (*super saline*) وفي هذا العصر أيضاً كان ميول التباعد بين الجزيرة العربية وأفريقيا حوالي 2 cm في السنة (أي 1.7 mm في الشهر) مما أدى إلى توسيع الغور المحوري وكانت الحرارة المتصاعدة عالية، وتكونت الفوالق المستعرضة والجانبية والتراكيب شديدة الانحدار الناتجة عن البراكين والبقع الحرارية (Lazier, J.R.N. (2006).

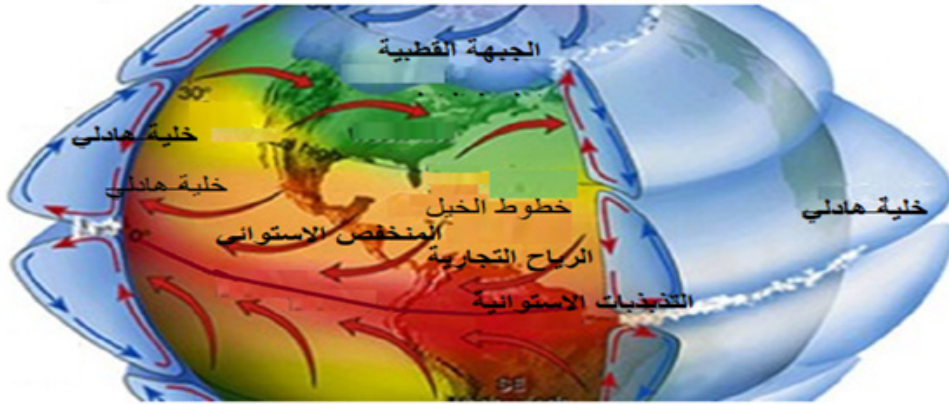
بدأ الشعاب المرجاني في النمو في الماء الضحلة وفوق الكتل المرفوعة آخر فترة جليدية انتهت منذ 20 ألف سنة ، ومنسوب سطح البحر الأحمر الحالي أستقر منذ 5 آلاف سنة مضت. قبل طاقم الرحلة 29 على متن محطة الفضاء الدولية قام قدماء الفراعنة (السودانيون/المصريون)، بأول رحلة استكشاف للبحر الأحمر لأنهم كانوا يسعون إلى إقامة الطرق التجارية إلى بلاد بنت. ووقعت إحدى هذه الحملات حوالي 2500 ق.م، وأخرى حوالي 1500 ق.م (بواسطة حتشبسوت). وكانت كلا الرحلتين على طول البحر الأحمر. وقد ذكر المقدسي في كتابه «أحسن التقاسيم في معرفة الأقاليم: أن بحر القلزم هو البحر الذي طرحت فيه أم موسى تابوت موسى لما خافت عليه من فرعون. وقد عبر بنو إسرائيل البحر الأحمر برفقة نبي الله موسى كما ورد في القرآن الكريم ﴿فَأَوْحَيْنَا إِلَى مُوسَى أَنْ اضْرِبْ بِعَصَاكَ الْبُحْرَ فَانْفَلَقَ فَكَانَ كُلُّ فِرْقٍ كَالطُّوْدِ الْعَظِيمِ ٦٣﴾ [الشعراء:63] ﴿وَلَقَدْ أَوْحَيْنَا إِلَى مُوسَى أَنْ أَسْرِ بِعِبَادِي فَاصْرِبْ لَهُمْ طَرِيقًا فِي الْبَحْرِ يَبَسًا لَا تَخَافُ دَرْكًا وَلَا تَخْشَى ٧٧﴾ [طه:77]. في القرن السادس قبل الميلاد، أرسل داريوس الأول من بلاد فارس بعثات الاستطلاع إلى البحر الأحمر، وقد حسن ووسع نطاق التنقل عن طريق تحديد أماكن الكثير من الصخور الخطرة والتيارات المائية. وقد تم بناء قناة بين النيل والطرف الشمالي للبحر الأحمر عند مدينة السويس. أرسل الإسكندر الأكبر في أواخر القرن الرابع ق.م رحلات يونانية بحرية لأسفل البحر الأحمر تجاه المحيط الهندي. واصل البحارة اليونانيين.

بلغ طول البحر الأحمر 2250 كم أي ما يعادل 1398 ميلاً، حيث يعد البحر الأحمر أحد أكثر البحار ملوحة على مستوى العالم، وذلك بسبب نسبة التبخر المرتفعة في البحر بشكل نسبي، وتتراوح نسبة الملوحة ما بين 36 % في الجزء الجنوبي، وذلك بسبب التأثر من ماء خليج عدن، بينما تصل في الجزء الشمالي إلى 41 % بسبب ماء خليج السويس. البحر الأحمر أو بحر القلزم أو بحر الحبشة، يعتبر مدخل ماء المحيط الهندي هو والخليج العربي، يقع البحر بين قارتي إفريقيا وآسيا، حيث يتصل مع المحيط الهندي من الجنوب، عن طريق مضيق باب المنذب وخليج عدن، أما في الشمال فتحده شبه جزيرة سيناء وخليج العقبة وخليج السويس المؤدي إلى قناة السويس، يبلغ عرض البحر الأحمر يبلغ 320 كيلومتراً، حيث إن البحر هو عبارة عن امتداد للمحيط الهندي، ويمتلك الكثير من نواحي الحياة البحرية المميزة التي يتميز بها البحر. (Lazier (2006).

يقع البحر الأحمر، والذي يطلق عليه العرب أيضاً بحر القلزم أو بحر الحبشة بين قارتي أفريقيا وآسيا، وهو أحد البحار المتفرعة من المحيط الهندي، ويحد البحر من الشمال كل من شبه جزيرة سيناء وخليج العقبة، بالإضافة إلى خليج السويس الذي يربطه بقناة السويس، ويعتبر البحر الأحمر من المحميات البيئية وفقاً لصندوق العالمي للحياة البرية، فهو موطن لما يزيد على 1000 نوع من اللافقاريات، و200 نوع من الشعاب المرجانية الصلبة واللينية، بالإضافة إلى أنه يعد من البحار التي الواقعة شمال المنطقة الاستوائية في العالم. أصل تسمية البحر الأحمر هناك مقولتان فيما يتعلق بأصل تسمية البحر الأحمر بهذا الاسم، والأولى تشير إلى أنه سمي بذلك بسب وجود أعشاب وطحالب بحرية ملونة طافية على سطحه، حيث تعكس هذه الأعشاب والطحالب لوناً

أحمر لماء البحر وخصوصاً عند غروب الشمس، أما القول الثاني فيشير إلى أنه سمي بذلك نظراً لوجود سلاسل جبلية بلون أحمر داكن بمحاذاة سواحله الغربية أدى انعكاس ظلالها على سطح البحر إلى إعطائه اللون الأحمر. طول وعرض البحر الأحمر تبلغ مساحة سطح البحر الأحمر ما يقارب 438,000 كم² أي ما يعادل 169,100 ميل²، حيث يبلغ طوله 2250 كم أي ما يعادل 1398 ميلاً، ويبلغ عرضه 355 كم أي ما يعادل 220.6 ميلاً، ويصل أقصى عمق فيه إلى حوالي 2211 متراً حيث تساوي 7254 قدماً، ومتوسط عمقه حوالي 490 متراً حيث تساوي 1,6088 قدماً. أهمية البحر الأحمر يعتبر البحر الأحمر مهماً جداً على المستوى العالمي من ناحية الرحلات البحرية، وزاد حفر قناة السويس من أهميته، حيث إنه يوفر الوقت بين معظم الرحلات البحرية بين أوروبا، وآسيا أو العكس بينهما، أو بين آسيا وشمال أفريقيا أو بالعكس، أو بين شمال أفريقيا وشرقها أو العكس. ملوحة البحر الأحمر يعتبر البحر الأحمر من أكثر البحار ملوحة على مستوى العالم، ويعود ذلك إلى نسبة التبخر المرتفعة، حيث تتراوح ملوحة البحر بين 36 % في الجزء الجنوبي بسبب تأثير ماء خليج عدن عليه، وتبلغ في الجزء الشمالي ما يقارب 41 % بسبب ماء خليج السويس والتبخر المرتفع. جيولوجيا البحر الأحمر تكون البحر الأحمر من خلال عزل شبه الجزيرة العربية عن قارة أفريقيا الناتج عن حركة الصدع الموجود في البحر الأحمر، حيث بدأ هذا الانشقاق خلال العصر الإيوسيني وزيادة وتيرته أثناء العصر الأوليوسيني، وما زال البحر يتوسع حتى الآن، ويعتقد أنه سيصبح محيطاً في يوم من الأيام (NOAA 2011).

الشكل (2) نمط الرياح المؤثرة على حركة التيارات البحرية في العالم



المصدر: (NOAA 2011).

مناخ البحر الأحمر:

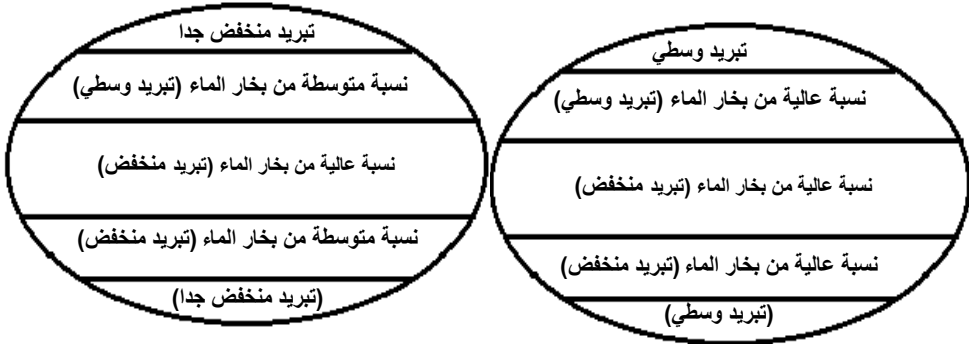
تحدد مناخ البحر الأحمر نتيجة لرياح موسمية لفصلين مختلفين؛ الرياح الموسمية الشمالية الشرقية والرياح الموسمية الجنوبية الغربية. وتحدث الرياح الموسمية بسبب فرق الحرارة بين سطحي الأرض والبحر. درجات الحرارة السطحية العالية جداً والمرتبطة بالملوحة العالية تجعل

ماء البحر الأحمر الأكثر سخونة وملوحة بين البحار في العالم، حيث يبلغ متوسط درجة حرارة الماء السطحية في البحر الأحمر خلال الصيف حوالي 26 درجة مئوية (79 درجة فهرنهايت) في الشمال، و30 درجة مئوية (86 درجة فهرنهايت) في الجنوب، مع الاختلاف 2 درجة مئوية (3.6 درجة فهرنهايت) تقريباً خلال أشهر الشتاء. مجمل متوسط درجات حرارة الماء 22 درجة مئوية (72 درجة فهرنهايت).

يعدّ هطول المطر فوق البحر الأحمر وسواحله منخفض جداً، حيث يبلغ متوسطه 0.06 ملم في السنة. معظم المطر في شكل زخات في فترات قصيرة، غالباً ما ترتبط مع عواصف رعدية وأحياناً مع العواصف الترابية. قلة المطر وعدم وجود مصدر للماء العذب في البحر الأحمر نتج عن تبخر فائض يصل إلى 2050 ملم سنوياً، وملوحة عالية مع التغيرات الموسمية. وقد وجدت مؤخراً بعثة الاستكشاف تحت الماء في البحر الأحمر عند شواطئ كل من السودان وإريتريا أن درجات حرارة الماء السطحي 28 درجة مئوية في فصل الشتاء وتصل إلى 34 درجة مئوية في الصيف، ولكن على الرغم من الحرارة الشديدة فإن حياة الكثير من الأسماك كانت صحية مع الشعاب المرجانية مع علامات نادرة لتبييض الشعاب المرجانية، وهناك خطط لزراعة عينات من هذه الشعاب تنكيف مع الحرارة العالية والتعايش مع الطحالب لإنقاذ الشعب المبيضة في الأماكن أخرى (NOAA 2011).

المصدر: من عمل الباحثين، اعتماداً على أدبيات البحث.

(الشكل 2): تقدير نسب بخار الماء في الغلاف الجوي ودوره في التبريد في البحر



الملوحة:

يعد ماء البحر الأحمر من بين البحار الأكثر ملوحة في العالم، وذلك بسبب معدل التبخر العالي. تتراوح الملوحة ما بين 36% في الجزء الجنوبي نظراً لتأثير ماء خليج عدن وتصل إلى 41% في الجزء الشمالي، ويرجع ذلك إلى ركود ماء خليج السويس والتبخر العالي في المنطقة. حيث يبلغ متوسط الملوحة 40%. (متوسط ملوحة ماء البحر في العالم هو ~ 35% على مقياس الملوحة العالمي، وهذا يتحول إلى 3.5% أملاح منحلّة فعليّة في ماء البحر.

نطاق المد والجزر:

يتراوح المد عامّة ما بين 0.6 م في الشمال، بالقرب من مدخل خليج السويس و0.9 م في الجنوب بالقرب من خليج عدن ولكنه يتقلب بين 0.20 م و0.30 م بعيداً عن نقطة المحور. في وسط البحر الأحمر (منطقة جدة) أقل منطقة مد وجزر تقريباً، وبالتالي فإن التغير السنوي لمستوى الماء يكون أكثر أهمية. بسبب المد والجزر ذي النطاق الصغير، فإن الماء خلال ارتفاع المد يغرق السبخات الساحلية طبقة رقيقة من الماء تصل إلى بضعة مئات من الأمتار بدلاً من أن تغرق السبخات من خلال شبكة من القنوات. ومع ذلك، قد تغطي ماء البحيرة المالحة السبخات المجاورة بقدر 3 كيلومتر (2 ميل) في جنوب مدينة جدة في منطقة الشعبية، بينما شمال مدينة جدة في منطقة وادي الخرار تغطي السبخات بطبقة رقيقة من الماء حتى 2 كلم. إن الرياح الشمالية والشمالية الشرقية السائدة تؤثر على حركة الماء في مداخل المناطق الساحلية المجاورة للسبخات، وخاصة خلال العواصف. فيعني الشتاء أن مستوى سطح البحر عند 0.5 م أعلى مما كان عليه في الصيف. إن سرعة المد والجزر التيمر عبر المضائق الناجمة عن الشعب المرجانية وأشرطة الرمال والجزر المنخفضة، عادة تتجاوز 1-2 م/ث. وتوجد الشعاب المرجانية في البحر الأحمر بالقرب من مصر والسعودية وفلسطين والسودان (Lazier, 2006).

التيارات المائية البحرية:

المعلومات التفصيلية للتيارات في البحر الأحمر قليلة وناقصة لأن هذه التيارات ضعيفة ومتغيرة مع كل من المكان والزمان على حد سواء. إن اختلاف الزمان والمكان للتيارات يكون منخفضاً بمقدار 0.5 م وتتحكم بهالرياح. فخلال فصل الصيف تقود الرياح الشمالية الغربية سطح الماء جنوباً لأربعة أشهر بسرعة 15-20 سم/ثانية، بينما في فصل الشتاء يتم التدفق بالعكس مما يؤدي إلى تدفق الماء من خليج عدن إلى البحر الأحمر. تكون القيمة الصافية لآخر رياح مسيطرة تسفر عن الانجراف الكلي إلى الطرف الشمالي للبحر الأحمر. عموماً، سرعة تيارات المد والجزر ما بين 50-60 سم/ثانية مع حد أقصى قدره 1م/ثانية (3.3 قدم) عند مصب بحيرة الخرار المالحة. ومع ذلك، فإن نطاق التيارات الشمالية-الشمالية شرقية، على طول الساحل السعودي 8-29 سم/ثانية.

حركة الرياح:

يتعرض كل من البحر الأحمر وخليج عدن لتأثيرات الرياح العادية والموسمية العكسية، باستثناء الجزء الشمالي من البحر الأحمر الذي تهيمن عليهاالرياح الشمالية الغربية المستمرة بسرعة تتراوح ما بين 7 كم/ساعة و12 كم/ساعة. تتعرض حركة الرياح الموسمية والإقليمية لتغيرات في السرعة والاتجاه مع زيادة عامة لمتوسط السرعة شمالاً. تعدّ الرياح في البحر الأحمر هي القوة الدافعة لنقل المواد إما بالتعليق أو حمولة القاع. تلعب التيارات الهوائية دوراً مهماً للبحر الأحمر في عملية إعادة تعلق رواسب قاع البحر، ونقل هذه المواد من مواقع الإغراق إلى مواقع الدفن في بيئة هادئة ومعزولة.

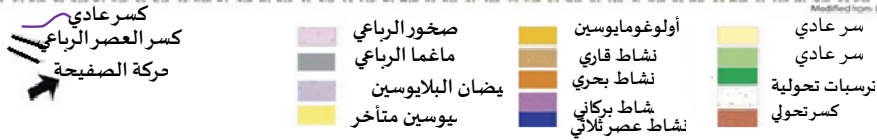
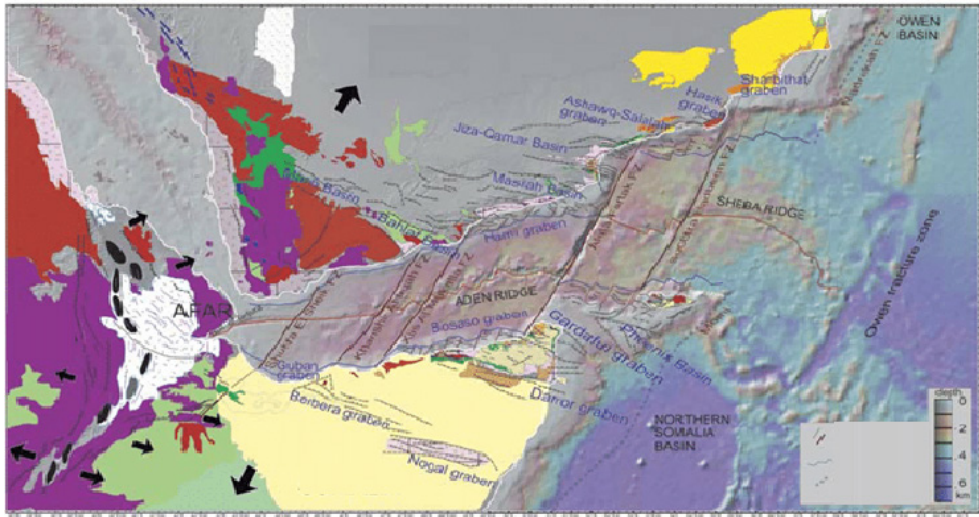
النشأة الجيولوجية والتركيب الصخري للبحر الأحمر:

حدث خسف للبحر الأحمر في أواخر عصر الأوليجوسيني *Oligocene* أي منذ 38 مليون سنة حيث بدأ كغور ثم توالى عمليات الخسف مما أدى إلى دخول ماء البحر المتوسط (بحر التيثس) عن طريق برزخ السويس فكون بحر شبه مغلق ضحل مساحته نصف مساحة البحر الأحمر حالياً، حيث لم يصل البحر الأحمر إلى باب المنذب بعد. وبالتالي ترسبت طبقات بحرية طينية سمكها 2000 متر أثناء عصر الميوسين *Miocene* الأوسط. ثم حدث تغيير بيئي مفاجئ في أواخر عصر الميوسين *Miocene*: أي منذ حوالي 25-5 مليون سنة حيث أصبح حوض البحر الأحمر حوض تبخير عظيم تكون فيه سمك كبير من الأملاح (المتبخرات) *evaporates* أدت إلى تجمع المواد العضوية فجأة. في تلك الأثناء كان البحر الأحمر مفصول عن المحيط الهندي بوصلة من الأرض. -أي حتى في هذا العصر- تقع عند مضيق باب المنذب بينما كان في نفس الوقت متصل من عند برزخ السويس (بحر التيثس العظيم) ولكن كان هذا الاتصال ضعيفا حيث أن إمداد الماء بطيء ومعدل التبخير مرتفع (*Lazier, 2006*).

منذ 5 مليون سنة (أي في عصر البلايوسين) *Pliocene* حدث خسف آخر للغور المحوري الذي قطع طبقات متبخرات الميوسين *Miocene* كما أن هذا الخسف. أحدث ارتفاع في الأرض في الشمال فأغلقت الاتصال بالبحر الأبيض المتوسط بينما أحدث الخسف أيضا خسف الوصلة الفاصلة ما بين البحر الأحمر والمحيط الهندي وبالتالي دخلت ماء المحيط الهندي وتواجدت أول محتوى أحفوري *Indo-pacific*. في عصر البليستوسين *Pleistocene* (أي منذ 2 مليون سنة) ويسمى هذا العصر بالعصر الجليدي حيث أنه أثر على منسوب ماء المحيطات والبحار وأدى هذا العصر إلى انخفاض منسوب ماء البحر الأحمر إلى 90 متر وبالتالي بدأت الأنهار والأودية في حفر المجاري النهرية للوصول إلى شرم أبهر - شرم الخوار. في المنطقة الشرقية للبحر الأحمر في المملكة العربية السعودية.

ملاحظة: أثناء العصر الجليدي لم يتجمد ماء البحر ولكن فقط تجمدت مناطق القطبين لذلك انخفض منسوب البحر حتى 120 متر (من 90-120 متر) ومع هذا الانخفاض أدى إلى فصل البحر الأحمر عن المحيط الهندي فسادت الظروف فوق ملحية (*super saline*). وفي هذا العصر أيضا كان ميول التباعد بين الجزيرة العربية وأفريقيا حوالي 2 cm في السنة (أي 1.7 mm في الشهر) مما أدى إلى توسيع الغور المحوري وكانت الحرارة المتصاعدة عالية، وتكونت الفوالق المستعرضة والجانبية والتراكيب شديدة الانحدار الناتجة عن البراكين والبؤر الحارة. بدأت بعدها الشعاب المرجانية في النمو في الماء الضحل وفوق الكتل المرفوعة. انتهت آخر فترة جليدية منذ 20 ألف سنة. و استقر منسوب سطح البحر الأحمر الحالي منذ 5 آلاف سنة مضت. يمثل البحر الأحمر علامة.

- انفصال الصفيحة العربية عن الصفيحة الأفريقية. بعدها ظهرت الحقائق التالية (Lazier, 2006):
1. يعدّ البحر الأحمر محيط وليد حديث ونتج من الخسف القاري ومن ثم توسع قاع المحيط.
 2. ماء البحر الأحمر أدفاً ماء عميق مقارنة مع محيطات العالم.
 3. يعطي وجود الشعاب المرجانية في البحر الأحمر على شواطئه وجزره أهمية كبرى.
 4. البحر الأحمر ذا نشأة حديثة تتراوح ما بين 27-28 مليون سنة (ظهر في عصر الأوليجوسيني).
 5. وجود الخسف القاري وما تبعه من وجود للنشاط البركاني يزود البحر الأحمر بظواهر جيولوجية مهمة.
 6. يعتبر البحر الأحمر طريق ملاحي سهل للعالم أجمع وأيضاً مكان استراتيجي مهم.
 7. ونتيجة لوجود الخسف (الزحفالقاري) يكون قاع البحر ملئاً بالثروات المعدنية البحرية وأيضاً وجود البؤر الحارة *hot spot* يعطي خامات معدنية مهمة مثل الذهب - النحاس - الرصاص - وحتى النفط



المصدر: (Kämpf J. Chapman P. (2016)

الموارد الحية: مرجان وأسماك البحر الأحمر:

يعدّ البحر الأحمر نظام بيئي غني ومتنوع. حيث يوجد أكثر من 0021 نوع من الأسماك التي سجلت في البحر الأحمر، ولا يوجد حوالي 01% منها في الأماكن الأخرى. ويشمل هذا أيضاً 24

نوعاً من أسماك الماء العميق. و يعود هذا التنوع الغني نسبياً إلى وجود 0002 كيلومتر (0421 ميل) من الشعاب المرجانية على امتداد سواحلها، والتي يتراوح عمرها ما بين 0005-0007 سنة، وتشكل في معظمها من نوع الشعاب المرجانية الصخرية setiroparoporca. وتشكل هذه الشعاب أرضة وأحياناً بحيرات ملحية على طول الساحل، وأحياناً عرضية كالأسطوانات (كما في حالة الحفرة الزرقاء eulB في eloH في منتجع ذهب. وتزور هذه الشعاب الساحلية أيضاً أنواع من أسماك البحر الأحمر، والتي تشمل 44 نوعاً من أسماك القرش. يحتوي البحر الأحمر أيضاً على العديد من الشعاب الشاطئية والتي تشمل جزر مرجانية عديدة. والعديد من هذه الشعاب الشاطئية، والغير عادية، شكلت تحدي تقليدي لكثير من النظريات، مثل النظرية الداروينية، ولمخططات شعب مرجانية مصنفة، ونسبت عموماً إلى مستويات عالية من النشاط التكتوني الذي تتميز بها المنطقة. تشمل الموائل البحرية الأخرى الحشائش البحرية والسبخات، والأبكة الساحلية والمستنقعات المالحة.

شكل (4): المرجان: تكوين في أعماق البحر.



المصدر: (NOAA 2011).

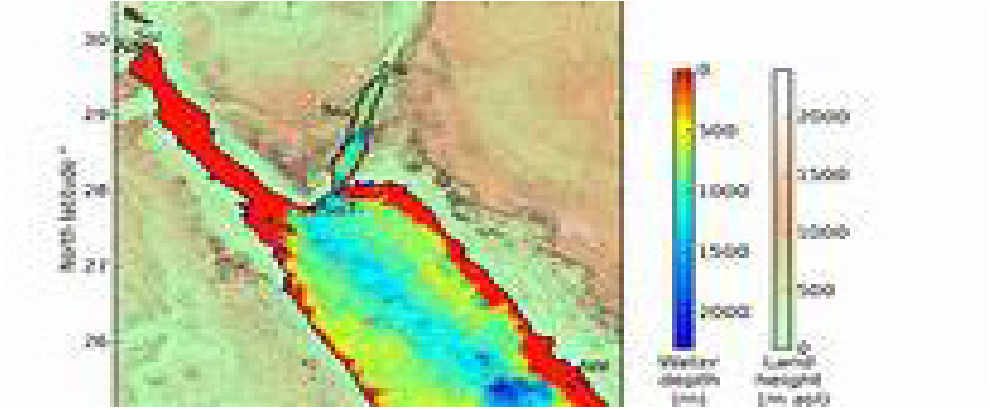
الموارد المعدنية:

- فيما يتعلق بوجود الموارد المعدنية، المكون الرئيس لرواسب البحر الأحمر، فهي على النحو التالي:
1. المكونات الإحيائية: المستحاثات الدقيقة، المنخريات، جناحيات الأقدام، حفريات السيليكون.
 2. المكونات البركانية: الطفح البركاني، الرماد البركاني، المونتموريلونيت، الكريستوبليت، ربوليت.
 3. المكونات البرية: الكوارتز، الفلسبار، شظايا صخرية، الميكا، والمعادن الثقيلة والمعادن الطينية.
 4. المعادن مكانية التكوين: كبريتيد المعادن، أراجونيت، مغنيسيوم الكلسيت، بروتودولوميت الدولوميت، الكوارتز والعقيق.
 5. معادن رواسب التبخر: المغنيسيت، الجبس، الأنهيدريت، الهاليت، الهاليت المتعددة.
 6. محاليل الصخور المالحة الرسوبية: مونت موريلونيت الحديد، الغوثيت، الشاذنج، السيدريت رودوكروزيت، البيريت، سفاليريت، الأنهيدريت.

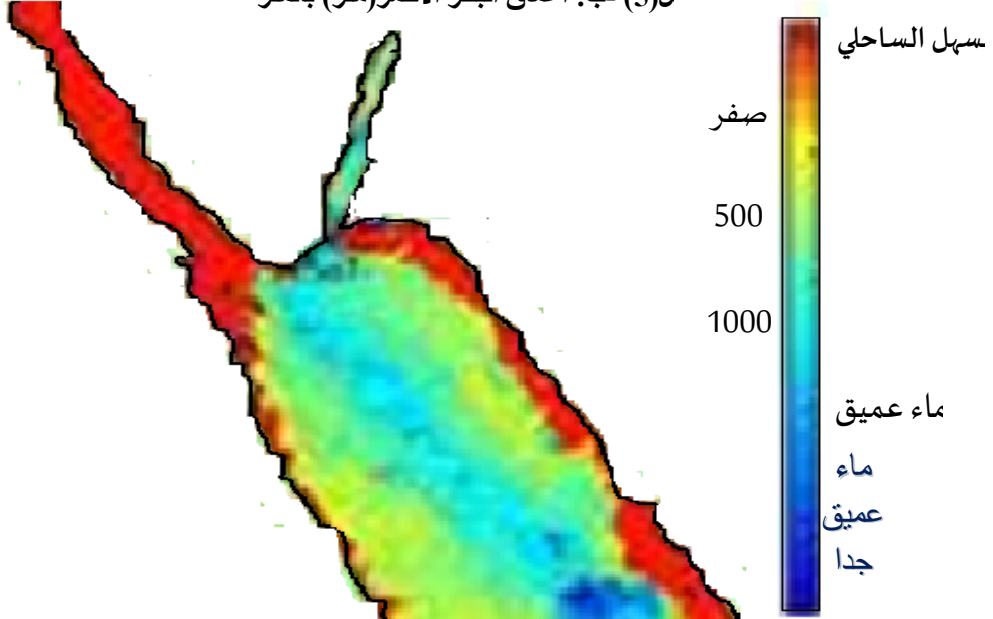
أعماق البحر الأحمر:

يقع البحر الأحمر بين الأراضي القاحلة، الصحراوية وشبه الصحراوية. والأسباب الرئيسية لأفضل نمو للشعاب المرجانية على طول البحر الأحمر هو بسبب الأعماق وكفاءة نمط التوزيع للمياه، ماء البحر الأحمر تتبدل مع ماء البحر العربي والمحيط الهندي عبر خليج عدن. وهذه العوامل الطبيعية تقليل تأثير الملوحة العالية التي يسببها تبخر الماء في الشمال وسخونة الماء نسبيا في الجنوب.

الشكل (5) - أ: أعماق البحر الاحمر (متر):

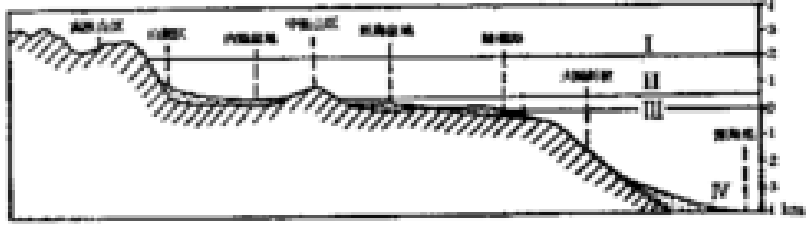


ل (5) - ب: أعماق البحر الأحمر (متر) بالمتر



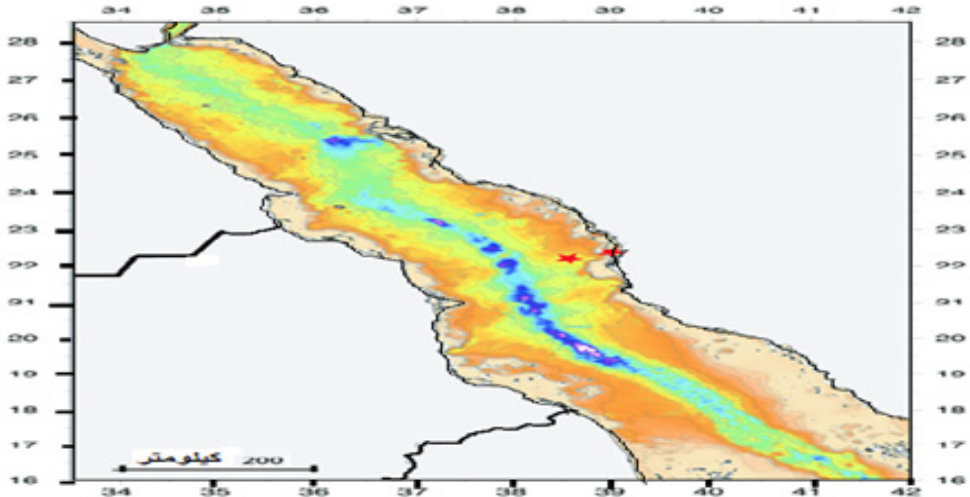
المرجع: (Red Sea (20.29655 38.53430

أعلى النموذج



(NOAA (2011).

الشكل (6): تباين أعماق البحر الأحمر حسب المسافة بين الساحلين:



المصدر: مصادر مختلفة: 2020-2022.

البحر الأحمر: محيط، بحر؟

يتميز البحر الأحمر بعدة مميزات تجعل منه محيطاً أكثر منه بحر: فالبحر الأحمر لا حدود له واضحة، بحيث أنه متصل بمحيطين كبيرين، هما المحيط الهندي، عبر خليج عدن، والمحيط الأطلسي، عبر البحر الأبيض المتوسط. وليقال: على الأقل: أنه يجمع سمات البحر، من جهة، وسمات المحيط، من جهة أخرى. لقد وصفت المحيطات على أنها دولا ب الموازنة للنظام المناخي. لأن المحيطات تقوم بتخزين الطاقة عند وفرتها خلال اليوم أو في فصل الصيف، وتقوم بتحريرها في الليل أو في فصل الشتاء. وعلى عكس نظام الموازنة، فإن المحيطات تقوم بلعب دوراً أكثر نشاطاً في نظام المناخ العالمي: فأنها، ومن خلال حركاتها المستمرة، تنقل كميات كبيرة من الطاقة عبر سطح الأرض، فيما يلعب كل من سعة التخزين الحرارية للمحيطات، مع طول الفترة التي تنطوي عليها الدورة المحيطية، دوراً رئيسياً في تحديد المناخات العالمية والإقليمية. وتلعب ظاهرة التقلب المائي البحري أكثر من دور أوقياني، ومناخي، وحيوي فيما يتعلق بالكائنات البحرية من طافيات نباتية *Phytoplankton* وأخرى حيوانية *Zooplankton*.

البحر الأحمر: سماته البحرية تجعله يصبح محيطا في المستقبل البعيد:

أفادت دراسة علمية أن فتقا أو تمزقا ذو طبيعة غير معهودة حدث مؤخرا بقشرة الأرض، مما قد يسرع بتحول البحر الأحمر إلى محيط في المستقبل البعيد. فقد وجد الباحثون من جامعة ليدز البريطانية أن الفتق الذي حدث في شهر سبتمبر/أيلول الماضي بمنطقة عفار بإثيوبيا الواقعة قرب الطرف الجنوبي للبحر الأحمر، هو الأكبر والأسرع منذ بدأت الأقمار الاصطناعية رصد حركة قشرة الأرض. وبلغ طول هذا الفتق 60 كلم وعرضه نحو 8م. وكان الباحثون لاحظوا أن فتقا مشابها حدث في آيسلاندا ولكن استغرق حدوثه 9 أعوام (1975-1984)، بينما لم يستغرق حدوث الفتق الإثيوبي سوى بضعة أسابيع. وعزا المؤلف الرئيس للدراسة الدكتور تيم رايت هذا الفتق إلى فوران وضغط الصهارة الصخرية (الماغما) في باطن الأرض، وليس إلى الزلازل.

انفتاح ألواح القارات:

تعتمد هذه الدراسة العلمية على نظرية «الألواح التكتونية» القائلة بأن قشرة الأرض (والتي تحوي قيعان المحيطات) كانت رتقا أو كتلة واحدة اسمها «بانغياPangaea» عائمة على محيط هائل من الصهارة الصخرية. ثم انفتقت هذه الكتلة إلى ألواح عديدة منذ ملايين الأعوام. وتوصل العلماء لهذه النظرية بناء على ملاحظة مناطق النشاط الزلزالي والبركاني، وهي المناطق التي أجمع العلماء على أنها خطوط التماس بين الألواح التكتونية المختلفة. وتذهب الدراسة الجديدة إلى أن الأخدود الإثيوبي الأخير ناتج عن التباعد المتواصل بين اللوح التكتوني العربي (المكون لكتلة الدول العربية في قارة آسيا) ونظيره الإفريقي (المكون لقارة إفريقيا)، ويقع البحر الأحمر عند خط تماسهما. ويعتقد أن اللوحين التكتونيين قد بدءا في التباعد منذ



حوالي 30 مليون عام، بسرعة مقدارها بضعة سنتيمترات سنويا. وبهذا المعدل، وبالسرعة التي حدث بها الفتق الأخير، يعتقد مؤلفو هذه الدراسة أن البحر الأحمر سيتحول إلى محيط في غضون مليون عام. أجرى الدراسة فريق بحث من جامعة ليدز البريطانية، ونشرت نتائجها في العدد الحالي من مجلة «الطبيعة-Nature»، وأوردت شبكة ناشيونال جيوغرافيك National Geographic خلاصة لها. وقد اعتمدت على بيانات من القمر الاصطناعي «إنفيسستار» التابع لوكالة الفضاء الأوروبية، والذي سجل بدقة تطور الأخدود الأفريقي العظيم.

الشكل (7) جوار البحر الأحمر



المصدر: من عمل الباحثين، اعتمادا على مصادر مختلفة.

أشار علماء جيولوجيا من بريطانيا إلى أن البحر الأحمر ربما يتحول إلى محيط مثل المحيط الأطلسي في المستقبل، وذلك بسبب النشاطات الجيولوجية التي تحدث حاليا في الطبقات الجيولوجية في قاع البحر الأحمر. فقد استخدم فريق علمي مكون من جيولوجيين من جامعة أكسفورد البريطانية، وعلماء جيولوجيا من جامعة أديس أبابا في أثيوبيا، صورا فضائية لمنطقة باب المنذب في البحر الأحمر التقطها القمر الصناعي «أنفيسات» في شهر أيلول الماضي، حيث أظهرت الصور وجود شق عظيم في قاع البحر الأحمر عمقه 8 أمتار وطوله 60 كيلو مترا ونشا هذا الشق في مدة لا تزيد عن ثلاثة أسابيع فقط، وهي مدة تعتبر قصيرة جدا لحدوث مثل هذا الشق الجيولوجي الكبير، وبحسب الفريق العلمي فإن الشق حدث في نقطة التقاء القشرة الأرضية في الجزيرة العربية مع القشرة الأرضية في قارة إفريقيا، وهي الجزء الشرقي للقارة الإفريقية.

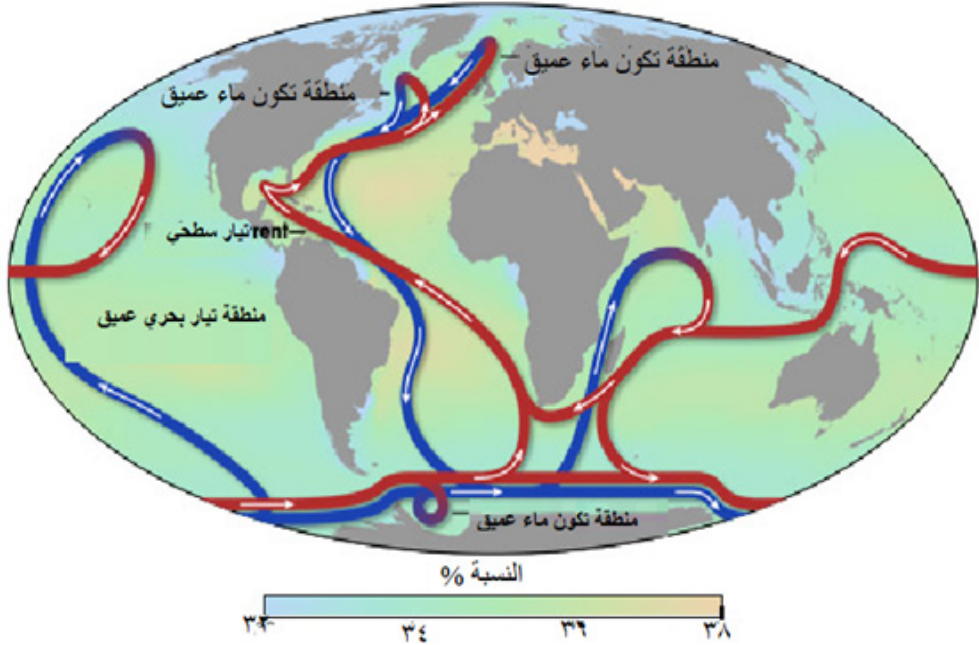
إن السبب الذي أدى إلى حدوث هذا الشق هو حدوث نشاطات جيولوجية مميزة في منطقة البحر الأحمر خلال السنين القليلة الماضية، والصور الفضائية الملتقطة للمنطقة تبين بكل وضوح أن المنطقة متعرجة وتنتشر فيها الفراغات والكهوف الناتجة عن النشاطات البركانية. تعني هذه الشقوق والنشاطات الجيولوجية في المنطقة أن البحر الأحمر ربما يتعرض إلى توسع كبير، الأمر الذي يؤدي إلى التقائه بالمحيط الهندي وبحر العرب ومن ثم يتحول إلى محيط مثل المحيط الأطلسي، ومن ثم قد تتغير خارطة العالم التي عهدناها منذ ملايين السنين. عموما فإن تغير البحر الأحمر إلى محيط هي حالة مشابهة للحالة الجيولوجية التي يتوقع أنها حدثت قبل

ملايين السنين، حينما أدت التحركات في القشرة الأرضية إلى انفصال القارة الأمريكية الشمالية عن أمريكا الجنوبية، وكذلك انفصال هاتين القارتين عن قارتي أوروبا و آسيا مشكلة فراغا كبيرا تشكل نتيجة لهذه العملية الجيولوجية، فيما بعد، المحيط الأطلسي. أكدت الدراسات التي أجراها الفريق العلمي بالاعتماد على القمر الصناعي «أنفيسات» أن القشرة الأرضية في شبه الجزيرة العربية تتحرك مبتعدة عن القشرة الأرضية في الجهة الشرقية للقارة الإفريقية بمقدار بسيط لا يتجاوز السنتيمترين تقريبا وهي قيمة مشابهة للقيمة التي تحدث بين القارة الأمريكية الجنوبية والقارة الأفريقية. عموما فان قارات العالم ليست ساكنة كما يظن البعض، إنما هي عبارة عن لوحات تكتونية تطفو على صخور مائعة أو حمم بركانية ذائبة، وهذا ما يجعلها تتحرك ببطء مبتعدة أو مقتربة عن بعضها البعض، وهذا يجعل صورة العالم تتغير خلال ملايين السنين (Ibid).

تقلب ماء البحر الأحمر: ما المقصود بتقلب ماء البحر؟:

التقلب المائي البحري هو عملية بحرية رأسية، تحمل التيارات البحرية الصاعدة/الهابطة من خلالها الماء البارد، الغني بالغذائيات، بشقيها الحيواني والنباتي، من أسفل البحر إلى أعلاه، في حالة التقلب الصاعد *Upwelling*، أو من أعلاه إلى أسفله، في حالة التقلب الهابط *Downwelling*. والتقلب المائي البحري هو ظاهرة محيطية نتيجة، أو ناتجة عن كل من حركة الرياح في سطح الأرض، ودوران الأرض من الغرب إلى الشرق حول محورها. كما يعتبر التقلب المائي البحري الرأسي/الصاعد ناقلا نشطا للماء الغني بالغذاء من قاع/أسفل البحر إلى سطحه، والعكس في حالة التقلب الهابط. ومن أهم ما ينقله التقلب الصاعد: الغذاء المتمثل في الطافيات البحرية بشقيها الحيواني والنباتي (الكتلة الحيوية *Zoo/Phytoplankton*) ينشط الماء الصاعد وجود ونمو المنتجات الأولية، والتي هي قاعدة بناء هرم الطاقة البحري. ويسمح نقل الماء البارد من قاع البحر نحو سطحه بتميز مناطق التقلب البحري الصاعد بأنها باردة الماء السطحي في مناطق وجودها (درجة حرارة سطح البحر SST)، بالإضافة إلى التركيز العالي للكوروفيل (*Chlorophyll-a*). إذن ينتج عن التقلب المائي البحري الرأسي توفر متزايد من الغذائيات في مناطق التقلب المائي الرأسي البحري، وتوفر مستوى عالي من الغذائيات، وبالتالي توفر مناطق غنية بالصيد السمكي. يأتي ما يقرب من 25 % من الصيد السمكي في العالم من مناطق التقلب المائي البحري، والتي تمثل فقط 5 % من مساحة سطح البحر في الكرة الأرضية. هناك ثلاثة عوامل/آليات *mechanisms*، تشكل ظاهرة التقلب المائي البحري، وهي: الرياح *Seasonal Winds*، ناقل اكمان *Ekman transport*، وقوة كويرلي *Cariolle's Force*. ولكل من هذه الآليات دور هام في تسريع واستمرارية ظاهرة التقلب المائي البحري. تشكل ظاهرة التقلب المائي البحري، وهي: الرياح *Seasonal Winds*، ناقل اكمان *Ekman transport*، وقوة كويرلي *Cariolle's Force*. ولكل من هذه الآليات دور هام في تسريع واستمرارية ظاهرة التقلب المائي البحري.

الشكل (8): المكونات الأساسية لعوامل التيارات البحرية في البحر الأحمر:



المصدر: من عمل الباحثين من مصادر مختلفة (2022).

ما هي الميكانيكيات الثلاث وراء عملية التقلب المائي البحري؟

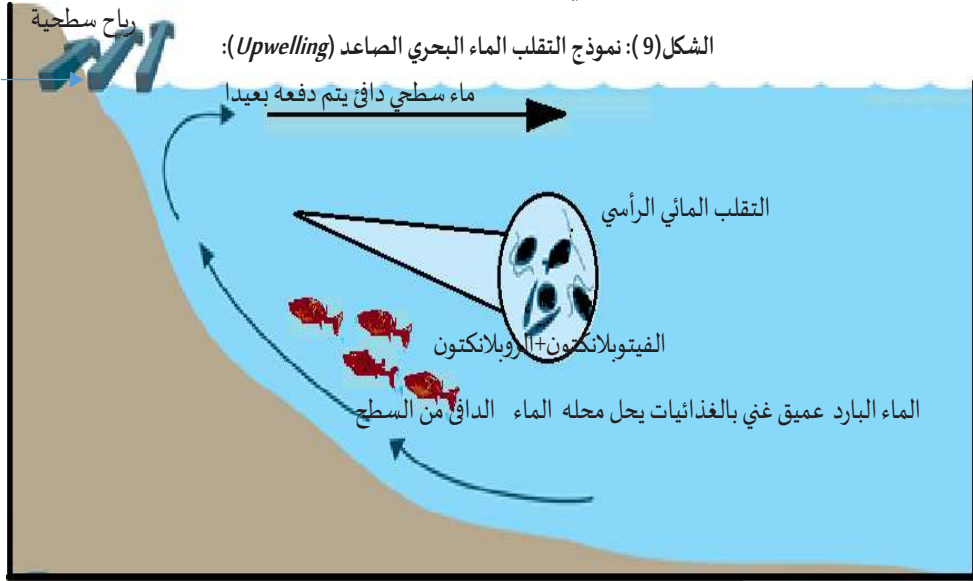
تشمل الميكانيكيات الثلاث التي أظهرت عملية التقلب المائي البحري: الرياح، ناقل اكمان (*Ekmans Transport*)، قوة كويرلي (*Coriolis Force*). تمثل هذه الآليات الثلاث القوى التي تتحرك بها عملية التقلب المائي البحري، كما إنها هي التي تحدد أشكال التقلب المائي البحري. بصورة عامة: تهب الرياح عبر سطح ماء البحر مما يؤدي إلى تمازج عمل كل من الرياح وماء البحر في إنشاء وعمل واستمرارية ظاهرة التقلب المائي البحري: فمن ناحية التقلب المائي البحري الهابط (*Downwelling*): فهو يتمثل في تجمع مواد بحرية ذات كثافة عالية مقارنة بكثافة ماء البحر، ومن ثم الغوص نحو قاع البحر، رافعة بدرجة نسبية درجة حرارة الماء السفلي هناك. إذن: فإن عملية التقلب المائي البحري هي عملية بحرية تشمل تجمع وغوص مواد ذات كثافة عالية، إلى قاع البحر. إذن: ظاهرة التقلب المائي البحري الهابط ظاهرة مهمة، لأنه بدونها، كان سيحدث فناء جماعي للكثير من المكونات البحرية: سواء غذائية، أو خصبة. ويكفي أنها الناقل البحري الرئيس للأكسجين المذاب في ماء البحر من سطح البحر إلى قاعه. والأكسجين مكون ضروري لحياة الكائنات الحية، حيوانات ونباتات، في قاع البحر.

تجب الإشارة إلى أن النظم الإيكولوجية المجردة للشعاب المرجانية حساسة للغاية للشذوذ الحراري، مما يجعلها عرضة للاحتباس الحراري المستمر. ومع ذلك، فإن مجموعة متنوعة من

آليات التبريد، مثل ارتفاع ماء القاع إلى السطح، يمكن أن توفر بعض الراحة لبعض الشعاب المرجانية. تعد ضفاف جزر فرسان في جنوب البحر الأحمر موطنًا لمئات الشعاب المرجانية التي تغطي مساحة 16000 كلم² وتشهد أعلى درجات حرارة الماء في أي منطقة من مناطق الشعاب المرجانية في المنطقة، على الرغم من التعرض لارتفاع ماء القاع إلى السطح في فصل الصيف. لقد نشرت مجموعة من أجهزة تسجيل درجة الحرارة على الشعاب المرجانية في جزر فرسان، مما مكن من تقييم نتائج قياس درجة حرارة سطح البحر (SST) القائمة على الأقمار الصناعية، وللتقاط أمطار ارتفاع ماء القاع إلى السطح. بالإضافة إلى ذلك، استخدمت مخرجات الاستشعار عن بعد لتحقيق الدوافع المادية لارتفاع ماء القاع إلى السطح، ولفهم أفضل لكيفية تعديل ارتفاع ماء القاع إلى السطح للإجهاد الحراري الصيفي على المجتمعات المرجانية. تظهر هذه النتائج أن العديد من منتجات SST للأقمار الصناعية تقلل من درجات حرارة ماء الشعاب المرجانية ولكنها تختلف في قدرتها على الالتقاط الديناميكي المكاني والزمني (Dinwiddie 2018).

التقلب المائي البحري الصاعد (Upwelling):

هو ارتفاع ماء القاع إلى السطح: أي أنه عملية يرتفع فيها الماء العميق البارد من قاع البحر نحو سطحه كما في الشكل التالي.



المصدر: من عمل الباحثين بالاعتماد على مصادر مختلفة.

يوضح الرسم أعلاه كيف يتم استبدال الماء السطحي الدافئ بماء بارد غني بالمغذيات من نوعي الفيتوبلانكتون، و الزوبلانكتون: أي «تدفع الماء البحري إلى أعلى» من الأسفل. وتكون الظروف مثالية لارتفاع ماء القاع إلى السطح على طول الساحل عندما تهب الرياح على طولها: فالرياح التي تهب عبر سطح البحر تدفع الماء السطحي بعيدا. ثم يرتفع الماء من تحت سطح

البحر ليحل محل الماء الذي تم دفعه بعيدا. تعرف هذه العملية باسم «ارتفاع ماء القاع إلى السطح» *Upwelling*. و يحدث ارتفاع ماء القاع إلى السطح في البحر المفتوح وعلى طول الساحل. وتحدث العملية العكسية، التي تسمى «هبوط ماء السطح إلى القاع»، أيضا عندما تتسبب الرياح في تراكم الماء السطحي على طول الخط الساحلي ويغرق الماء السطحي في نهاية المطاف نحو القاع. ويكون الماء الذي يرتفع إلى السطح، نتيجة لارتفاع ماء القاع إلى السطح، عادة ما تكون أكثر برودة وغنية بالعناصر الغذائية. وتخصب هذه العناصر الغذائية الماء السطحي، مما يعني أن هذا الماء السطحي غالبا ما يكون له إنتاجية بيولوجية عالية. لذلك، عادة ما توجد مناطق صيد سمكي جيدة حيث يكون ارتفاع ماء القاع إلى السطح شائعا (الشكل أعلاه).

التقلب المائي البحري الهابط: *Oceanic Downwelling*:

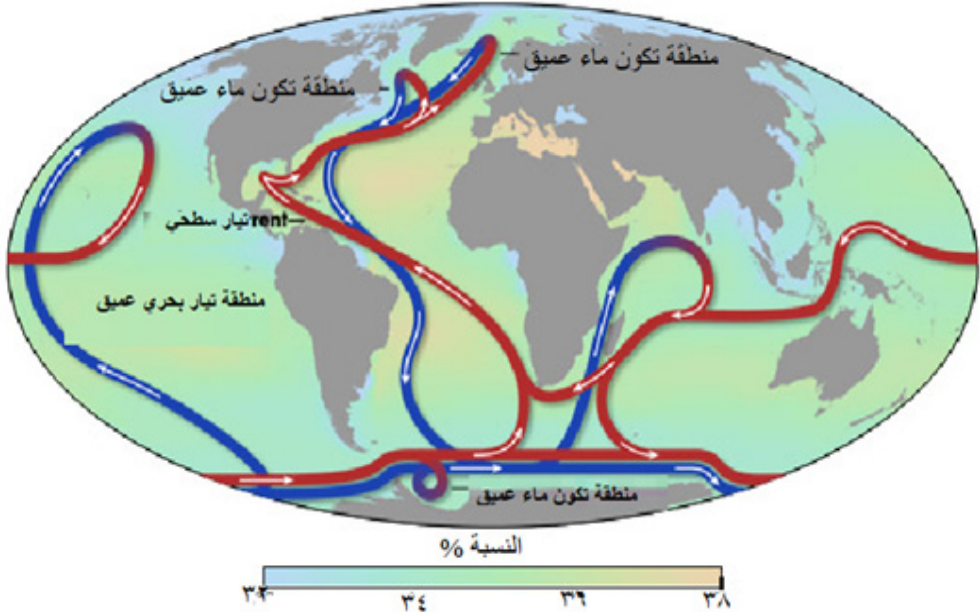
يقصد بالتقلب المائي البحري الهابط: هبوط ماء أكثر كثافة من سطح البحر إلى قاعه حيث كثافة الماء أقل. ويكون سبب ارتفاع الكثافة هو ارتفاع ملوحته، أو انخفاض درجة حرارته. لذا يتوقع أن تحدث عملية هبوط الماء في مناطق البحر ذات الكثافة العالية إلى قاع البحر بما يسمى التقلب المائي المحيطي الهابط (*Oceanic Downwelling*)، والعكس في حالة الماء السطحي ذي الكثافة المنخفضة، حيث حدوث ظاهرة التقلب المائي الصاعد (*Oceanic Upwelling*). يحدث التقلب المائي الهابط في أي وقت من أوقات اليوم. وهناك نوعان منه:

- هبوط ماء دافئ ومالح جدا.

- صعود ماء بارد ومالح.

يوضح الرسم أعلاه كيف يتم استبدال الماء السطحي النازح بماء بارد غني بالمغذيات، حيث «تندفق إلى أعلى» من الأسفل. تكون الظروف مثالية لارتفاع ماء القاع إلى السطح على طول الساحل عندما تهب الرياح على طول خط الساحل. تدفع الرياح التي تهب عبر سطح البحر الماء بعيدا. ثم يرتفع الماء من تحت السطح ليحل محل الماء الذي تم دفعه بعيدا. تعرف هذه العملية باسم «ارتفاع ماء القاع إلى السطح». يحدث ارتفاع ماء القاع إلى السطح في المحيط المفتوح وعلى طول السواحل. وتحدث العملية العكسية، التي تسمى «هبوط ماء القاع»، أيضا عندما تتسبب الرياح في تراكم الماء السطحي على طول الخط الساحلي وتغرق الماء السطحي في نهاية المطاف نحو القاع. الماء الذي يرتفع إلى السطح نتيجة لارتفاع ماء القاع إلى السطح عادة ما يكون أكثر برودة وغني بالعناصر الغذائية. هذه العناصر الغذائية «تخصب» الماء السطحي، مما يعني أن هذه الماء السطحي غالبا ما يكون له إنتاجية بيولوجية عالية. لذلك، عادة ما توجد مناطق صيد جيدة حيث يكون ارتفاع ماء القاع البارد، والغني بالمغذيات للأسماك، إلى السطح شائعا (Dinwiddie (2018).

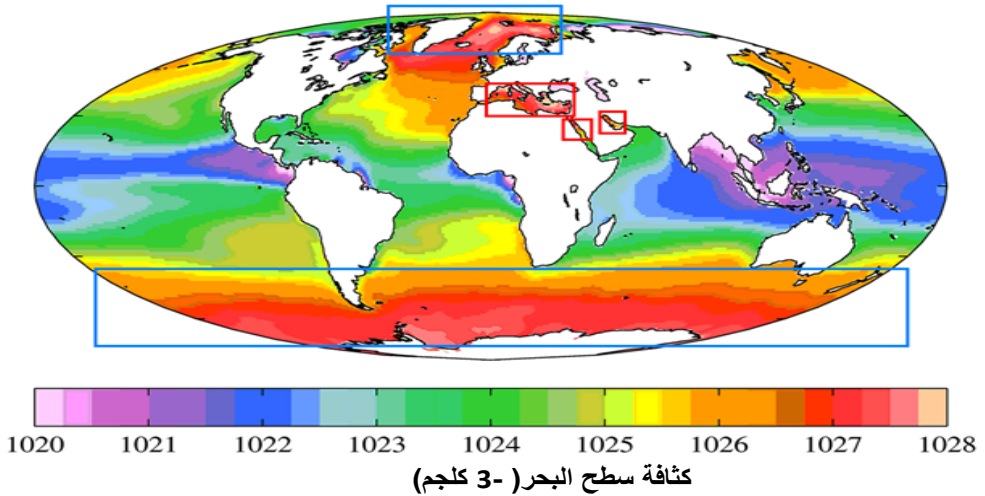
الشكل (10): اثر التيارات البحرية على درجة حرارة ماء سطح البحر



المصدر: NASA, 2019

الشكل (11): كثافة ماء سطح البحر المؤثرة على حسب حركة تيارات التقلب المائي البحري

في العالم.



المصدر: Ibid.

المصدر: (East, W. Gordon (1965).

وصلة أخيرة: *Resume*:

يعتبر ثقلب الماء البحري نشاط أوقيانى بحري له تبعاته البيئية والاقتصادية: فيعتبر ثقلب الماء البحري الرأسي، الصاعد منه والهابط، مصدرا للمكونات الغذائية «تخصب» الماء السطحي، مما يعني أن هذا الماء السطحي غالبا ما يكون له إنتاجية بيولوجية عالية. لذلك، عادة ما توجد هنا مناطق صيد جيدة حيث يكون ارتفاع ماء القاع إلى السطح شائعا. وتتوفر الأسباب الرئيسية لأفضل نمو للشعاب المرجانية على طول البحر الأحمر بسبب الأعماق وكفاءة نمط توزيع الغذائية في ماء البحر الأحمر. وبارتفاع ماء القاع إلى السطح. تدفع الرياح الموسمية من يونيو إلى سبتمبر الكتل المائية السطحية مما يؤدي إلى ارتفاع ماء القاع إلى السطح في جنوب البحر الأحمر عبر نقل إيكمان (Ekman). ويتم التحكم في هذه العملية في نهاية المطاف بواسطة الرياح الموسمية الهندية الجنوبية الغربية في بحر العرب. علاوة على ذلك، ينظم توقيت توقف الرياح الموسمية درجات حرارة الماء القصى التي يتم الوصول إليها في سبتمبر وأكتوبر. وبالإضافة إلى وصف أنماط وآليات ارتفاع ماء القاع إلى السطح، يمكن الحديث عن الآثار الإيكولوجية المحتملة لنظام ارتفاع ماء القاع إلى السطح، بما في ذلك تعديل أحداث ابيضاض المرجان وآثاره على التنوع البيولوجي في المنطقة. ومثال ذلك تكاثر السلاحف البحرية، ومدة بقاء يرقات الأسماك السطحية، ومجموعات العوالق المختلفة *Allege*.

الخاتمة:

نخلص إلى القول إنه يمكن للرياح التي تهب بالتوازي مع الساحل أن تدفع الطبقة السطحية للمحيط بعيدا عن الشاطئ، وبالتالي سحب ماء أعمق وأكثر برودة إلى السطح: في عملية تسمى «ارتفاع ماء القاع إلى السطح». في البحر الأحمر، والذي هو مسطح مائي ممتد بين أفريقيا وشبه الجزيرة العربية، تتسبب الرياح المستمرة على طول الساحل في ارتفاع ماء القاع إلى السطح على الشعاب المرجانية في الماء الضحل. ويمكن الكشف عن هذه العملية من الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض والتي تقيس درجة حرارة سطح البحر، ولكن توجد اختلافات كبيرة في البيانات التي توفرها هذه الأقمار الصناعية. نعرض الأقمار الصناعية الأكثر ملاءمة لتوصيف أنماط ارتفاع ماء القاع إلى السطح في البحر الأحمر عبر الزمان والمكان من خلال مقارنتها بمجموعة من أجهزة تسجيل درجات الحرارة المنتشرة تحت سطح الماء، وتوضح كيف أن ارتفاع ماء القاع إلى السطح في البحر الأحمر مدفوع في النهاية بأنماط الرياح واسعة النطاق في المحيط الهندي. بالإضافة إلى ذلك، تسلط هذه النتائج الضوء على كيفية تأثير ارتفاع ماء القاع إلى السطح على الحياة البحرية في البحر الأحمر. على سبيل المثال: إذا أصبحت درجات الحرارة مرتفعة للغاية، فإن الشعاب المرجانية عرضة «للتبييض» وللموت، في حين أن فراخ السلاحف البحرية تصبح في الغالب من الإناث. على الرغم من أن ارتفاع ماء القاع إلى السطح في الماء الباردة قد يساعد في تخفيف هذه الضغوط، إلا أنه قد يكون له أيضا عواقب سلبية على بعض الكائنات الحية بسبب ارتفاع تركيزات المغذيات في الماء العميقة التي ترتفع إلى السطح.

عموماً: يفصل البحر الأحمر بين قارة أفريقيا والجزيرة العربية، وطوله الذي لا يزيد على 2250 كيلومترا، وعرضه المقدر بنحو 355 كيلومترا فقط في أوسع نقطة له. ولا تزال، في الوقت الحالي، تتفكك كل من أفريقيا والجزيرة العربية، وهي عملية تسمى الزحف القاري (Continental Drift)، وتنتجها يتسع البحر الأحمر بينهما بمعدل سنوي متوسط يزيد على السنتيمتر الواحد. وفي دراسة جديدة، وحسب بيان صحفي نشر على موقع المركز الألماني، أظهر العلماء أول مرة أن قاع البحر الأحمر وتركيبته الصخرية نموذج لحوض محيط "شاب" لكنه متطور. وللتوصل إلى هذه النتيجة استخدم العلماء بوجه أساسي بيانات الجاذبية والزلازل لرسم نموذج تكتوني جديد للحوض الصخري لقاع البحر الأحمر، فضلا عن المعلومات المستمدة من خرائط قاع البحر عالية الدقة نتيجة للدراسات الكيميائية التي أجريت على عينات الصخور.

وساعد شذوذ الجاذبية على اكتشاف هياكل قاع البحر المخفية مثل محاور الأخدود الأفريقي، وتضاريس الأعماق. وقام الباحثون بموازنة أمطاط الجاذبية لمحور البحر الأحمر مع تلال وسط المحيط المماثلة فوجدوا أن أوجه التشابه بينها تفوق الاختلافات: فعلى سبيل المثال، اكتشف الباحثون أول مرة شذوذاً متشابهة في الموقعين للجاذبية المتعامدة مع محور الأخدود، التي تسببها الاختلافات في سمك القشرة الأرضية الممتدة على طول المحور. وهي سمات متشابهة لحد كبير للقشرة الصخرية في قيعان المحيطات، خاصة في المناطق الأكثر نشاطاً للماغما والأكثر سمكا. ومن ناحية أخرى دعمت خرائط قياس الأعماق وبيانات الزلازل فكرة وجود أخدود متصدع شبه مستمر في جميع أنحاء حوض البحر الأحمر. وتم تأكيد ذلك أيضا من خلال التحليلات الجيو-كيميائية لعينات الصخور من المناطق القليلة التي لا تغطيها كتل الملح، والتي أظهرت وجود "بصمات جيو-كيميائية لقشرة المحيط الطبيعية". وبهذا التحليل الجديد لبيانات الجاذبية والزلازل، حصر الفريق بداية توسع المحيط في البحر الأحمر منذ نحو 13 مليون سنة. ويعتبر بعض الباحثين أن "هذا أكثر من ضعف العمر المقبول عموماً". وهذا يعني أن البحر الأحمر لم يعد محيطاً صغيراً، ولكنه بلغ مرحلة الشباب ويمتلك هيكلها مشابهاً لجنوب المحيط الأطلسي الذي يبلغ عمره نحو 120 مليون سنة. ويؤكد هؤلاء الباحثون أن النموذج المعروف لا يزال محل نقاش في المجتمع العلمي لكنه يقدم التفسير الأفضل لما يلاحظ في البحر الأحمر، من خلال شرح كثير من التفاصيل في المناطق المغطاة بالملح والرواسب في البحر الأحمر التي لم تشرحها النماذج السابقة. يقود هذا التحليل إلى حقيقة أن التقلب المائي، بشقيه: الصاعد والهابط مرتبط بالمحيط أكثر منه بالبحار القارية. يدل ذلك ارتباط هذه الظاهرة، في كثير من مناطق وجوده بالتقاء التيارات البحرية *Convergence*، أو مناطق تفرقها *(Divergence Kämpf & Chapman, 2016)*.

الهوامش:

- (1) موقع هيئة المساحة الجيولوجية السعودية (2016): البحر الأحمر، مؤرشف من الأصل (PDF).
- (2) موقع هيئة المساحة الجيولوجية السعودية (2017): "البحر الأحمر"، مؤرشف من الأصل في 07 يناير 2016،
- (3) موقع هيئة المساحة الجيولوجية السعودية (2017) معجم البلدان (المكتبة الشاملة) نسخة محفوظة 13 سبتمبر: 2017. على موقع: Way Back Machine.
- (4) American Meteorological Society (2021) "Air-Sea interaction: Teacher's guide". Retrieved 19 February.
- (5) Aikayo, Ndui (2021.0). "Assessment of Sea Surface Temperatures (SST) and Seasonal upwelling in SW Portugal" (PDF). University of Algarve. p. 54. Retrieved 19 February 2021.
- (6) Bakun, A; Nelson, CS (1991). "The seasonal cycle of wind-stress curl in subtropical eastern boundary current regions". Journal of Physical Oceanography. 21 (12): 1815–1834.
- (7) Browder, RD; Ware, DM (2007). "Long-term variability in zooplankton biomass in the subarctic Pacific ocean". Fisheries Oceanography. One (1): 32–38. Doi:10.1111/j.1365-2419.1992.tb00023.x.
- (8) Chelton, DB; Schlax, MG; Freilich, MH; Milliff, RF (2004). "Satellite Measurements Reveal Persistent Small-scale Features in Ocean winds". Science. 303 (5660): 978–983. Bibcode:2004Sci...303..978C. Doe: 10.1126/science.1091901. PMID 14726595.
- (9) Greene, Chad A.; Blankenship, Donald D.; Gwyther, David E.; Silvano, Alessandro; Wijk, Esmee van (2017). "Wind causes Totten Ice Shelf melt and acceleration". Science Advances. -11-013-(11)e1701681. Bibcode:2017SciA....3E1681G...doi:10.1126/sciadv.1701681. ISSN 23752548. PMC 5665591. PMID 291099.
- (10) https://wiki.met.no/_media/windfarms/brostrom_jms_2008.pdf on the influence of large wind farms on the upper ocean circulation. Göran Broström, Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- (11) Bakun, A. B. (1990). "Global Climate Change and Intensification of Coastal Ocean Upwelling". Science. 247 (4939):
- (12) Blanchette, CA; Wieters, EA; Briotman, BR; Kinlan, BP; Schiel, DR (2009). «Trophic structure and diversity in rocky intertidal upwelling ecosystems: a comparison of community patterns across California, Chile, South Africa, and New Zealand». Progress in Oceanography. 83 (1–4): 107–116. Bibcode:2009PrOce..83...107B. Doe: 10.1016/j.pocean.2009.07.038.

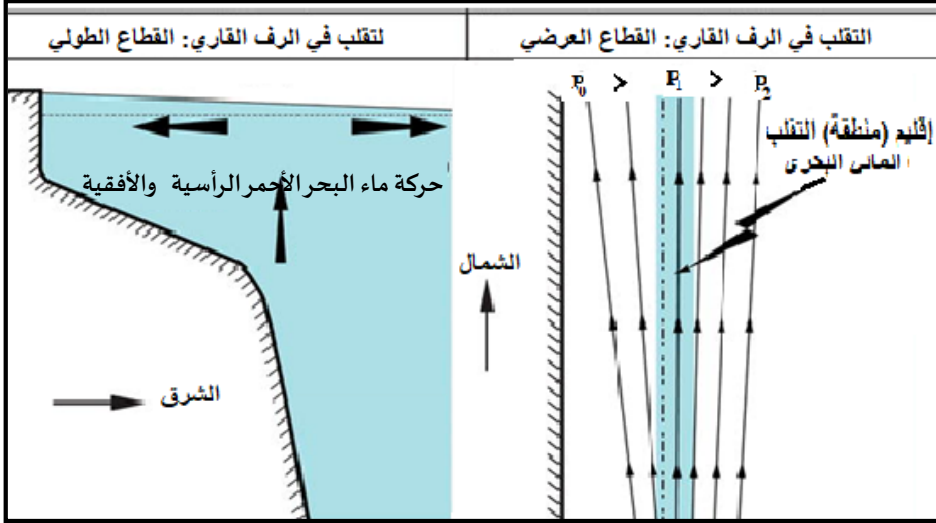
- (13)DM; Prell, WL (1993): Jump up to a b c Anderson, DM; Prell, WL (1993). «A 300 KYR Record of Upwelling off Oman During the Late Quaternary: Evidence of the Asian Southwest Monsoon». *Pale-oceanography*. 8-(2):193–208. Bibcode: 1993PalOc...8.193A. Doe: 10.1029/93pa00256.
- (14)(14) Curry, P; Bakun, A; Crawford, RJM; Jarre, A; Quinones, RA; Shannon, LJ; Verheye, HM (2000). «Small Pelagic in Upwelling systems: Patterns of interaction and structural changes in “wasp-waist” ecosystems». *ICES Journal of Marine Science*. 57 (3): 603–618. Doe: 10.1006/jmsc.2000.0712.
- (15)Mann, K.H., Lazier, J.R.N. (2006) *Dynamics of Marine Ecosystems: Biological-Physical Interactions in the Oceans*. Oxford: Blackwell Publishing Ltd. ISBN 1-4051-1118-6
- (16)Reynolds, J.D. (2001): Jump up to a b c d Jennings, S., Kaiser, «*Marine Fisheries Ecology*.» Oxford: Blackwell Science Ltd. ISBN 0-632-05098-5
- (17)Kämpf J., Chapman P. (2016) «*Upwelling Systems of the World*» Cham: Springer International Publishing AG. ISBN 978-3-319-42524-5
- (18)(18) Knauss, J.A (1997). *Introduction to Physical Oceanography*. Waveland Press, Inc. ISBN 978-1-57766-429-1.
- (19)Lalli, C.M., Parsons, T.R. (1997) «*Biological Oceanography: An Introduction*» Oxford: Elsevier Publications. ISBN 0-7506-3384-0
- (20)Rasmussen, EM; Carpenter, TH (1982). «Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the outer Oscillation/El Nino». *Monthly Weather Review*. 110:354–384. Doi:10.1175/1520-0493(1982)110<0354:VITSST>2.0.CO;2.
- (21)(21) Sarhan, T; Lafuente, JG; Vargas, M; Vargas, JM; Plaza, F (1999). «*Upwelling mechanisms in the northwestern Albetan Sea*». *Journal of Marine Systems*. No.23 (4): 317–331. Doi:10.1016/s0924-7963-(99)00068-8.
- (22)USA National Ocean Service, NOAA (2011) *Upwelling: A Report*.
- (23)US Research project, NSF and Oregon State University Archived August 4, 2009, at the Wayback Machine
- (24)BBC2: Television program» *Oceans 3/8 The Red Sea*, - 9 pm Wednesday 26 November 2008
- (25)By M. D. D. Newitt(2014)«): *A History of Portuguese overseas expansion, 1400-1668*,« p.87, Rutledge, ISBN 0-415-23979-6.

- (26) East, W. Gordon (1965). *(The Red Sea: Geography Behind History* ,W.W. Norton&Company. pp174-195 -ISBN.8-00419-08-004419-393
- (27) Encyclopedia Britannica: (2008).Red Sea: *Encyclopedia Britannica Online Library Edition*".
- (28) Fernandez-Armesto, *Felipe (2020):Pathfinders :A Global History of Exploration* ,W.W. Norton&Company.
- (29) Lieske, E. and Myers, R.F (2004) .*Coral reef guide; Red Sea* London: HarperCollins ISBN0-00-715986-
- (30) NOAA. "Upwelling". Retrieved 19 February 2021.
- (31) Robert Dinwiddie (2008): *Ocean: The World's Last Wilderness Revealed*. Dorling Kindersley, London, p.452.
- (32) Robert Dinwiddie (2018) *Red Sea Map and Map of the Red Sea Depth, Size and History Information Page*», www.worldatlas.com
- (33) Schmitt (1996): "*Cardinal colors in Chinese tradition*". Unpublished Report, New York.
- (34) Siliotti, A. (2002): *Verona, Geodia: Fishes of the Red Sea*. ISBN-2-42-87177-882.
- (35) N.B: Reference Documentation:

ملاحق: Appendices

(أ): أشكال توضيحية:

الشكل (ملحق) 1: عوامل وعناصر التقلب المائي في البحر الأحمر:



المصدر: من عمل الباحثين، مصادر مختلفة، 2022.

REFERENCES:

- (1) Acha, E. M., H. W. Mianzan, R. A. Guerrero, M. Favero, and J. Bava, 2004: Marine fronts at the continental shelves of austral South America: Physical and ecological processes. *J. Mar. Syst.*, 44, 83–105.
- (2) Blumberg, A. F., and G. L. Mellor, 1987: A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model. *Three-Dimensional Coastal Ocean Models*, N. Heaps, Ed., Vol. 4, *Coastal Estuarine Science*, Amer. Geophysics Union, 1–16.
- (3) Bogazzi, E., and Coauthors, 2005: Spatial correspondence between areas of concentration of Patagonian scallop and frontal systems in the southwestern Atlantic. *Fish. Oceanography*, 14, 359–376.
- (4) Campagna, C., F. Quintana, B. J. Le Boeuf, S. B. Blackwell, and D. E. Crocker, 1998: Diving behavior and foraging ecology of female southern elephant seals from Patagonia. *Aquatic Mamm*, 24, 1–11.
- (5) Campos, E. J. D., D. Velhote, and I. C. A. da Silveira, 2000: Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. *Geophysics. Res. Lett.*, 27, 751–754.
- (6) Chapman, D. C., 1986: A simple model of the formation and maintenance of the shelf/slope in the Middle Atlantic Bight. *J. Phys. oceanography*, 16, 1273–1279.
- (7) Chapman, D. C., 2000: A numerical study of the adjustment of a narrow stratified current over a sloping bottom. *J. Phys. oceanography*, 30, 2927–2940.
- (8) Chapman, D. C., 2002: Sensitivity of a model shelf breakfront to the parameterization of vertical mixing. *J. Phys. oceanography*. 32, 3291–3298.
- (9) Chapman, D. C., and S. J. Lentz, 1994: Trapping of a coastal density front by the bottom boundary layer. *J. Phys. oceanography*. 24, 1464–1479.
- (10) Chapman, D. C., and S. J. Lentz, 1997: Adjustment of stratified flow over a sloping bottom. *J. Phys. oceanography*, 27, 340–356.
- (11) Canady, G. T., 1978: The arrested topographic wave. *J. Phys. oceanography*, 8, 47–62.
- (12) Garcia, V. M. T., C. A. E. Garcia, M. M. Mata, R. C. Pollery, A. R. Piola, S. R. Signorini, C. R. McClain, and M. D. Iglesias-Rodriguez, 2008: Environmental factors controlling the phytoplankton blooms at the Patagonia shelf-break in spring. *Deep-Sea Res.*, 55, 1150–1166.
- (13) Garrett, C., P. MacCready, and P. Rhines, 1993: Boundary mixing and arrested Ekman layers: Rotating stratified flow near a sloping boundary. *Annul. Rev. Fluid Mech.*, 25, 291–323.

- (14)Gawarkiewicz, G., and D. C. Chapman, 1992: The role of stratification in the formation and maintenance of shelf break fronts. *J. Phys. Oceanport.*, 22, 753–772.
- (15)Hill, A. E., 1995: Leakage of barotropic slope current onto the continental shelf. *J. Phys. oceanography*, 25, 1617–1621.
- (16)Houghton, R., 1997: Lagrangian flow at the foot of a shelf breakfront using a dye tracer injected into the bottom boundary layer. *Geophysics. Res. Lett.*, 24, 2035–2038.
- (17)Houghton, R., and M. Visés, 1998: Upwelling and convergence in the Middle Atlantic Bight shelf break front. *Geophysics. Res. Lett.*, 25, 2765–2768.
- (18)Lasta, M. L., and C. Bremec, 1998: *Zygochlamys patagonica* in the Argentine Sea: A new scallop fishery. *J. Shellfish Res.*, 17 , 103–111.
- (19)Loder, J., B. Petrie, and G. Gawarkiewicz, 1998: The coastal ocean off northeastern North America: A large-scale view. *The Sea*, A. R. Robinson and K. H. Brink, Eds., Vol. 11, *The Global Coastal Ocean*, Wiley, 105–133.
- (20)MacCready, P., and P. B. Rhines, 1993: Slippery bottom boundary layers on a slope. *J. Phys. oceanography*. 23, 5–22.
- (21)Mellor, G. L., and T. Yamada, 1982: Development of a turbulent closure model for geophysical fluid problems. *Rev. Geophysics. Space Phys.*, 20, 851–868.
- (22)Middleton, J. F., and D. Ramsden, 1996: The evolution of the bottom boundary layer on the sloping continental shelf: A numerical study. *J. Geophysics. Res.*, 101, 18061–18077.
- (23)Palma, E. D., and R. P. Matano, 1998: On the implementation of open boundary conditions to a general circulation model: The barotropic mode. *J. Geophys. Res.*, 103, 1319–1341.
- (24)Palma, E. D., and R. P. Matano, 2000: On the implementation of open boundary conditions for a general circulation model: The three-dimensional case. *J. Geophys. Res.*, 105, 8605–8627.
- (25)Palma, E. D., R. P. Matano, and A. R. Piola, 2004: A numerical study of the Southwestern Atlantic Shelf circulation: Barotropic response to tidal and wind forcing. *J. Geophys. Res.*, 109 .C08014, doi:10.1029/2004JC002315.
- (26)Peterson, R. G., 1992: The boundary currents in the western Argentine Basin. *Deep-Sea Res.*, 39 , 623–644.
- (27)Pickart, R. S., 2000: Bottom boundary layer structure and detachment in the

- shelfbreak jet of the Middle Atlantic Bight. *J. Phys. Oceanogr.*, 30 , 2668–2686.
- (28) Piola, A. R., and R. P. Matano, 2001: *The South Atlantic Western Boundary Currents Brazil/Falkland (Malvinas) Currents*. Vol. 1, *Encyclopedia of Ocean Sciences*, Academic Press, 340–349.
- (29) Ramsden, D., 1995: Response of an oceanic bottom boundary layer on a slope to interior flow. Part I: Time-independent interior flow. *J. Phys. Oceanogr.*, 25 , 1672–1687.
- (30) Rhines, P. B., 1970: Edge-, bottom-, and Rossby waves in a rotating stratified fluid. *Geophys. Fluid Dyn.*, 1 , 273–302.
- (31) Rodhouse, P. G., C. D. Elvidge, and P. N. Trathan, 2001: Remote sensing of the global light-fishing fleet: An analysis of interactions with oceanography, other fisheries and predators. *Adv. Mar. Biol.*, 39, 261–303.
- (32) Romero, S. I., A. R. Piola, M. Charo, and C. A. E. Garcia, 2006: Chlorophyll-*a* variability off Patagonia based on SeaWiFS data. *J. Geophys. Res.*, 111 .C05021, doi:10.1029/2005JC003244.
- (33) Smagorinsky, J., 1963: General circulation experiments with the primitive equations, I. The basic experiment. *Mon. Wea. Rev.*, 91 , 99–164.
- (34) Sutton, P. J. H., 2003: The Southland Current: A subantarctic current. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.*, 37 , 645–652.
- (35) Trowbridge, J. H., and S. J. Lentz, 1991: Asymmetric behavior of an oceanic boundary layer above a sloping bottom. *J. Phys. Oceanogr.*, 21 , 1171–1185.
- (36) Trowbridge, J. H., and S. J. Lentz, 1998: Dynamics of the bottom boundary layer on the northern California shelf. *J. Phys. Oceanogr.*, 21 , 1171–1185.
- (37) Vivier, F., and C. Provost, 1999: Volume transport of the Malvinas Current: Can the flow be monitored by TOPEX/POSEIDON? *J. Geophys. Res.*, 104 , 21105–21122.
- (38) Wang, D-P., 1982: Effects of continental slope on the mean shelf circulation. *J. Phys. Oceanogr.*, 19 , 532–541.
- (39) Wright, D. G., 1986: On quasi-steady shelf circulation driven by along-shelf wind stress and open ocean pressure gradients. *J. Phys. Oceanogr.*, 16 , 1712–1714.

ANNEX°+APPENDIX ملاحق البحث:

1- Momentum Balance:1) موازنة الدفع الذاتي::: المعادلات التالية:: موازنة الدفع الذاتي:

$$\underbrace{\frac{1}{D} \frac{\partial(DV)}{\partial t}}_{\text{Tendency}} + \underbrace{f \times V}_{\text{Coriolis}} + \underbrace{g \nabla \eta}_{\text{Barotropic Pressure Gradient}} - \underbrace{\frac{1}{D} \nabla \phi}_{\text{Baroclinic Pressure Gradient}} + \underbrace{\frac{1}{D} \frac{\partial}{\partial \sigma} \left(\frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right)}_{\text{Vertical Diffusion}} + \underbrace{A}_{\text{Advection \& Horiz. Dif}} = 0,$$

2 - مصطلحات:

V : عامل الدفع الذاتي الأفقي. $f = fk$ =معامل قوة كوريولي η =انحدار السطح الصخري
 D =عمق البحر..... K_M =معامل القوة الرأسية. A =الاندفاع و الانتشار الأفقي
 لماء البحر.

3 -معادلات: يمكن حساب الضغط المائي المسبب/النتائج عنه/ حركة التقلبين الرأسية و

الأفقى حركة التقلب المائي الرأسى والأفقى وفق التالي:

$$\nabla \eta = \left(\frac{\partial \eta}{\partial x}, \frac{\partial \eta}{\partial y} \right)^T,$$

$$\nabla \phi = \left(\frac{\partial \phi}{\partial x}, \frac{\partial \phi}{\partial y} \right)^T,$$

$$= \frac{gD^2}{\rho_o} \int_{\sigma}^0 \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma}, \frac{\partial \rho}{\partial y} - \frac{\sigma}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho}{\partial \sigma} \right)^T d\sigma.$$

4 -مقارنة بين التقلب المائي السطحي، العرضي و الطولي، في البحر الأحمر:

