الجيوفيزياء البحرية

Marine Geophysics

فهرس المحتوى

عمر كوكب الأرض ٤

البنية الداخلية للأرض ٥

نظرية الصفائح التكتونية ٦

الزلازل ٧

منطقة واداتي-بينيوف ١١

تصنيف الزلازل ١٢

كيفية تحديد موقع الزلزال ١٤

علم الجيوفيزياء ١٥

علم المحيطات ١٧

دراسة المحيطات ١٨

قاع المحيط ١٩

دورة ويلسون ٢١

قياس الأعماق ٢٢

أقسام قاع المحيط ٢٣

الجيوفيزياء البحرية ٢٥

المسح البحري ٢٦

الاتعكاس السيزمي البحري ٢٨

سبر الصدى متعدد الحزم ٢٩

خصائص قاع البحر ٣١

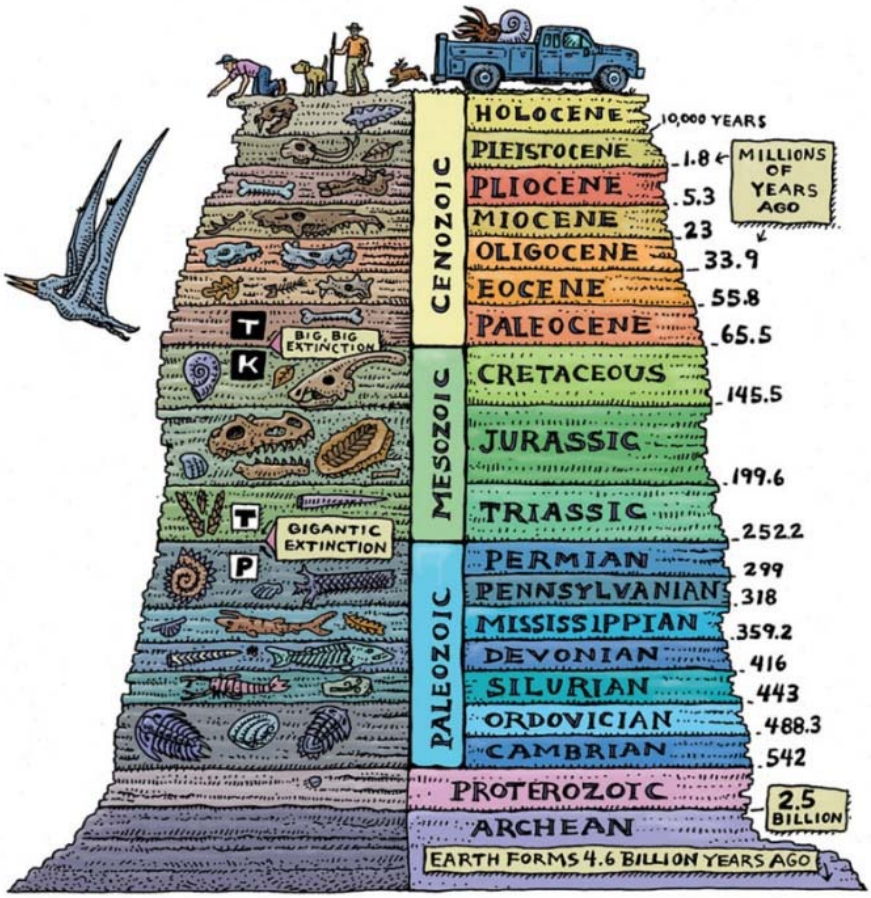
الدراسة المكتبية للمسح البحري ٣٢

الموجات الصوتية تحت الماء ٣٣

التقلبات الساحلية ٣٤
انتشار الصوت في المحيط ٣٦
السونار النشط والسونار المُنفَعِل..... ٣٨
أجهزة صدى الصوت ٣٩
خصائص صورة السونار ٤١
عوامل اختيار التردد لأنظمة السونار ٤٣
مكونات حدث الصدى في قاع البحر ٤٤
مبادئ سونار المسح الجانبي..... ٤٦
مخرجات مسبار الصدى..... ٤٨
هندسة سونار المسح الجانبي ٤٩
تأثير سرعة السفينة على التصوير بسونار المسح الجانبي..... ٥١
أنواع سونار المسح الجانبي ٥٣
قيود سونار المسح الجانبي..... ٥٦
أجهزة قياس المغناطيسية البحرية ٥٨

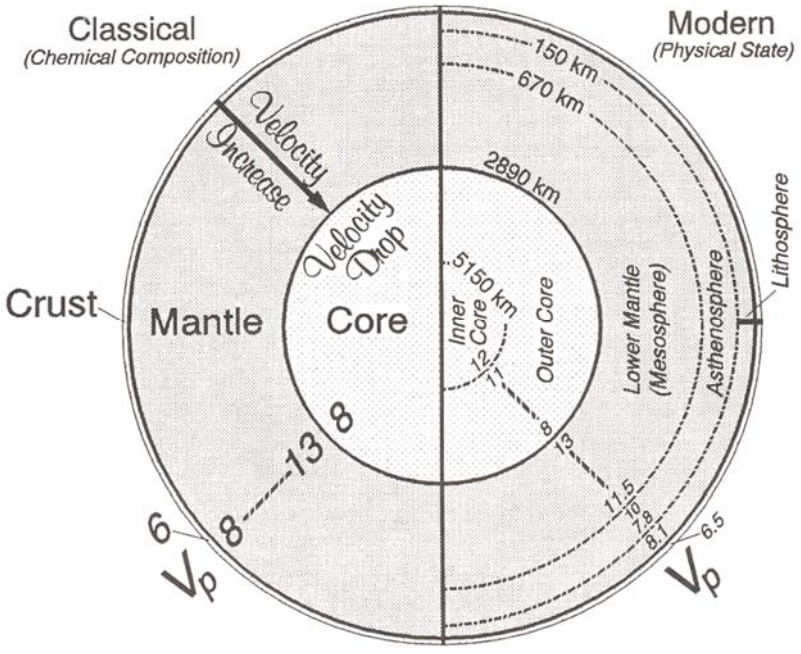
عمر كوكب الأرض

يُقدر عمر كوكب الأرض (Age of Earth) بحوالي ٤,٥ مليار سنة، وهذا يمثل عمر التراكم، أو تكوين اللب، أو المادة التي تشكلت منها الأرض. طور العلماء طرق مختلفة لتحديد عمر الأرض منها، التأريخ الإشعاعي (Radiometric Dating) والذي يعتمد على اضمحلال النظائر المشعة في الصخور والمعادن وذلك عن طريق حساب الوقت الذي انقضى منذ تشكل الصخر أو المعدن. التأريخ الإشعاعي الأكثر استخداماً هو التأريخ باليورانيوم والرصاص (Uranium–Lead Dating)، والذي يحلل اضمحلال نظائر اليورانيوم إلى نظائر الرصاص وذلك لتحديد عمر العينات الجيولوجية وخاصة في الصخور التي تشكلت وتبلورت من حوالي مليون سنة إلى حوالي ٤,٥ مليار سنة مع مجال من الدقة يتراوح بين ٠,١ – ١ %.



البنية الداخلية للأرض

يتكون الهيكل الداخلي للأرض من عدة طبقات، لكل منها تكوينها وخصائصها المختلفة. بداية من الطبقة الخارجية، هناك القشرة الأرضية (Crust) وهي القشرة الصلبة الرقيقة التي تشكل سطح الكوكب وهي رقيقة نسبياً مقارنة بالطبقات الأخرى. وتتكون بشكل أساسي من الصخور الصلبة مثل، الجرانيت والبازلت. تنقسم القشرة إلى، قشرة قارية (Continental Crust) توجد أسفل القارات، وقشرة محيطية (Oceaninc Crust) تقع تحت أحواض المحيطات. يوجد تحت القشرة ما يمسى بالوشاح (Mantle)، وهي طبقة سميكة من الصخور الساخنة وشبه الصلبة تمتد إلى عمق حوالي ٢٩٠٠ كلم، وتُشكل جزءاً كبيراً من حجم الأرض. يتكون الوشاح من الصخور الصلبة، ولكن بسبب ارتفاع درجات الحرارة والضغط، فإنه يتصرف مثل مادة لزجة وشبه صلبة على مدى فترات طويلة. يتكون الوشاح من معادن السيليكات وهو مسؤول عن تيارات الحمل الحراري (Convection Currents) التي تُحرك الصفائح التكتونية. في مركز الأرض يقع اللب (Core)، الذي ينقسم إلى اللب الخارجي (Outer Core) والنواة الداخلية (Inner Core). اللب الخارجي عبارة عن طبقة سائلة تتكون أساساً من الحديد المنصهر والنيكل (يبلغ سمكها حوالي ٢٣٠٠ كلم)، بينما اللب الداخلي عبارة عن كرة صلبة تتكون من الحديد الصلب والنيكل بسبب الضغط الهائل (يبلغ نصف قطرها حوالي ١٢٢٠ كلم). يولّد اللب المجال المغناطيسي للأرض من خلال حركة اللب الخارجي المنصهر.

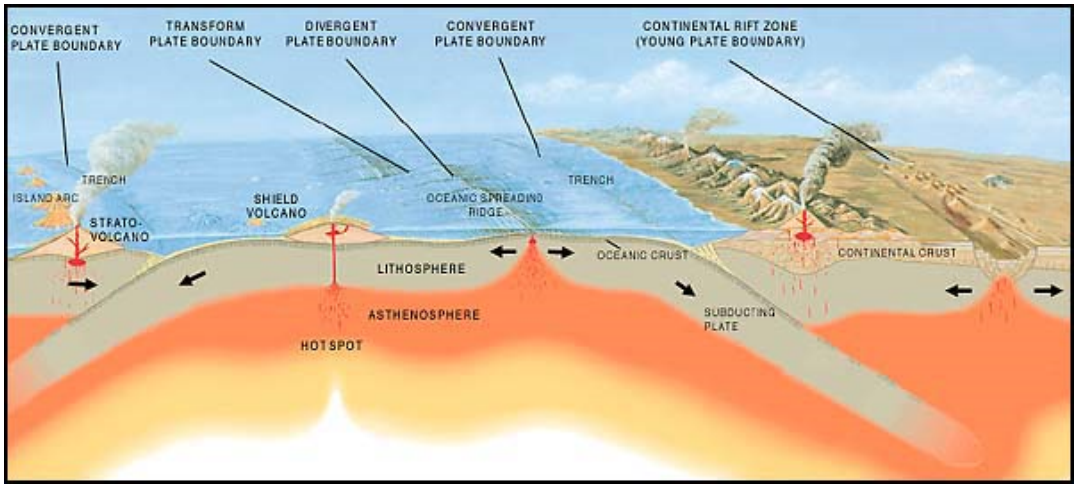


Continental Crust	Oceanic Crust
Thick crust (average 35-40 km)	Thin crust (roughly 7 km thick)
Less dense (2.7 g/cm^3)	More dense (3.0 g/cm^3)
Old (4 Ga years old)	Young (180 Ma years old)
Composed of granitic rocks	Composed of igneous rocks

نظرية الصفائح التكتونية

نظرية الصفائح التكتونية (Plate Tectonic Theory) تفسر حركة وتفاعل الغلاف الصخري للأرض، والذي يتكون من صفائح تكتونية صلبة. ينقسم الغلاف الصخري للأرض إلى عدة صفائح كبيرة وصغيرة تطفو على الغلاف الموري (Asthenosphere) شبه السائل تحتها. تتكون هذه الصفائح من القشرة والجزء العلوي من الوشاح (Upper Mantle). تتفاعل الصفائح عند حدود (Plate Boundary) يمكن تصنيفها إلى ثلاثة أنواع رئيسية، ١) الحدود المتباعدة (Divergent Plate Boundary)، حيث تتحرك الصفائح بعيداً عن بعضها البعض مما يخلق فجوة تسمح للصهارة من الوشاح بالارتفاع وتشكيل قشرة جديدة. تُعرف هذه العملية باسم انتشار قاع البحر (Sea Floor Spreading) وتؤدي إلى تكوين تلال وسط المحيط (Mid Ocean Ridge). ٢) الحدود المتقاربة (Convergent Plate Boundary)، تحدث عندما تصطدم الصفائح. اعتماداً على نوع القشرة المعنية، يمكن أن تتشكل ثلاثة أنواع من الحدود المتقاربة: حدود محيطية–قارية (Ocean-Continent)، محيطية–محيطية (Ocean-Ocean)، وقارية–قارية (Continent-Continent). يحدث الاندساس (Subduction) غالباً عند الحدود المتقاربة، حيث يتم دفع صفيحة تحت أخرى داخل الوشاح. تتشكل مناطق الاندساس عندما تغوص القشرة المحيطية الأكثر كثافة تحت القشرة القارية أو المحيطية الأقل كثافة، يمكن أن تسبب نشاطًا بركانياً وزلازل وتكوين سلاسل جبلية. ٣) حدود الصفائح التحويلية أو الانزلاقية (Transform Plate

Boundary)، حيث تنزلق الصفائح فوق بعضها البعض أفقياً. يمكن للحركة على طول هذه الحدود أن تسبب زلازل كبيرة ولكنها لا تؤدي عادة إلى تكوين القشرة أو تدميرها. تشرح نظرية الصفائح التكتونية حركة الصفائح من خلال مفهوم الحمل الحراري للوشاح (Mantle Convection Currents). تدفع الحرارة الصادرة من باطن الأرض تيارات الحمل الحراري في الوشاح الأساسي، والذي بدوره يسحب ويحرك الصفائح المغطاة. كذلك، توفر نظرية الصفائح التكتونية إطاراً شاملاً لفهم الظواهر الجيولوجية المختلفة مثل، الزلازل والبراكين والسلاسل الجبلية وتكوين أحواض المحيطات. كما تلعب دوراً حيوياً في شرح الطبيعة الديناميكية لسطح الأرض وتساعد على تفسير الأحداث الجيولوجية الماضية والتنبؤ بالتغيرات المستقبلية.



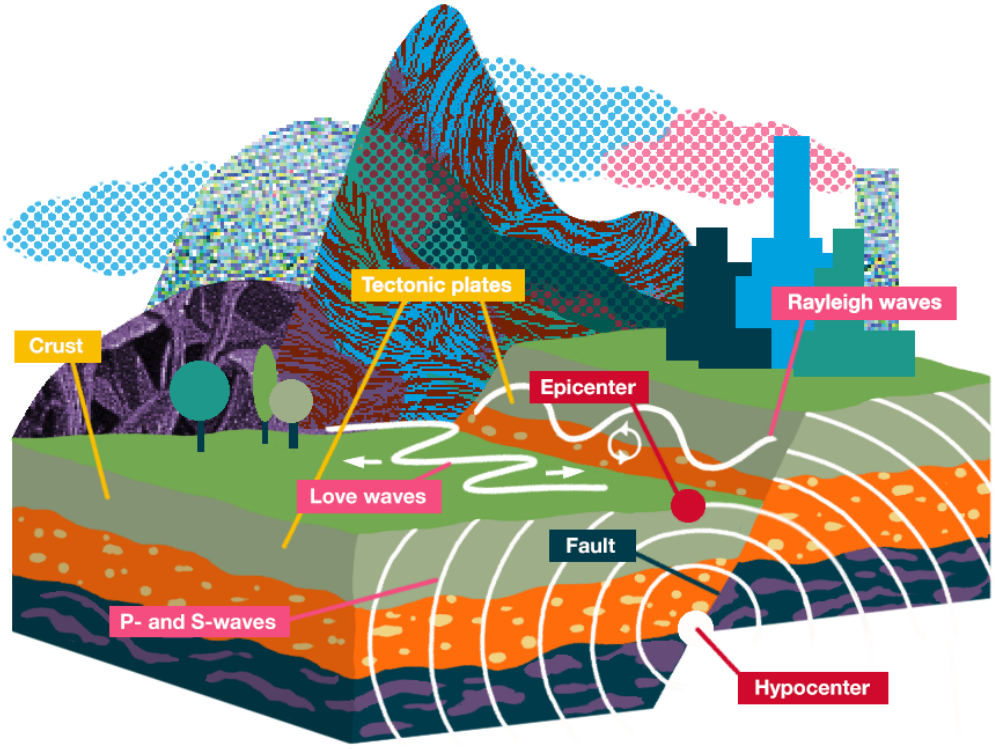
الزلازل

الزلزال (Earthquake) هو اهتزاز مفاجئ وعنيف لسطح الأرض، ينتج عادة عند إطلاق الطاقة في القشرة الأرضية بسبب حركات الصفائح التكتونية أو النشاط البركاني. وهي ظاهرة طبيعية تحدث عندما يحدث تمزق مفاجئ أو انزلاق على طول خط الصدع، مما يؤدي إلى موجات زلزالية تنتشر عبر الأرض. ينقسم الغلاف الصخري للأرض إلى عدة صفائح تكتونية كبيرة تتحرك باستمرار. تحدث الزلازل في المقام الأول على طول حدود هذه الصفائح، حيث تتفاعل الصفائح. يمكن أن يؤدي إطلاق الضغط المتراكم على طول هذه الحدود إلى حدوث زلازل. النقطة داخل الأرض التي ينشأ فيها الزلزال تسمى البؤرة (Focus) أو مركز الزلزال (Hypocenter)، هو الموقع الفعلي الذي يحدث فيه انزلاق الصدع ويتم إطلاق الطاقة الزلزالية. المركز السطحي

للزلزال (Epicenter)، هي النقطة الموجودة على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة. وهو الموقع الذي يستخدم عادة لوصف وتحديد موقع الزلزال. الموجات الزلزالية أو السيزمية (Seismic Waves) هي موجات من الطاقة تنتقل عبر طبقات الأرض، وهي ناتجة عن الزلازل أو الانفجارات البركانية أو حركة الصهارة أو الانهيارات الأرضية أو التفجيرات الاصطناعية. علم الزلازل (Earthquake Seismology) هو العلم الذي يهتم بدراسة الموجات الزلزالية وذلك لمعرفة التفاصيل الدقيقة عن الصفات الطبيعية لباطن الأرض. تنتقل الموجات الزلزالية ويتم تسجيلها عن طريق "جهاز قياس الزلازل" (Seismograph). هناك عدة أنواع مختلفة من الموجات الزلزالية، كلها تتحرك بطرق مختلفة. النوعان الرئيسيان هما، "الموجات السطحية" (Surface Waves) و"الموجات الباطنية" (Body Waves). تنتقل الموجات السطحية في الطبقات العليا من القشرة الأرضية، ولهذا سُميت بالموجات السطحية، وتُسبب في إحداث حركات سطحية للقشرة الأرضية. تنقسم الموجات السطحية إلى نوعين هما، "موجات لوف" (Love Waves) و"موجات رايلي" (Rayleigh Waves). تتميز موجات لوف بأنها أسرع الموجات السطحية انتشاراً وتتحرك جزيئاتها على سطح الأرض بحركة أفقية جنباً إلى جنب. أما موجات رايلي فتنتشر بشكل إهليجي وذلك في مستوى رأسي موازٍ لحركه انتشار الموجه وبسرعة أقل من موجات لوف. السبب الرئيسي في التدمير الذي تسببه الزلازل هي الموجات السطحية بشكل عام، وموجات رايلي بشكل خاص. تتميز الموجات الباطنية بقدرتها على الانتشار في باطن الأرض بسرعات تختلف باختلاف خواص الوسط الذي تمر فيه وتنقسم إلى نوعين هما، "الموجات الطولية" أو "الأولية" (Primary Waves) و"الموجات المستعرضة" أو "الثانوية" (Secondary Waves). الموجات الطولية هي أسرع وأول الموجات ظهوراً على جهاز قياس الزلازل، يمكن أن تنتقل عبر المواد الصلبة والسائلة وتحمل من الطاقة قدراً أقل من الموجات المولدة من نفس الزلزال. أما الموجات المستعرضة تكون سرعتها أقل من الموجات الطولية وتنتشر في المواد الصلبة فقط ولا تنتشر في السوائل، وهي تحمل من الطاقة قدراً أكبر من الموجات الطولية وتكون سعتها

(Amplitude) أكبر من سعة الموجات الطولية. يستعمل في الوقت الحاضر نوعان من وحدات قياس الزلازل الأرضية، الأول هو "مقياس وصفي"، أي أن الزلازل يتم قياس شدتها عن طريق مشاهدة ووصف التأثيرات الناتجة عنها. وفي هذه الحالة تكون شدة الزلزال مختلفة حسب القرب أو البعد عن البؤرة. ويمكن أن تصنف الزلازل وفق الشدة الزلزالية وحسب درجة الدمار الذي تحدثه في موقع ما. أهم مقاييس الشدة الزلزالية وأكثرها شيوعاً هو "مقياس ميركالي المعدل" (Mercalli Intensity Scale) الذي يقسم إلى ١٢ قسماً يكون تأثير الزلزال في الشدة رقم ١ قليلاً إلى درجة قد لا يُشعر بها بدون جهاز تسجيل زلزلي. ويتدرج المقياس في تصنيف درجات الدمار، وصولا إلى الرقم ١٢ الذي يعكس تدميراً كاملاً للمنشآت. أما المقياس الآخر، فهو "مقياس حسابي"، أي أن الزلزال يقاس باستعمال معادلات رياضية خاصة تعتمد على سعة الموجة المسجلة. وهذا المقياس لا يتغير نتيجة القرب والبعد عن بؤرة الزلزال، وإنما يُعطي قياساً لطاقة الزلزال في البؤرة نفسها. وأكثر المقاييس الرياضية استعمالاً في الوقت الحاضر هو "مقياس ريختر" (Richter Scale)، حيث يصنف الزلزال اعتماداً على الكمية المطلقة للطاقة المتحررة عند حصول الزلزال، وتسمى هذه القيمة بـ "المقدار الزلزالي". تظهر الزلازل بصورة مُنتظمة أو فُجائية، بناءً على طبيعة المنطقة الجيولوجية، أو قد تحدث في "أوقات غير متوقعة وأماكن غير متوقعة". الزلازل عبارة عن اهتزازات في القشرة الأرضية تحدث بسبب التحرر السريع للطاقة المجتمعة في الصخور، من أسباب حدوثها: حركة الألواح القارية المشكلة للأرض، ثوران البراكين، الصُدُوع النشِطة، ضُعف في القشرة الأرضية، نشاطات بشرية مثل: التفجيرات النووية، بناء السدود، تكوين البحيرات الصناعية، والسحب الزائد للسوائل من باطن الأرض. "راصد الزلازل" (Seismometer) هو الجزء الحساس للغاية، الموجود داخل "جهاز قياس الزلازل" (Seismograph)، الذي يتكون من كتلة معدنية ثقيلة معلقة بواسطة سلكين زنبركيين. يقوم راصد الزلازل برصد حركات الأرض الطبيعية مثل الزلازل وثوران البراكين، أو الصناعية الناتجة عن الأنشطة البشرية مثل الانفجارات. يتم تثبيت جهاز قياس الزلازل بشكل آمن على سطح

الأرض بحيث تهتز الوحدة بأكملها باستثناء الكتلة المعدنية الثقيلة المعلقة، والتي تظل في نفس المكان عندما تهتز الأرض. تعتمد أجهزة القياس الزلزالية على مبدأ "القصور الذاتي"، كما يصفه قانون نيوتن الأول، والذي ينص على أن الأجسام الساكنة تظل ساكنة والأجسام المتحركة تظل متحركة على خط مستقيم وبسرعة ثابتة ما لم تؤثر عليها قوة خارجية. "مرسمة الزلازل" (Seismogram) هي البيانات التي نحصل عليها وتكون على شكل "تسجيلات زلزالية" وخطوط متذبذبة. المحور الأفقي يمثل الزمن ويقاس بالثواني، والمحور العمودي يمثل الإزاحة الأرضية ويقاس بالمليمتر. يتم استخدام البيانات التي يتم رصدها في تحديد وتوصيف الزلازل ودراسة التراكيب الداخلية للأرض.



Relationship between Vp and Vs:

Compressional Waves:

$$V_p = \sqrt{\frac{(\frac{4}{3}\mu + k)}{\rho}}$$

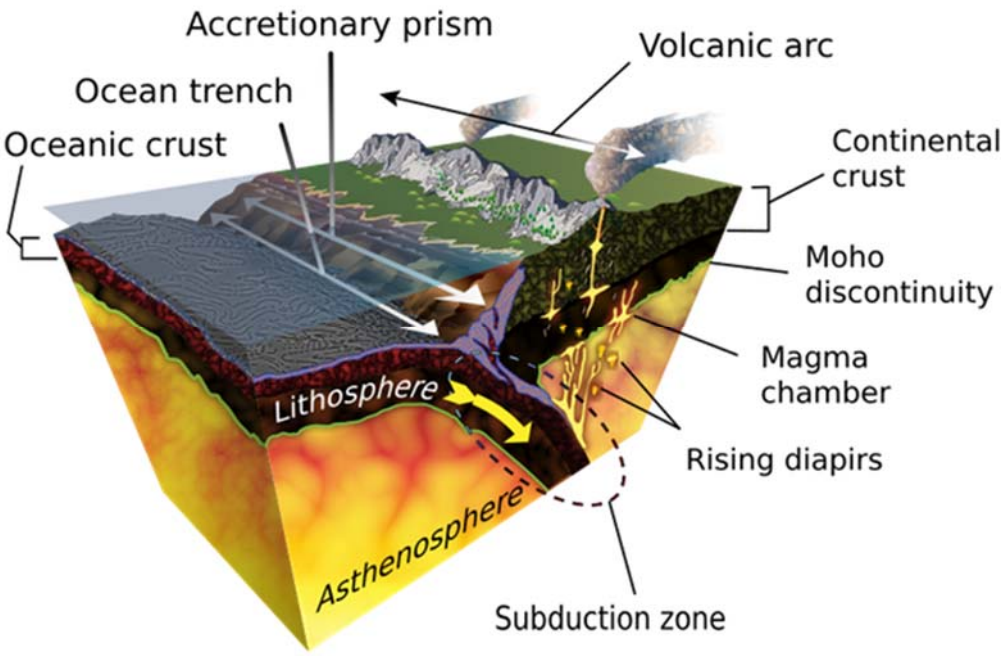
Shear Waves:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$$

- Averaged Vp/Vs = 1.732 for the crust.
- For mafic rocks, Vp/Vs = 1.81.
- For felsic rocks, Vp/Vs = 1.70.

منطقة واداتي–بينيوف

منطقة واداتي–بينيوف (Wadati-Benioff Zone)، هي منطقة نشطة زلزالياً في مناطق الاندساس حيث تحدث الزلازل فيها، تم تسميتها على اسم علماء الزلازل هوغجو بينيوف وكيو واداتي، الذين أدركوا بشكل مستقل أهمية هذه المنطقة في أوائل القرن العشرين. تتميز منطقة واداتي–بينيوف بنمط من الزلازل التي تحدث بسبب الضغط والاحتكاك الناتج عن غرق الصفيحة المندسة في الوشاح، مما يشكل مستوى مائلاً من النشاط الزلزالي. يمكن أن تتراوح قوة الزلازل داخل هذه المنطقة من صغيرة نسبياً إلى كبيرة جداً، بما في ذلك بعض أقوى الزلازل المسجلة على الأرض. وترتبط هذه المنطقة عادةً بالزلازل العميقة البؤرة، وهي زلازل تحدث على أعماق أكبر من ٧٠ كلم تحت سطح الأرض. توفر منطقة واداتي–بينيوف رؤى مهمة حول ديناميكيات الصفائح التكتونية وعملية الاندساس. وهو دليل على التفاعل والحركة بين الصفائح التكتونية وما يرتبط بها من إجهاد وتشوه يحدث أثناء الاندساس. تساعد دراسة منطقة واداتي–بينيوف العلماء على فهم القوى العاملة في مناطق الاندساس وتساهم في معرفتنا بتوليد الزلازل والعمليات الجيوفيزيائية التي تحدث في أعماق الأرض.



تصنيف الزلازل

يمكن تصنيف الزلازل (Earthquakes Classification) إلى عدة أنواع بناءً على أسبابها وخصائصها الأساسية. الزلازل التكتونية (Tectonic Earthquakes)، هي النوع الأكثر شيوعاً وتحدث بسبب حركة الصفائح التكتونية. تحدث هذه الزلازل عند حدود الصفائح، بما في ذلك الحدود المتباعدة (حيث تتحرك الصفائح بعيداً عن بعضها البعض)، والحدود المتقاربة (حيث تتصادم الصفائح فيما بينها)، والحدود المتحولة (حيث تنزلق الصفائح فوق بعضها البعض أفقياً). يمكن أن تتراوح الزلازل التكتونية في الحجم من الهزات الصغيرة إلى الأحداث المدمرة الكبرى. زلازل منطقة الاندساس (Subduction Zone Earthquakes)، تحدث عند حدود الصفائح المتقاربة حيث يتم دفع إحدى الصفائح التكتونية إلى أسفل أخرى. غالباً ما ترتبط هذه الزلازل بمنطقة واداتي–بينيوف وتتميز بالزلازل العميقة التركيز التي تحدث في الصفيحة المندسة. يمكن أن تولد زلازل منطقة الاندساس أحداثاً قوية وربما تسونامي (Tsunami). الزلازل داخل الصفائح (Intraplate Earthquakes)، تحدث داخل الجزء الداخلي من الصفائح التكتونية، بعيداً عن حدود الصفائح. تحدث بسبب إطلاق الضغط المتراكم داخل الصفيحة، والذي غالباً ما يرتبط بالصدوع القديمة أو مناطق ضعف. تعتبر الزلازل داخل الصفائح أقل

تواتراً من الزلازل التكتونية ولكنها لا تزال قادرة على التسبب في أضرار كبيرة في المناطق المأهولة بالسكان والتي لا تعتبر عادةً نشطة زلزالياً. الزلازل الانزلاقية الضاربة (Strike-Slip Earthquakes)، تحدث على طول حدود الصفائح التحويلية، حيث تنزلق الصفائح أفقياً متجاوزة بعضها البعض. تتميز هذه الزلازل بحركة أفقية في الغالب على طول مستوى الصدع. يعد صدع سان أندرياس في كاليفورنيا (San Andreas Fault) مثالاً معروفاً لحدود الصفائح المتحولة حيث تحدث الزلازل. الزلازل العكسية والدافعة (Reverse and Thrust Earthquakes)، تحدث عند حدود الصفائح المتقاربة حيث يتم دفع إحدى الصفائح تحت الأخرى في حركة دفع أو صدع عكسي. ترتبط هذه الزلازل بارتفاع وضغط كبير لقشرة الأرض. عادة ما تكون الزلازل العكسية والزلازل الدافعة قادرة على إحداث أحداث قوية ومدمرة. الزلازل الصدعية العادية (Normal Fault Earthquakes)، تحدث عند حدود الصفائح المتباعدة حيث تتحرك الصفائح بعيداً عن بعضها البعض، مما يخلق قوى شد تؤدي إلى تمزق القشرة الأرضية. وترتبط هذه الزلازل بالحركة على طول الصدوع العادية، حيث يتحرك الجدار المعلق إلى الأسفل بالنسبة إلى جدار القدم. تتميز الزلازل العادية عادة بالإزاحة العمودية. يساعد تصنيف الزلازل العلماء على فهم العمليات والآليات والإعدادات الجيولوجية الأساسية المرتبطة بالنشاط الزلزالي، والذي يساهم بدوره في مراقبة الزلازل وتقييم المخاطر وجهود الاستعداد.

Depth of Earthquakes:

1. Shallow earthquakes:
(Depth between 0 and 70 km).

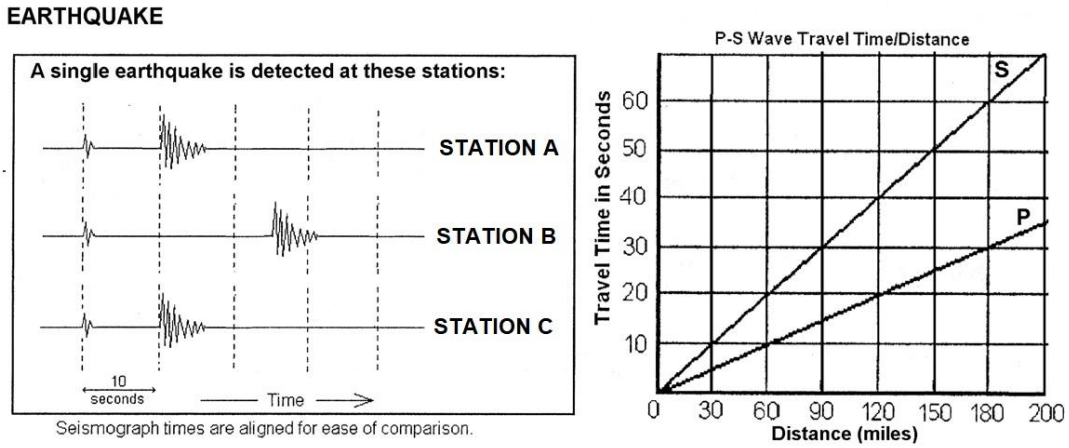
2. Intermediate earthquake:
(Depth between 70 and 300 km).

3. Deep earthquakes:
(Depth is greater than 300 km).

كيفية تحديد موقع الزلزال

إن موقع المركز السطحي للزلزال ووقت حدوثه يكونان في البداية غير معروفين، ولكن يمكن تحديدهما باستعمال المخطط الزلزالي (Seismogram) وكذلك عن طريق منحنيات المسافة–زمن الوصول (P-S Arrival Times).حيث يتم تسجيل الزمن المستغرق بين وصول أول الموجات الأولية وكذلك أول الموجات الثانوية. ويستطيع العلماء الزلازل معرفة بُعد المركز السطحي للزلزال بقياس الفرق بين زمني وصول الموجتين في المخطط الزلزالي ثم تحديد الفرق الزمني نفسه على منحنى المسافة ومن ثم استخراج بُعد الزلازل. فعلى سبيل المثال، إذا كان الفارق الزمني يساوي ٦ دقائق، لذا فإن المسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة رصد الزلازل تساوي ٤٣٠٠ كلم بحسب منحنى المسافة بزمن الوصول، حيث يتضح من المنحنى أن الموجات الأولية استغرقت حوالي ٨ دقائق حتى وصلت إلى محطة الرصد، بينما الأمواج الثانوية استغرقت حوالي ١٤ دقيقة. فكلما زاد بُعد الزلزال، زاد الفرق الزمني بين وصول الموجات الأولية والموجات الثانوية. يحلل علماء الزلازل بيانات مخططات زلزالية عديدة لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال وذلك عن طريق حساب المسافة بين المركز السطحي للزلزال وبين محطة الرصد، ولكن هذا لا يُحدد الاتجاه الذي يقع المركز السطحي فيه بالنسبة إلى محطة الرصد. ويمكن التعبير عن ذلك بدائرة مركزها محطة الرصد ونصف قطرها بُعد المركز السطحي عن المحطة. ولو مثلنا بُعد المركز عن محطة أخرى بدائرة ثانية، فسوف تتقاطع الدائرتان في نقطتين، ولا نعرف أيهما يقع المركز السطحي فيه. ولو مثلنا بُعد محطة ثالثة بدائرة ثالثة، فعندئذ تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وتمثل هذه النقطة المركز السطحي. يوفر الفرق الزمني بين وصول الأمواج الزلزالية معلومات حول بُعد المركز السطحي. كما يستعمل علماء الزلازل المخطط الزلزالي في معرفة زمن حدوث الزلزال في البؤرة بدقة. تُسجل محطات الرصد زمن وصول أول الموجات الأولية وأول وصول الموجات الثانوية بدقة متناهية. ويستطيع العلماء قراءة الزمن الذي استغرقته هذه الأمواج من المركز السطحي إلى محطة الرصد عن طريق استخدام رسوم بيانية. فعلى سبيل المثال، إذا افترضنا إذا

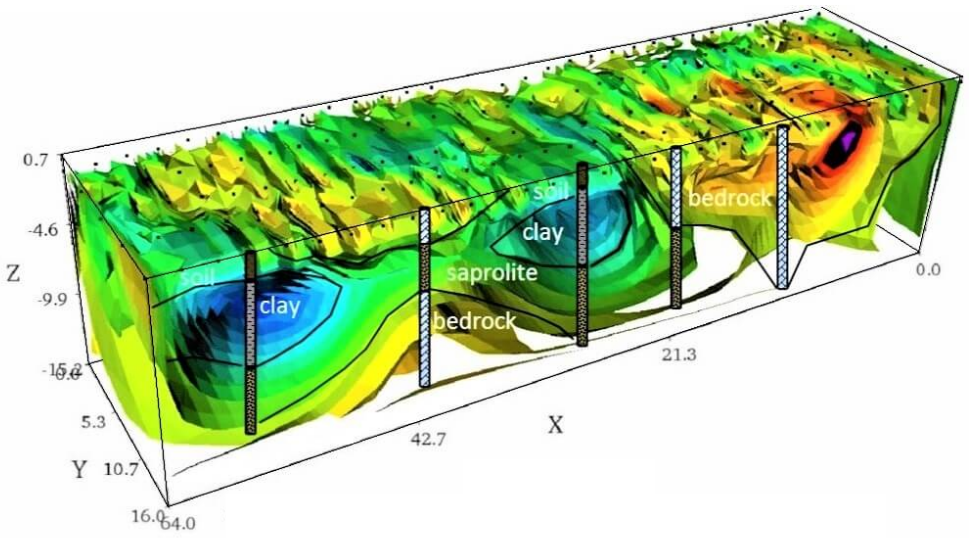
كان زمن وصول الموجات الأولية في تمام الساعة ١٠:٠٠ صباحاً باستعمال منحنى المسافة– زمن الوصول، يمكن استخراج قيمة المسافة التي قطعتها الأمواج الأولية في ٨ دقائق وهي ٤٥٠٠ كلم، فهذا يعني أن الزلزال قد حدث عند البؤرة في الساعة ٩:٥٢ صباحاً.



علم الجيوفيزياء

علم الجيوفيزياء (Geophysics) هو فرع من فروع علم الأرض "الجيولوجيا" يهتم بدراسة الخواص الفيزيائية للأرض ومكوناتها، وتفاعلاتها مع الطبيعة ومع العوامل الخارجية مثل، الزلازل والبراكين والتغيرات المناخية والكوارث الطبيعية الأخرى. يشمل هذا العلم الدراسات الجيوفيزيائية للصخور والتربة والمياه والهواء، بالإضافة إلى دراسة تأثير الأنشطة البشرية على البيئة. ويتناول أيضًا دراسة طبقات الأرض الداخلية وتركيبها الجيولوجي وتأثير القوى الداخلية والخارجية على تشكيل سطح الأرض وتغيراته، الذي يساهم باذن الله في فهم أسباب حدوث الكوارث الطبيعية وتوقعها ومحاولة الحد من تأثيراتها. يُستخدم علم الجيوفيزياء في دراسة تأثير الأنشطة البشرية على البيئة، مثل، تغيرات مستوى المياه الجوفية وتأثير الحفريات والتنقيبات النفطية والغازية على البيئة والتربة والمياه. يُستخدم علم الجيوفيزياء أيضاً في البحث عن الموارد الطبيعية مثل، النفط والغاز والمعادن والمياه الجوفية وذلك باستخدام التقنيات المختلفة. كما يساعد في تحديد خصائص التربة والصخور وتكوينها الجيولوجي مما يساعد على تطوير الزراعة والبناء والتعدين وغيرها من الأنشطة الاقتصادية. يُستخدم علم الجيوفيزياء أيضاً في دراسة التغيرات المناخية وتأثيرها على

الأرض وذلك باستخدام التقنيات المختلفة لقياس درجات الحرارة والرطوبة والرياح والأمطار وغيرها من العوامل الجوية. ويساعد هذا العلم في تحديد الأسباب والتأثيرات المترتبة على التغيرات المناخية، وتطوير استراتيجيات لمواجهتها والحد من تأثيراتها على البيئة والإنسان. يعتبر علم الجيوفيزياء ذو أهمية عملية كبيرة حيث يساهم في فهم العديد من الظواهر الطبيعية والمشكلات البيئية التي تواجه الإنسان وتؤثر على حياته ومستقبله منها، الكشف عن الموارد الطبيعية مثل، النفط والغاز والمعادن والمياه الجوفية وتحديد مواقعها. الكشف عن المخاطر الطبيعية وذلك عن طريق تحديد المناطق التي تتعرض للزلازل والبراكين والانهيارات الأرضية وغيرها من الكوارث الطبيعية. الحفاظ على البيئة وذلك عن طريق فهم تأثير الأنشطة البشرية على البيئة وتحديد الآثار السلبية لهذه الأنشطة. التخطيط العمراني وذلك عن طريق تحديد خصائص التربة والصخور وتكوينها الجيولوجي والذي يساعد في اتخاذ القرارات الصحيحة في التخطيط العمراني وتحديد المناطق المناسبة للبناء والتطوير.

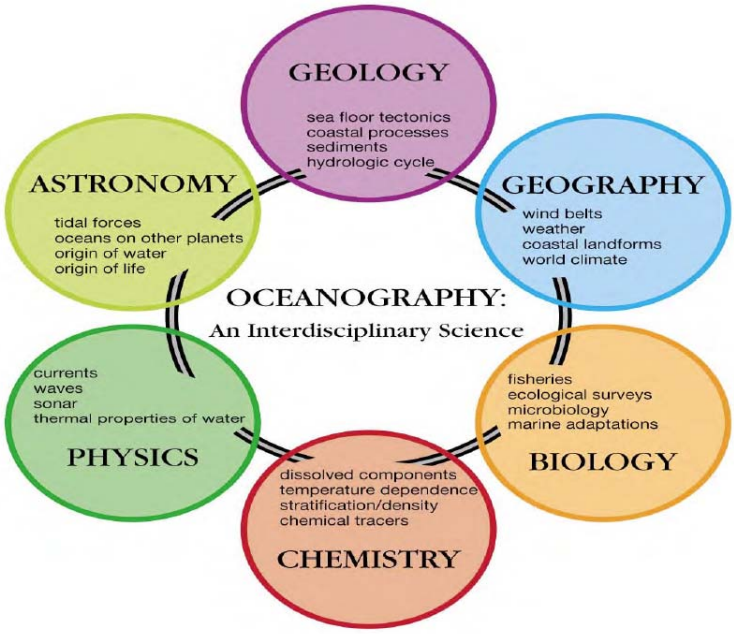


علم المحيطات

علم المحيطات (Oceanography) هو فرع من علوم الأرض (Earth Science) يركز على دراسة البحار والمحيطات، بما في ذلك خصائصها الفيزيائية، الكيميائية، الحيوية، والجيولوجية. وهو ينطوي على استكشاف وتحليل الجوانب المختلفة للمحيطات، مثل، التيارات البحرية، المد والجزر، الأمواج البحرية، درجة الحرارة، الملوحة، الحياة البحرية، التفاعلات مع الغلاف الجوي، والنظام المناخي للأرض. يستخدم علماء المحيطات مجموعة من الملاحظات الميدانية، الاستشعار عن بعد، التجارب المعملية، والنمذجة الحاسوبية لدراسة وفهم الديناميكيات والعمليات المعقدة التي تحدث داخل المحيطات. تلعب المعرفة المكتسبة من علم المحيطات دوراً حاسماً في تعزيز فهمنا للنظم البيئية البحرية، العمليات الساحلية، تغير المناخ، والإدارة المستدامة لموارد المحيطات.

يمكن تقسيم علم المحيطات إلى عدة تخصصات فرعية أو أقسام، يركز كل منها على جوانب محددة من المحيطات. الفيزيائية البحرية (Physical Oceanography)، يتناول الخصائص والعمليات الفيزيائية للمحيطات بما في ذلك دراسة، التيارات، المد والجزر، الأمواج، ودوران المحيطات، درجة حرارة الماء، الملوحة، والكثافة. كما يهتم بدراسة حركة المياه، نقل الطاقة، والتفاعل بين المحيط والغلاف الجوي. الكيمياء البحرية (Chemical Oceanography)، يركز على تكوين وتوزيع وتحولات المواد الكيميائية في المحيطات ويتضمن دراسة كيمياء المياه، الغازات الذائبة، الملوثات، تأثير الأنشطة البشرية على كيمياء المحيطات، وفهم العمليات الكيميائية التي تشكل النظم البيئية البحرية ودورة الكربون العالمية. الأحياء البحرية (Biological Oceanography)، يدرس هذا القسم أشكال الحياة والتنوع الحيوي والعمليات البيئية في المحيطات، بداية من العوالق المجهرية وحتى الثدييات البحرية الكبيرة، وتوزيعها وسلوكها وتكيفها وتفاعلاتها مع البيئة البحرية وتأثير التغيرات البيئية على الحياة البحرية. الجيولوجيا البحرية (Geological Oceanography)، يركز على دراسة قاع البحر، عمليات الترسيب، التاريخ الجيولوجي للمحيطات، تكوين الأشكال الأرضية تحت الماء مثل الجبال البحرية والخنادق وتلال وسط المحيط، تحليل الرواسب، رسم خرائط لقاع البحر، البراكين تحت الماء، وانتشار قاع البحر. علم المحيطات الساحلية (Coastal Oceanography)، يركز على دراسة المناطق القريبة من الشاطئ بما في ذلك، مصبات الأنهار، الشواطئ، الشعاب المرجانية، النظم البيئية الساحلية، دراسة

العمليات الفيزيائية، نقل الرواسب، تآكل السواحل، تأثير الأنشطة البشرية على البيئات الساحلية، التفاعل بين الأرض والبحر، ارتفاع مستوى سطح البحر، واستراتيجيات إدارة السواحل.



دراسة المحيطات

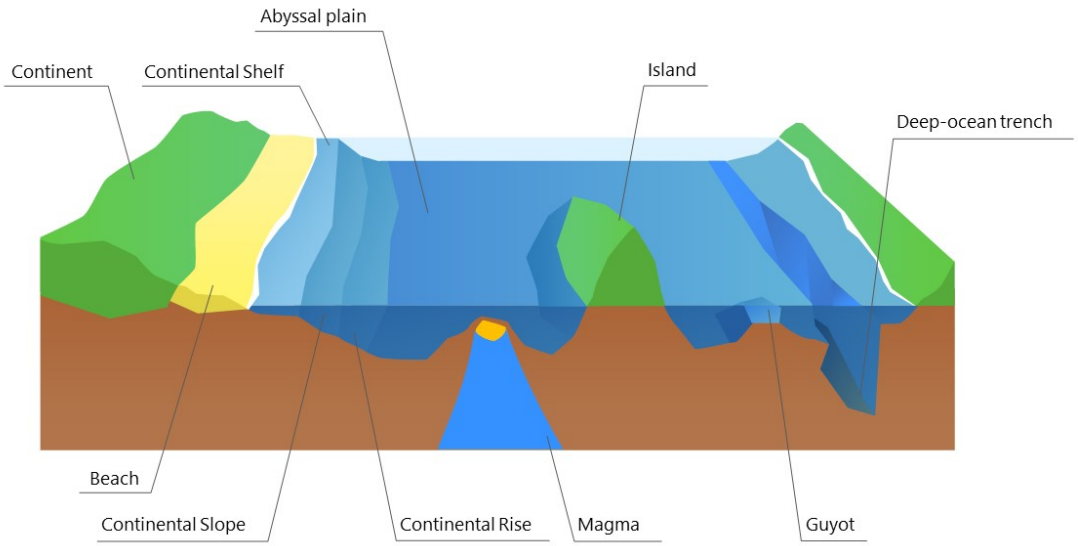
تتطلب دراسة المحيطات نهجاً متعدد التخصصات ومزيجاً من العمل الميداني، التحليل المختبري، وتحليل البيانات. البداية تكون بالتعرف على الأبحاث والأدبيات (Literature Review) المتعلقة بمجال علم المحيطات الذي تهتم به. سيوفر هذا أساساً من المعرفة ويساعد في تحديد الفجوات البحثية أو الأسئلة التي ترغب في استكشافها. العمل الميداني (Fieldwork)، يتضمن الخروج إلى المحيط لجمع البيانات والعينات وذلك يشمل، نشر الأدوات والأجهزة والمعدات المخصصة لذلك، أخذ عينات المياه، إجراء المسوحات، ومراقبة الحياة البحرية. يتضمن العمل الميداني أيضاً استخدام سفن الأبحاث أو المركبات التي يتم تشغيلها عن بعد (Remotely Operated Vehicles ROVs) أو المركبات المستقلة تحت الماء (Autonomous Underwater Vehicles AUVs) لاستكشاف وجمع البيانات من بيئات أعماق البحار. الأجهزة (Instrumentation)، تُستخدم أدوات وأجهزة استشعار مختلفة لجمع البيانات في المحيط. تشمل أجهزة قياس التوصيلية ودرجة الحرارة والعمق (Conductivity-Temperature-Depth CTD)، التي تقيس درجة الحرارة

والملوحة وغيرها على أعماق مختلفة، أجهزة قياس التيار (Current Meters) التي تقيس تيارات المحيط. الاستشعار عن بعد (Remote Sensing)، يعتبر الاستشعار عن بعد عبر الأقمار الصناعية أداة قيمة وواسعة النطاق. يمكن أن توفر بيانات الأقمار الصناعية معلومات عن درجة حرارة سطح البحر، لون المحيط (يدل على وفرة العوالق النباتية)، مستوى سطح البحر، وتيارات المحيط. يمكن استخدام بيانات الاستشعار عن بعد لرصد التغيرات في المحيطات مع مرور الوقت ودراسة الظواهر مثل أنماط دوران المحيطات وتأثيرات تغير المناخ. التحليل المختبري (Laboratory Analysis)، غالباً ما يتم تحليل العينات المجمعة مثل، مياه البحر أو الرواسب أو العينات الحيوية، في المختبر. يمكن لتقنيات مثل التحليل الكيميائي (Chemical Analysis)، الفحص المجهري (Microscopy)، والتحليل النظائري (Isotopic Analysis) أن توفر نظرة ثاقبة حول التركيب والخصائص الحيوية لعينات المحيطات. تحليل البيانات (Data Analysis)، يُعد تحليل وتفسير البيانات المجمعة خطوة حاسمة ويتضمن، استخدام التقنيات الإحصائية (Statistical Techniques)، أساليب النمذجة (Modeling Approaches)، وأدوات تصور البيانات (Data Visualization Tools).

قاع المحيط

يشير قاع المحيط (Ocean Floor) إلى السطح السفلي لمحيطات العالم، وهي المساحة الشاسعة من سطح الأرض التي تقع تحت مياه المحيط. يتميز قاع المحيط بخصائص جيولوجية مختلفة بما في ذلك، السهول، الجبال، الوديان، الأخاديد، التلال، والخنادق. يتكون قاع المحيط بشكل أساسي من الصخور البازلتية والتي تتشكل من الحمم المتصلبة الناتجة عن النشاط البركاني تحت الماء. كما أنها تحتوي على أنواع أخرى من الصخور والرواسب والمعادن التي تراكمت مع مرور الوقت. يمتد قاع المحيط بالقرب من القارات عادة من الخط الساحلي (Shoreline) إلى المنحدر القاري (Continental Slope). وتسمى هذه المنطقة بالجرف القاري (Continental Shelf)، وهي ضحلة نسبياً مقارنة بالأجزاء العميقة من المحيط. خارج الجرف القاري، ينحدر قاع المحيط بشكل أكثر حدة، ليشكل المنحدر القاري. وفي قاعدة المنحدر يوجد المرتفع القاري (Continental Rise)، حيث تتراكم الرواسب المنقولة من القارات. غالبية قاع المحيط مغطى بمناطق مسطحة واسعة تسمى السهول السحيقة (Abyssal Plain). وهي مناطق ناعمة نسبياً

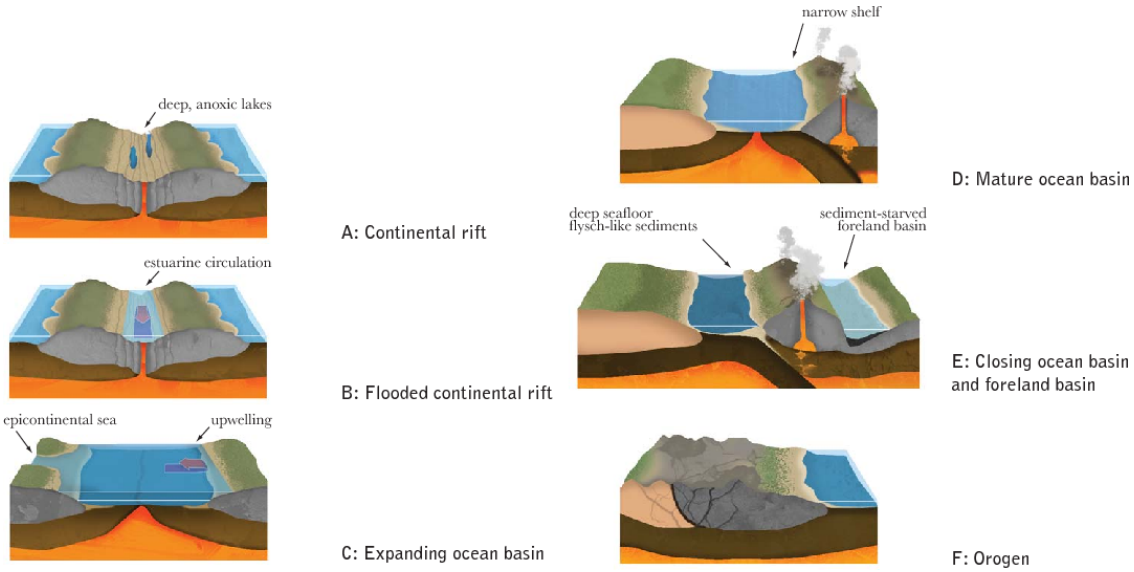
وعديمة الملامح وتقع على أعماق عدة آلاف من الأمتار. السهول السحيقة مغطاة بطبقات من الرواسب الناعمة، بما في ذلك الطين والطمي وبقايا الكائنات البحرية. مرتفعات وسط المحيط (Mid-Ocean Ridges) هي سلاسل جبلية تحت الماء تمتد عبر أحواض المحيط (Ocean Basins). وتتكون من النشاط البركاني على طول حدود الصفائح، حيث يتم إنشاء قشرة جديدة بشكل مستمر من خلال انتشار قاع البحر. غالباً ما تحتوي هذه التلال على وادي صدع مركزي (Central Rift Valley) وترتبط بالفتحات البركانية (Volcanic Vents) والفتحات الحرارية المائية (Hydrothermal Vents). الخنادق (Trenches) هي أعمق أجزاء قاع المحيط وهي عبارة عن منخفضات طويلة وضيقة تتشكل في مناطق الاندساس، حيث تندفع إحدى الصفائح التكتونية إلى أسفل أخرى. يعد خندق ماريانا (Mariana Trench) الواقع في غرب المحيط الهادئ أعمق خندق معروف، حيث يصل عمقه إلى حوالي ١١ كلم. الجبال البحرية (Seamounts) هي جبال تحت الماء ترتفع من قاع البحر ولكنها لا تصل إلى السطح. أما (Guyots) فهي جبال بحرية ذات قمة مسطحة تآكلت بفعل الأمواج وغمرتها بمرور الوقت.



دورة ويلسون

قبل حوالي الخمسين عاماً، قام العالم الكندي جون توزو ويسلون بنشر مقاله بعنوان، هل أغُلق المحيط الأطلسي ثم أُعيد فتحه؟ لطالما اعتقد ويلسون بأن "المحيطات ستسيطر"، ولقد كان أول من أشار إلى أدلة على وجود أعمدة الوشاح العميق. من خلال دراسة أنواع الصخور، وجد ويلسون أن أجزاء من إنجلترا وكندا كانتا من أصل أوروبي، وأن أجزاء من النرويج واسكتلندا كانتا أمريكية. أدى ذلك إلى مفهوم "دورة ويلسون" (Wilson Cycle) الذي يُوضح فيه آلية فتح وإغلاق الأحواض المحيطية. من هذا الدليل، أظهر ويلسون أن المحيط الأطلسي قد فُتح، أُغلق، وأُعيد فتحه مرة أخرى. كتب ويلسون قائلاً: "إذا كان الانجراف القاري مستمراً لفترة طويلة من الزمن الجيولوجي، فهذا يعني أن سلسلة من أحواض المحيط ربما تكون قد وُلدت وتقلصت وأُغلقت مرة أخرى". نظراً لأن أحواض المحيطات هي أكبر خصائص سطح الأرض وستهيمن على التراكيب الجيولوجية الأخرى، فمن المفيد تحديد المراحل في دورة حياتها والتي أصبحت تُعرف فيما بعد باسم "دورة ويلسون" لفتح وإغلاق المحيط. لقد أثبتت دورة ويلسون أهميتها في علم الجيولوجيا، وبخاصة فيما يتعلق بالتطور الجيولوجي للأرض والغلاف الصخري. تُعتبر دورة ويلسون أساسية لنظرية تكتونية الصفائح. تشمل الدورة ستة مراحل وهي، ١) التصدع القاري "تشكل وديان متصدعة" (Continental Rift)، ٢) تطور الوديان المتصدعة "بداية تكوين محيط جديد" (Flooded Continental Rift)، ٣) توسيع الحوض المحيطي واستمرار تطوره "قشرة محيطية جديدة" (Expanding Ocean Basin)، ٤) توسع غير مستقر يساعد على انجراف القشرة المحيطية "هبوط المحيط" (Subduction Initiation)، ٥) انكماش الحوض المحيطي "تقلص المحيط" (Basin Closing)، ٦) إغلاق الحوض المحيطي (Collision). تبدأ دورة ويلسون بوجود راسخ قاري ثابت "جانب من الأرض يكاد يكون ثابتاً لا حركة فيه"، أسفل منه بقعة ساخنة "مركز بركاني نشط" يساعد على تشكل حدود صفائح تكتونية متباعدة جديدة. مع مرور الوقت، يتم تقسيم القشرة الأرضية، شرقاً وغرباً، وإنشاء حوض محيط جديد بينهما. يستمر حوض المحيط في الاتساع، يصل أحياناً إلى آلاف الأميال؛ وهذا مشابه لما يحدث في المحيط الأطلسي اليوم. طالما أن حوض المحيط يُفتح، فإننا لا نزال في المرحلة الافتتاحية لدورة ويلسون. تبدأ المرحلة الختامية لدورة ويلسون عندما تتشكل منطقة الاندساس "حدود الصفائح

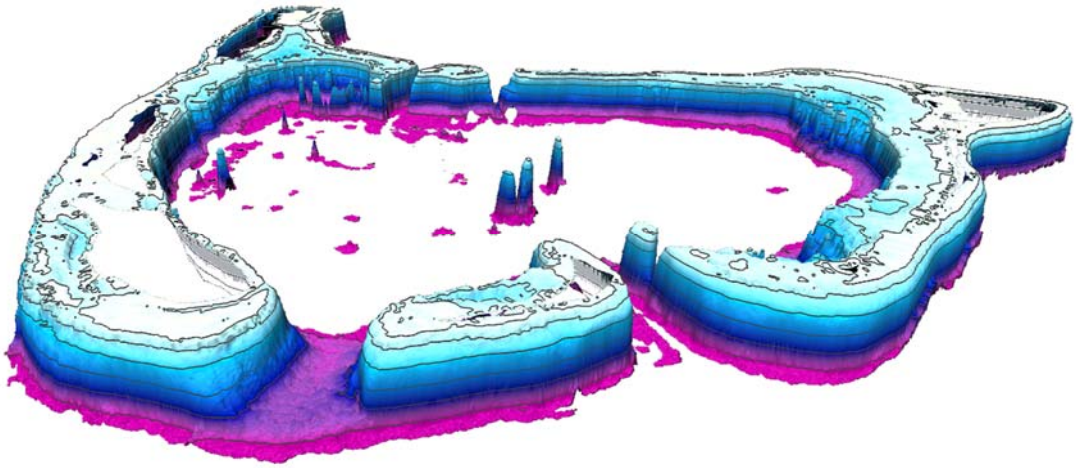
التكتونية المتقاربة الجديدة"، قد تتشكل منطقة الاندساس في أي مكان في حوض المحيط. يهبط معظم الحوض المحيطي المتبقي ويتم إنشاء الصهارة البركانية في أعماق منطقة الإنشطار وترتفع إلى السطح لتكوين براكي، والتي تتحول لاحقاً وتكون سلاسل جبلية.



قياس الأعماق

قياس الأعماق (Bathymetry) هو قياس ورسم خرائط لعمق وتضاريس قاع المحيط أو قيعان البحيرات أو أي تضاريس مغمورة. هو فرع من علم المحيطات والجيولوجيا يركز على فهم التضاريس تحت الماء وخصائص المسطحات المائية. تُعد بيانات قياس الأعماق أمراً بالغ الأهمية لمجموعة متنوعة من الأغراض العلمية والتجارية والبيئية. يستخدم قياس الأعماق تقنيات مختلفة لقياس عمق المياه. في الماضي، كانت خطوط الرصاص (Lead Lines) ومسبارات الصدى (Echo Sounders) والسونار أحادي الشعاع (Single-Beam Sonar) شائعة الاستخدام. تستخدم مسوحات قياس الأعماق الحديثة أنظمة السونار متعددة الحزم (Multibeam Sonar)، والتي تنبعث منها حزم سونار متعددة لقياس العمق عبر مساحة واسعة من قاع البحر في وقت واحد. وتشمل الطرق الأخرى قياس الارتفاع عبر الأقمار الصناعية والليدار المحمول جواً (Airborne Lidar). يتم استخدام بيانات قياس الأعماق لإنشاء خرائط كنتورية (Contour Maps)، والتي تصور شكل وارتفاع قاع البحر. تربط الخطوط الكنتورية نقاطاً متساوية العمق والذي يساعد على تصور المعالم تحت الماء مثل، التلال، الخنادق، الجبال البحرية، والأودية. يلعب قياس الأعماق دوراً مهماً في فهم أنماط دوران المحيطات، توزيع درجة حرارة المياه، نقل

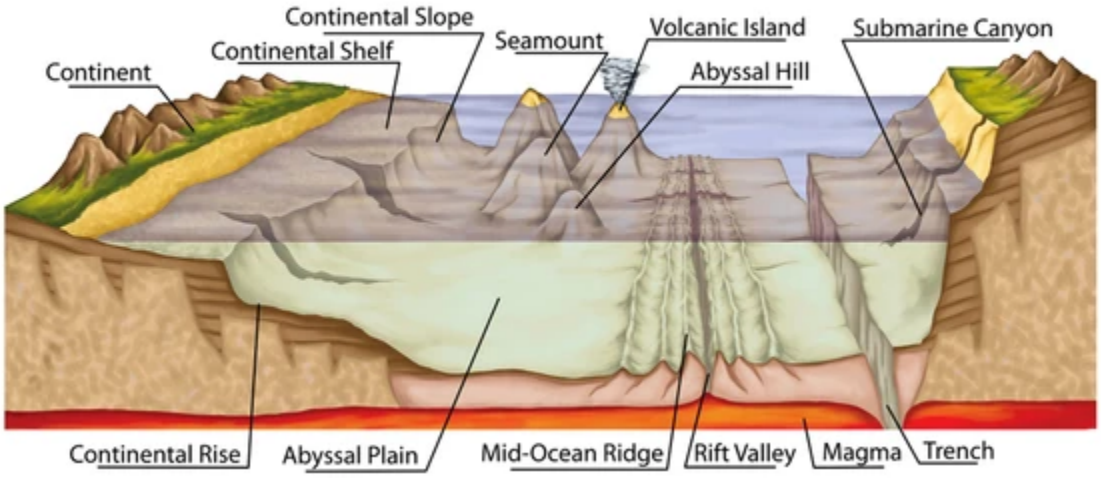
الرواسب، تكوين التيارات تحت الماء، ودراسة التفاعلات بين قاع البحر وعمود الماء. يساعد رسم خرائط قاع البحر كذلك في تحديد المناطق ذات الظروف الجيولوجية والمواطن البحرية الملائمة التي تدعم الحياة البحرية والأنشطة التجارية.



أقسام قاع المحيط

يمكن تقسيم قاع المحيط (Divisions of Ocean Floor) إلى عدة مناطق بناءً على سماتها وخصائصها الجيولوجية. الجرف القاري (Continental Shelf)، هي المنطقة الضحلة المنحدرة بلطف والتي تمتد من الخط الساحلي (Shoreline) إلى المنحدر القاري. وهي جزء من القشرة القارية وهي قريبة نسبياً من الأرض. يمكن أن يختلف عرض الجرف القاري بشكل كبير، حيث يتراوح من بضعة كيلومترات إلى مئات الكيلومترات. وهي منطقة مهمة للأنشطة التجارية وصيد الأسماك والتنقيب عن النفط والغاز. المنحدر القاري (Continental Slope)، هي المنطقة شديدة الانحدار التي تحدد الحدود بين الجرف القاري وقاع المحيط العميق (Deep Ocean Floor). ويمتد من الحافة الخارجية للجرف القاري إلى السهل السحيق. يمكن أن يختلف المنحدر من حيث الانحدار، وغالباً ما يتميز بوجود الأخاديد المغمورة، وهي أودية عميقة على شكل حرف (V) منحوتة بواسطة التيارات تحت الماء. الارتفاع القاري (Continental Rise)، هي المنطقة شديدة الانحدار عند قاعدة المنحدر القاري. وتتكون من الرواسب المتراكمة التي تم نقلها من القارة عن طريق الأنهار والتيارات والعمليات الجيولوجية الأخرى. يمثل الارتفاع القاري الانتقال بين الحافة القارية وقاع البحر العميق. السهل السحيق (Abyssal Plain)، عبارة عن منطقة مسطحة

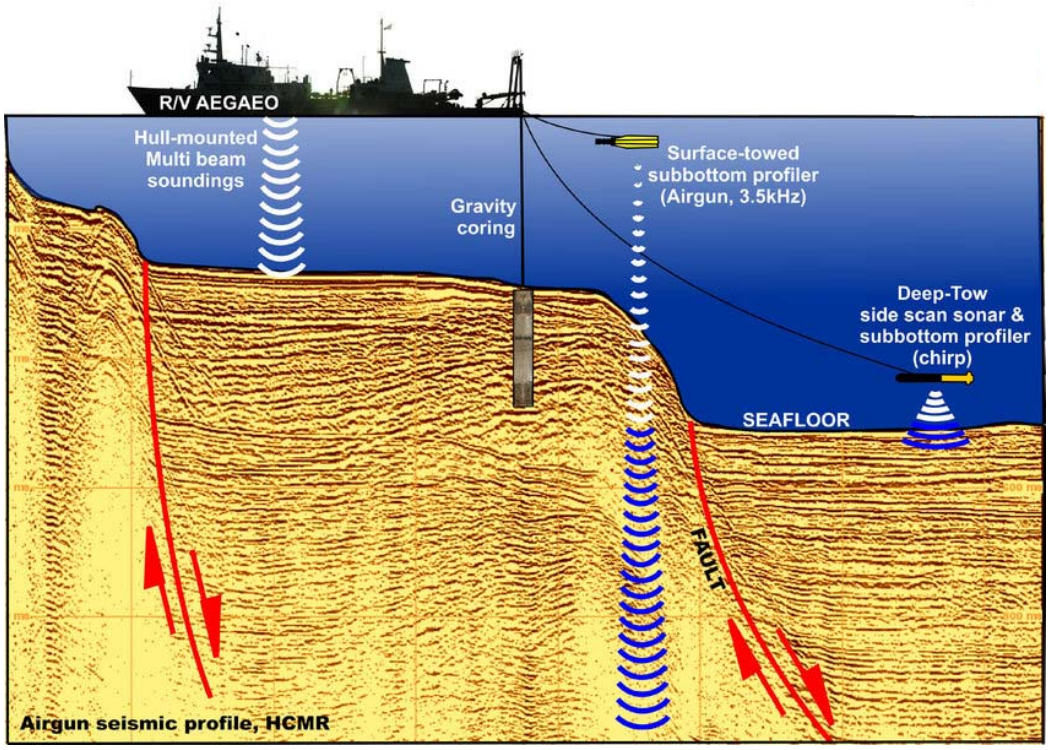
واسعة من قاع المحيط العميق. وهي مغطاة بالرواسب الدقيقة مثل، الطين والطمي، والتي استقرت على مدى ملايين السنين. السهول السحيقة ناعمة نسبياً وعديمة الملامح، وتتراوح أعماقها عادة من ٣٠٠٠ إلى ٦٠٠٠ متر. وهي تغطي أجزاءً كبيرة من قاع المحيط وتتميز بمعدلات ترسيب منخفضة وعمليات جيولوجية بطيئة. مرتفعات وسط المحيط (Mid-Ocean Ridges)، هي سلاسل جبلية تحت الماء تمر عبر مراكز أحواض المحيطات (Centers of the Ocean Basins). وهي تتشكل حيث تتباعد الصفائح التكتونية، ويحدث النشاط البركاني على طول حدود الصفائح المتباعدة. تتميز مرتفعات وسط المحيط بالفتحات البركانية، والفتحات الحرارية المائية، ووادي الصدع المركزي حيث تتشكل قشرة جديدة من خلال انتشار قاع البحر. الخنادق (Trenches)، هي أعمق أجزاء قاع المحيط وترتبط بمناطق الاندساس (Subduction Zones)، حيث تندفع إحدى الصفائح التكتونية إلى أسفل الأخرى. يمكن أن تصل الخنادق إلى أعماق شديدة، مثل خندق ماريانا (Mariana Trench) في غرب المحيط الهادئ، وهو أعمق نقطة معروفة في محيطات العالم. غالباً ما تتميز الخنادق بنشاط زلزالي مكثف وتعد مواقع مهمة لدراسة تكتونية الصفائح. الجبال البحرية والجويوت، الجبال البحرية (Seamounts) هي جبال تحت الماء ترتفع من قاع المحيط ولكنها لا تصل إلى السطح. وهي عادة ذات أصل بركاني ويمكن أن توفر مواطن للحياة البحرية المتنوعة. عندما تتآكل الجبال البحرية بمرور الوقت وتصبح مغمورة بالمياه، يُشار إليها باسم الجويوت (Guyots). تعتمد تقسيمات قاع المحيط هذه على الخصائص الفيزيائية والجيولوجية وتساعد في فهم المناطق والملامح المختلفة للمناطق المغمورة تحت الماء.



الجيوفيزياء البحرية

لطالما تلعب الطرق الجيوفيزيائية دوراً أساسياً في معرفة طبيعة التركيبة الداخلية للأرض، بما في ذلك استكشاف أعماق وأسرار البحار والمحيطات. الجيوفيزياء البحرية (Marine Geophysics) هو العلم الذي يهتم بدراسة البحار والمحيطات عن طريق استخدام الطرق الجيوفيزيائية وذلك لفهم أفضل عن طبيعة جيولوجية القاع، تحديد سمك طبقة القشرة المحيطية بما فيها الرواسب البحرية، ورسم تضاريس القاع. على الرغم من أن البترول يتم إنتاجه من رواسب على الجرف القاري، إلا أن المنطقة المتبقية الهائلة للمحيط تمثل قاعدة موارد غير مستكشفة وغير مستغلة إلى حدٍ كبير جداً. على مدى العقود القليلة الماضية، تم تمديد البحث عن احتياطيات النفط من القارات إلى المياه العميقة تدريجياً، مما يجعل من الرفوف القارية أكثر عرضة للاستكشاف الجيوفيزيائي. أحدثت التطورات في الأجهزة الجيوفيزيائية اهتماماً متزايداً باستخدام طرق الكهرومغناطيسية لاستكشاف قاع البحار. في السابق، لم يكن هناك اهتمام كبير باستخدامها في البيئة البحرية، وذلك بسبب نجاح التقنيات الزلزالية في تحديد البُنية تحت السطحية والاعتقاد السائد بأن الموصلية الكهربائية العالية لمياه البحر حالت دون تطبيق هذه المبادئ. يهتم علم الجيوفيزياء البحرية في المقام الأول بتطبيق الجاذبية، المغناطيسية، التدفق الحراري، والطرق السيزمية لدراسة بُنية الأرض الموجودة أسفل المحيطات. الطرق الجيوفيزيائية تُوفر قياسات كمِية غير مباشرة للخواص الفيزيائية للرواسب والصخور، على حدٍ سواء. غالباً ما يعمل الباحثون من مختلف التخصصات معاً بهدف فهم التفاعلات بين الأرض والمحيطات. عبر هذه التخصصات الفرعية، عادةً ما يتبعها القيام بالرحلات البحرية، العمل الميداني، وجمع وتحليل عينات مستفيضة في المختبر حتى يتسنى تفسير النتائج ووضع نماذج لها. تُؤثر العمليات الجيولوجية على كيمياء المحيطات وتؤثر أيضاً على توزيع الكائنات الحية. وبالمثل، تُؤثر العمليات الحيوية على كيمياء المحيطات والرواسب، ويمكن أن تُغير تكوين القشرة المحيطية. لاستكشاف قاع البحر، يتم استخدام مجموعة واسعة من الأدوات والتقنيات البحثية بما في ذلك، العمل الميداني، التحليلات المختبرية، والنمذجة الرقمية. يتم القيام بالرحلات العلمية باستخدام سفن الأبحاث لجمع البيانات والعينات، أو المركبات التي يتم تشغيلها عن بُعد، أو المركبات ذاتية الحركة تحت الماء، أو باستخدام الغواصات. تُعد البيانات الجيوفيزيائية مهمة ليس فقط من

الناحية العلمية، ولكن أيضًا بالنسبة لعدد من التطبيقات العملية التي تتضمن البحث عن المعادن، الطاقة، والصناعة المرتبطة بشكل أو بآخر بالموارد الطبيعية. يُعد الاستكشاف الجيوفيزيائي وسيلة آمنة ومُثبتة وفعالة لتحديد إمكانات الموارد الطبيعية وفهم طبيعة قاع البحر والتراكيب الجيولوجية المختلفة.



المسح البحري

تُستعمل الطاقة الصوتية حالياً لقياس أعماق المياه وذلك باستعمال السونار (Sonar). وقد كانت الأجهزة الأولى التي استعملت الصوت في قياس عمق المياه هي ما يسمى مسبارات الصدى (Echosounder) التي تم تطويرها في أوائل القرن العشرين. تعمل مسبارات الصدى على حمل الموجة الصوتية داخل الماء وذلك لإنتاج صدى ينعكس على أي جسم مثل ،كائن حي بحري كبير أو قاع المحيط. يُسجل جهاز الاستقبال الحساس (Hydrophone) الصدى المنعكس، وكذلك يحتوي على ساعة تضبط الزمن الذي تستغرقه رحلة الموجة الصوتية لأجزاء من الثانية. يمكن حساب العمق عن طريق معرفة سرعة الموجات الصوتية في الماء وهي حوالي ١٥٠٠

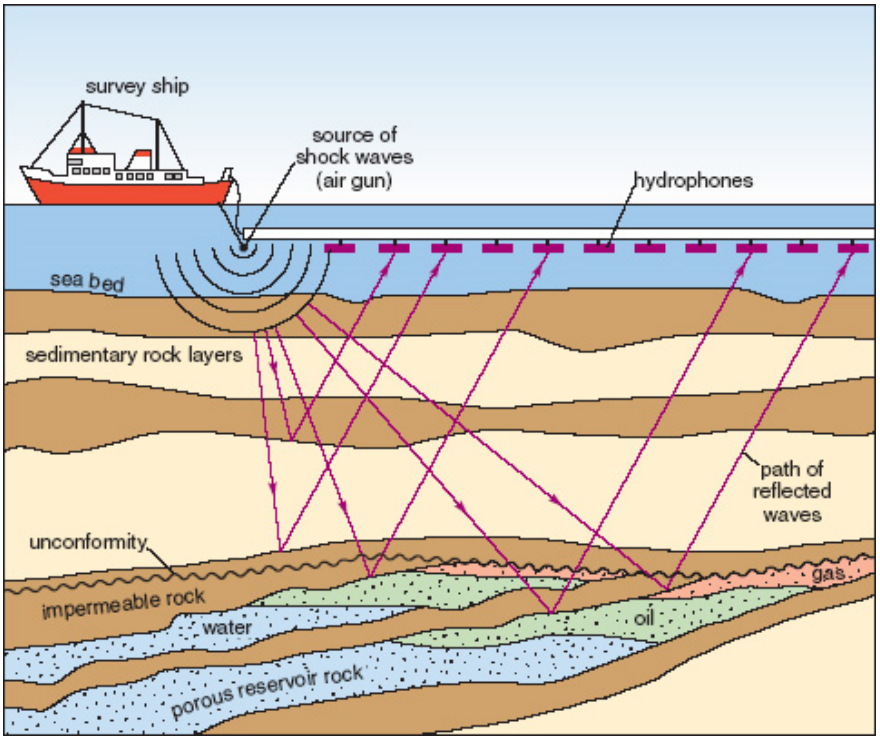
م/ثانية تقريباً، والزمن المطلوب الذي تستغرقه الموجة كي تصل إلى قاع المحيط وتعود وترسم الأعماق التي تم تحديدها. ومن خلال الرصد المتواصل لتلك الأصداء نحصل على معلومات حول قاع البحر والمحيط. وفي النهاية، يتم رسم تخطيط لقاع البحار والمحيطات عن طريق جمع المعلومات المتواصلة بتجارب عديدة. بعد انتهاء الحرب العالمية الثانية، عملت القوات البحرية الأمريكية على تطوير سونار المسح الجانبي (Side-Scan Sonar) للبحث عن العبوات الناسفة التي تواجدت في ممرات النقل البحري. يمكن لهذه الآلات التي يشبه شكلها الطوربيد أن تُسحب خلف السفن، حيث تُرسِل أصوات تمتد لكل من جانبي مسار السفينة. وقد عمل علماء المحيطات عن طريق الجمع بين مساحات من بيانات سونار المسح الجانبي على إنتاج أول صور لقاع البحار تشبه الصور الضوئية. وعلى الرغم من أن سونار المسح الجانبي يزودنا بمشاهد قيمة لقيعان البحار والمحيطات، إلا أنه لا يوفر بيانات حول قياس الأعماق. ومع بداية التسعينات، تم التغلب على العوائق السابقة باستعمال السونار المتعدد الشعاع (Multibeam Echosounder) والآلية التحكم. وتستعمل هذه الأنظمة مصادر صوت محمولة تُرسِل حزماً صوتية ثم تسجل انعكاساً عن قاع البحار، من خلال مجموعة من الأجهزة الإرسال الدقيقة التركيز والموجهة إلى زوايا مختلفة. وتسمح هذه التقنية لسفينة المسح أن ترسم خرائط لرقعة من قيعان البحار والمحيطات يصل عرضها لعشرات الكيلومترات. وذلك بدلاً من الحصول على عمق نقطة بعد نقطة كل عدة ثواني. وبالإضافة إلى ذلك، تعمل هذه الأنظمة على جمع بيانات قياس الأعماق بتحكم يمكنه تمييز الأعماق التي تختلف بعضها عن بعض بنسبة تصل إلى أقل من متر واحد. عندما يتم استعمال السونار المتعدد الشعاع لرسم خرائط لمقاطع من قيعان البحار والمحيطات، فإن السفينة تسافر بانتظام بطريقة الذهاب والإياب وهي الطريقة المعروفة باسم "حصد المرج". وعلى الرغم من كفاءتها العالية وتفاصيلها المعززة، إلا أن سفن البحث المزودة بسونار متعدد الشعاع تبحر من ١٠-٢٠ كلم/ساعة، وبناءً عليه، تحتاج إلى ١٠٠ سفينة مزودة بمثل هذه المعدات إلى مئات السنين لرسم خرائط لقيعان البحار والمحيطات كاملةً.

وهذا الأمر يفسر سبب رسم خرائط تفصيلية لـ ٥% تقريباً من قيعان البحار والمحيطات فقط.

الاتعكاس السيزمي البحري

الانعكاس السيزمي البحري (Marine Reflection Seismology) هي طريقة جيوفيزيائية تُستخدم لدراسة البنية تحت السطحية والجيولوجية تحت قاع البحر. ويتضمن توليد واكتشاف الموجات السيزمة في البيئة البحرية لإنشاء صور للطبقات تحت السطح وتحديد الخزانات الهيدروكربونية المحتملة والهياكل الجيولوجية وغيرها. يستخدم المصدر السيزمي (Seismic Source) مثل، مسدس الهواء أو مجموعة من البنادق الهوائية، لتوليد موجات سيزمية يمكن التحكم فيها. عادةً ما يتم سحب المصدر خلف سفينة بحرية وتُطلق نبضة هواء عالية الضغط في الماء. تنتقل النبضة إلى الأسفل وتولد موجات صوتية تخترق قاع البحر والرواسب الأساسية أو التكوينات الصخرية. تنتشر الموجات السيزمية الناتجة عن المصدر عبر عمود الماء وتتفاعل مع الطبقات تحت السطح. وبما أن الأمواج تواجه حدوداً بين مواد جيولوجية مختلفة مثل، الطبقات الرسوبية أو التكوينات الصخرية ذات الخصائص المختلفة، فإن جزءاً من الطاقة ينعكس مرة أخرى باتجاه قاع البحر. يتم نشر الهيدروفونات (Hydrophones) في الماء لتسجيل الموجات المنعكسة. عادة ما يتم ترتيبها في تكوين خطي أو شبكي ويتم سحبها خلف السفينة أو وضعها في قاع البحر. يتم اكتشاف وتسجيل التغيرات في الضغط الناتجة عن الموجات المنعكسة. تتم معالجة البيانات المسجلة لاستخراج المعلومات حول البنية تحت السطحية. يتضمن ذلك تطبيق تقنيات معالجة الإشارات المختلفة مثل، إزالة الالتفاف (Deconvolution) التصفية (Filtering)، والتكديس (Stacking)، لتحسين جودة ودقة الصور السيزمية. تُستخدم الخوارزميات الحسابية المتقدمة (Advanced Computational Algorithms) وذلك لتحليل البيانات وإنشاء نماذج تحت السطح (Subsurface Models) وصور مقطعية (Cross-Sectional Images). يتم تحديد الانعكاسات السيزمية (Seismic Reflections)، التي تمثل الحدود بين الطبقات أو التكوينات الجيولوجية المختلفة (Geological Layers or Formations)، ويستخدمون هذه المعلومات لرسم خريطة

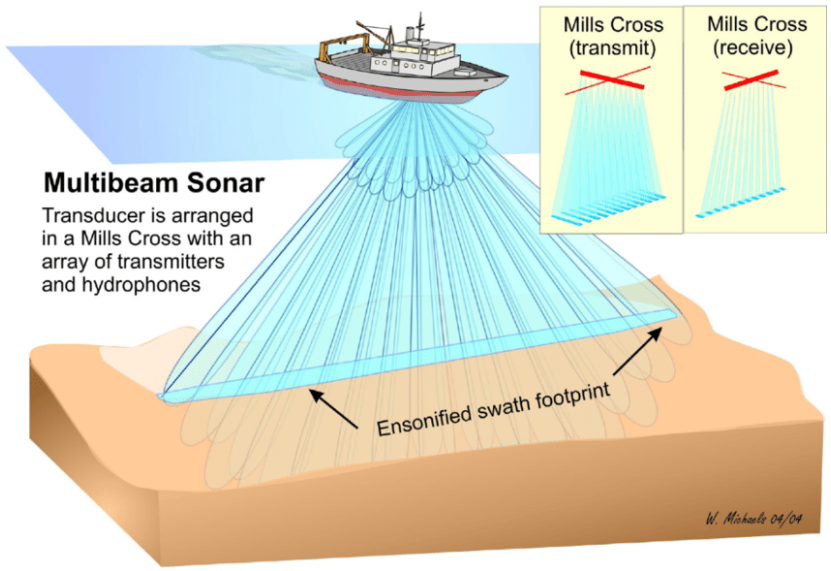
للبنية تحت السطحية (Subsurface Structure)، تحديد الخزانات الهيدروكربونية المحتملة (Potential Hydrocarbon Reservoirs)، وتقييم المخاطر الجيولوجية (Evaluate Geological Hazards). يتم استخدام الانعكاس السيزمي البحري على نطاق واسع في استكشاف النفط والغاز البحري، وكذلك في أبحاث علوم الأرض المتعلقة بعلم المحيطات، تكتونية الصفائح، دراسة العمليات الرسوبية البحرية. فهو يوفر يساعد في فهم التاريخ الجيولوجي وتكوين قاع البحر والتكوينات الجيولوجية الأساسية.



سبر الصدى متعدد الحزم

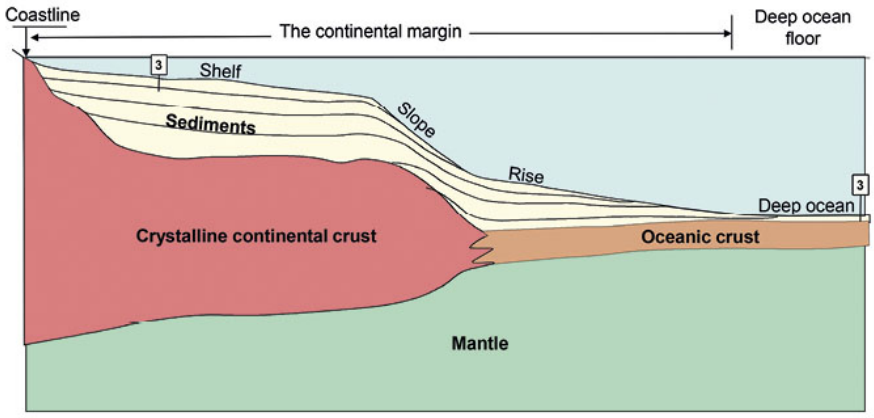
سبر الصدى متعدد الحزم (Multibeam Echo Sounding MBES) هي تقنية مسح تستخدم لرسم خريطة لقاع البحر وجمع بيانات قياس الأعماق التفصيلية. ويتضمن استخدام أشعة السونار المتعددة (Multiple Sonar Beams) لقياس عمق قاع البحر وجمع البيانات حول شكله وخصائصه. يتم تركيب نظام السونار متعدد الحزم على سفينة مسح أو مركبة تحت الماء. يتكون النظام من محول طاقة يصدر حزمة على شكل مروحة أو مجموعة من الحزم الصوتية الضيقة (Narrow Acoustic Beams) المتعامدة مع مسار السفينة. يمكن أن يتراوح عدد الحزم المنبعثة

من عدد قليل جداً إلى المئات، اعتماداً على مواصفات النظام. يتم اصدار نبضة صوتية إلى عمود الماء. تنتشر هذه الموجات الصوتية عبر الماء وتصل إلى قاع البحر. عندما تصطدم بقاع البحر، فإنها تنعكس مرة أخرى على شكل أصداء (Echoes). تكتشف أجهزة الاستقبال وتقيس الوقت الذي تستغرقه الأصداء للعودة إلى محول الطاقة. ومن خلال معرفة سرعة الصوت في الماء، والتي تتأثر بعوامل مثل درجة الحرارة والملوحة، يمكن للنظام حساب المسافة بين محول الطاقة وقاع البحر. بينما تتحرك سفينة المسح للأمام، يستمر إصدار نبضات واستقبالها. يتيح ذلك إمكانية رسم خرائط لمساحة واسعة من تغطية قاع البحر في وقت واحد. وهذا يسمح بالحصول على البيانات بكفاءة وسرعة في مناطق واسعة. تتم معالجة قياسات العمق المسجلة (Recorded Depth Measurements) وبيانات الصدى (Echo Data) وتحليلها لإنشاء خرائط قياس الأعماق (Bathymetric Maps) ونماذج ثلاثية الأبعاد (3D Models of the Seafloor) لقاع البحر. تتضمن تقنيات معالجة البيانات، التصفية (Filtering)، وتصحيح الاختلافات في سرعة الصوت (Correction for Sound Velocity Variations)، والاستيفاء (Interpolation) لملء فجوات البيانات. يتم استخدام خوارزميات متقدمة (Advanced Algorithms) لتحسين دقة بيانات قياس الأعماق. يتم استخدام البيانات التي تم الحصول عليها في الملاحة، رسم الخرائط، استكشاف الموارد البحرية، ورسم خرائط المواطن البحرية، وفهم العمليات الجيولوجية.



خصائص قاع البحر

تشير خصائص قاع البحر (Characteristics of Seabed) إلى السمات الفيزيائية والجيولوجية التي تحدد تكوين قاع المحيط وبنيته ومورفولوجيته. هذه الخصائص ضرورية لفهم النظم البيئية البحرية والعمليات الجيولوجية والأنشطة البشرية المختلفة مثل، استكشاف الموارد ووضع الكابلات البحرية. يختلف تكوين الرواسب في قاع البحر بشكل كبير اعتماداً على عوامل مثل، القرب من الأرض، تيارات المحيط، والنشاط الحيوي. تشمل أنواع الرواسب الشائعة، الطين، الرمل، الطمي، الحصى، والطين. تساعد دراسة تكوين الرواسب على فهم نقل الرواسب والبيئات الترسبية وتوزيع الكائنات البحرية. تتضمن جيولوجيا قاع البحر دراسة أنواع الصخور والتراكيب والعمليات الجيولوجية التي تشكل قاع المحيط مثل، التراكيب البركانية، الصدوع، وحدود الصفائح التكتونية والتي توفر نظرة ثاقبة لتكتونية الصفائح، انتشار قاع البحر، مناطق الاندساس، وتشكيل السمات الجيولوجية مثل، تلال وسط المحيط والسهول السحيقة. تشير صلابة الركيزة (Substrate Hardness) إلى صلابة أو مقاومة مادة قاع البحر. يمكن أن تتراوح من الرواسب الناعمة إلى الركائز الصلبة مثل النتوءات الصخرية (Rocky Outcrops) أو الشعاب المرجانية (Coral Reefs). تصف خشونة قاع البحر (Seafloor Roughness) التباين في الارتفاع، التضاريس، والملمس السطحي لقاع البحر. يمكن أن تختلف من المناطق الملساء والمسطحة إلى التضاريس الوعرة وغير المنتظمة. وتؤثر خشونة قاع البحر على نقل الرواسب، تراكم الجزيئات، وتوزيع المواطن البحرية و كذلك الأنواع.



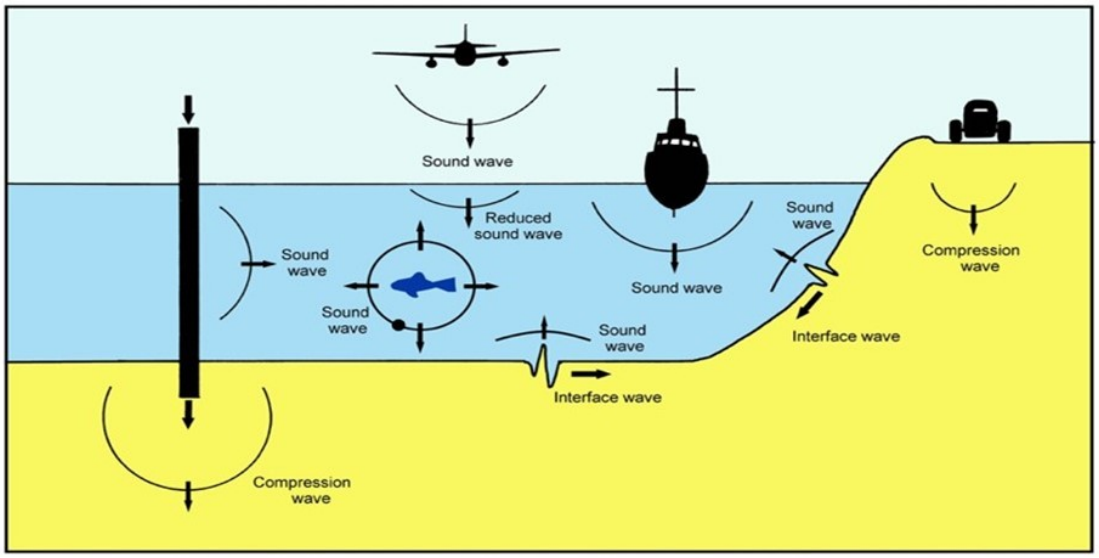
الدراسة المكتبية للمسح البحري

تتضمن الدراسة المكتبية للمسح البحري (Desk Study) إجراء البحوث وجمع المعلومات ذات الصلة حول منطقة أو موقع بحري محدد قبل إجراء المسوحات الميدانية. يجب تحديد أهداف وغرض المسح البحري بوضوح. من المهم القيام بتحديد المعلومات التي تحتاج إلى جمعها أثناء المسح الميداني مع تحديد نطاق الدراسة، من أهمها، القيام بإجراء مراجعة شاملة للأدبيات حول المنطقة البحرية أو الموقع محل الاهتمام. مراجعة الأوراق العلمية، التقارير، التقييمات البيئية، المسوحات الجيولوجية، الخرائط، وأي وثائق أخرى ذات صلة. القيام بتحديد وفهم المتطلبات التنظيمية والقانونية التي تنطبق على المسح البحري. وقد يشمل ذلك التصاريح والتراخيص واللوائح البيئية وأي بروتوكولات أو إرشادات محددة يجب اتباعها أثناء المسح. تحليل البيانات الجغرافية المكانية المتاحة، مثل صور الأقمار الصناعية والصور الجوية ومخططات الأعماق والخرائط الطبوغرافية. يمكن أن يساعد هذا التحليل في تحديد السمات ذات الصلة، مثل، الخطوط الساحلية، أعماق المياه، أنماط المد والجزر، التيارات، والمخاطر المحتملة. تقييم الظروف البيئية السائدة في المنطقة البحرية. ويشمل ذلك دراسة بيانات الأرصاد الجوية، بيانات المحيطات، مناخ الأمواج، ديناميكيات الرواسب، وأي عوامل أخرى ذات صلة قد تؤثر على المسح. إجراء تقييم أولي للمخاطر لتحديد المخاطر المحتملة، مخاوف السلامة، والمخاطر البيئية المرتبطة بالمسح البحري. ويشمل ذلك تقييم التأثيرات المحتملة على الحياة البحرية والمواطن البحرية والتراث الثقافي وأي مناطق أو أنواع حساسة أخرى. توثيق نتائج الدراسة المكتبية في تقرير، والذي يجب أن يتضمن ملخصاً للمعلومات المجمعة والتحليلات والتوصيات الخاصة بالمسح الميداني. من خلال إجراء دراسة مكتبية شاملة، يمكنك جمع المعلومات الأساسية وفهم سياق المنطقة البحرية واتخاذ قرارات مستنيرة بشأن تصميم وتنفيذ المسح الميداني اللاحق.

الموجات الصوتية تحت الماء

يشير الصوت تحت الماء إلى الموجات الصوتية التي تنتشر عبر الماء (Underwater Sound). ينتقل الصوت بشكل مختلف تحت الماء مقارنةً بالهواء بسبب الاختلافات في الكثافة وخصائص الوسط. الصوت تحت الماء مهم لمختلف الكائنات البحرية والاتصالات والملاحة والبحث العلمي. تنتقل الموجات الصوتية بشكل أسرع ويمكن أن تنتشر (Propagate) لمسافات أطول في الماء مقارنة بالهواء. تبلغ سرعة الصوت في الماء عادة حوالي ١٥٠٠ متر في الثانية، وهو أسرع بحوالي أربع مرات من الهواء. تسمح هذه السرعة الأسرع للصوت بالانتقال بكفاءة في البيئة تحت الماء. يمكن أن يغطي الصوت تحت الماء نطاق تردد واسع (Wide Frequency Range). تتواصل الحيوانات البحرية مثل، الحيتان والدلافين، باستخدام أصوات منخفضة التردد، بينما تولد الكائنات الحية الأخرى والأنشطة البشرية أصواتاً عبر ترددات مختلفة. يمكن أن يمتد نطاق تردد الصوت تحت الماء من الموجات تحت الصوتية (أقل من ٢٠ هرتز) إلى الموجات فوق الصوتية (أعلى من ٢٠,٠٠٠ هرتز). البيئة تحت الماء لها ضوضاء خاصة بها، تُعرف بالضوضاء المحيطة (Ambient Noise). وهي عبارة عن مزيج من الأصوات الطبيعية مثل، الرياح، الأمواج، الأمطار، الأنشطة الحيوية، بالإضافة إلى المصادر البشرية، بما في ذلك السفن، السونار، المسوحات السيزمية، والعمليات الصناعية. يمكن أن تختلف الضوضاء المحيطة من حيث الشدة وخصائص التردد اعتماداً على الموقع والوقت. تؤثر عوامل مختلفة على انتشار الصوت في الماء. وتشمل هذه، درجة الحرارة، الملوحة، الضغط، وجود الهياكل المادية مثل، قاع البحر، الانعكاسات السطحية، والتضاريس تحت الماء. يمكن أن تؤثر هذه العوامل على سرعة الموجات الصوتية واتجاهها وتخفيفها. يمكن للأنشطة البشرية التي تولد الصوت تحت الماء أن يكون لها تأثيرات مقصودة وغير مقصودة على الحياة البحرية. يمكن للضوضاء البشرية المستمرة أو الشديدة أن تعطل السلوكيات الأساسية للحيوانات البحرية مثل، التغذية، التكاثر، والتواصل. وقد يؤدي أيضاً إلى الإجهاد، تلف السمع، والتهجير في بعض الأنواع. يستخدم

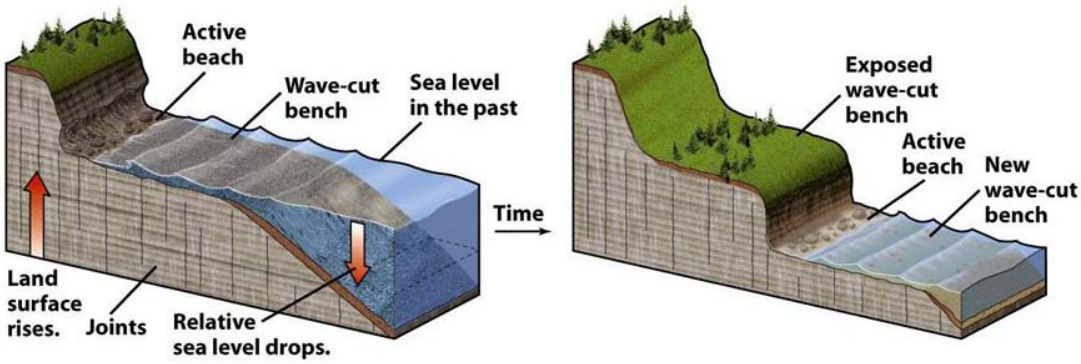
العلماء والباحثون المراقبة الصوتية تحت الماء لدراسة النظم البيئية البحرية. يتم نشر الهيدروفونات (Hydrophones)، وهي ميكروفونات تحت الماء، لتسجيل وتحليل الأصوات تحت الماء مع مرور الوقت. يُعد فهم الصوت تحت الماء وتأثيراته أمراً مهماً لإدارة التلوث الضوضائي، حماية الحياة البحرية، والحفاظ على التوازن البيئي للبيئة تحت الماء. إن تحقيق التوازن بين الأنشطة البشرية والحفاظ على الموائل الصوتية أمر بالغ الأهمية للإدارة المستدامة للمحيطات.



التقلبات الساحلية

يشير التقلب الساحلي (Coastal Variability) إلى التغيرات الطبيعية والديناميكية التي تحدث على طول الخطوط الساحلية بسبب مجموعة من العوامل الفيزيائية والجيولوجية والبيئية. تساهم هذه العوامل في مجموعة واسعة من الاختلافات في الخصائص الساحلية، بما في ذلك شكل الخط الساحلي، تكوين الرواسب، أنماط التآكل والترسب، والأشكال الأرضية الساحلية. يمكن أن يكون للتقلبات الساحلية آثار كبيرة على إدارة السواحل، تخطيط استخدام الأراضي، واستدامة المجتمعات الساحلية. يتأثر التباين الساحلي بالخصائص الجيولوجية والجيومورفولوجية (Geomorphological) للخط الساحلي. تساهم عوامل مثل، نوع الصخور، التضاريس الساحلية (مثل المنحدرات والشواطئ والكثبان الرملية) ومصادر الرواسب في مجموعة متنوعة من المناظر الطبيعية الساحلية في جميع أنحاء العالم. تلعب التغيرات في مستوى سطح البحر،

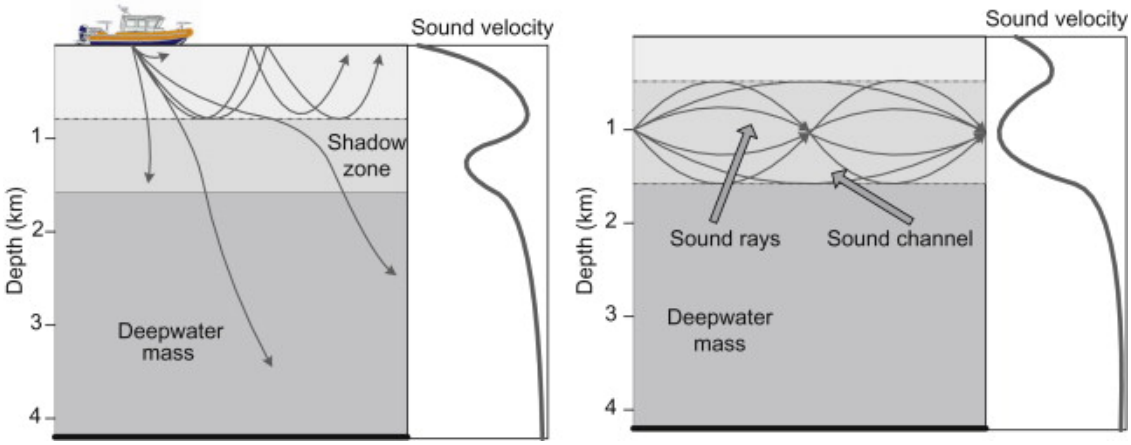
سواء على فترات زمنية قصيرة أو طويلة، دوراً حاسماً في التقلبات الساحلية. يمكن أن يؤدي ارتفاع مستوى سطح البحر العالمي (Global Sea Level Rise)، والذي يرجع في المقام الأول إلى تغير المناخ، إلى تآكل السواحل والفيضانات وهجرة الشواطئ نحو اليابسة. يمكن للعوامل المحلية مثل النشاط التكتوني وهبوط الأرض أن تؤثر أيضاً على تغيرات مستوى سطح البحر على المستويات الإقليمية. تُعد الأمواج والتيارات المحيطية من المحركات الرئيسية للعمليات الساحلية وتساهم في التقلبات الساحلية. تؤثر خصائص الموجة، بما في ذلك ارتفاع الموجة (Wave Height) واتجاهها (Direction) وتكرارها (Frequency)، على التآكل وانتقال الرواسب على طول السواحل. تشكل تيارات المحيط، مثل التيارات الطويلة (Longshore Currents) على الشاطئ وتيارات المد والجزر (Tidal Currents)، الخط الساحلي وتؤثر على حركة الرواسب. يؤثر نوع وحركة الرواسب على طول الخط الساحلي بقوة على تقلبها. تقوم مصادر الرواسب، مثل الأنهار والمنحدرات الساحلية والرواسب البحرية، بتوصيل الرواسب إلى الساحل. يساهم تآكل الرواسب ونقلها وترسبها استجابةً لحركة الأمواج والتيار في إحداث تغييرات في موقع الخط الساحلي والتضاريس الساحلية. تساهم عمليات التآكل (Coastal Erosion) والتراكم الساحلي (Accretion Processes) في تقلب الخطوط الساحلية. يحدث التآكل عندما تتم إزالة الرواسب من الساحل، مما يؤدي إلى تراجع الشواطئ نحو اليابسة. من ناحية أخرى، يشير التراكم إلى إضافة الرواسب، مما يؤدي إلى توسع التضاريس الساحلية. يمكن أن تتأثر هذه العمليات بعوامل مثل طاقة الأمواج، توافر الرواسب، والأنشطة البشرية. يمكن لأنماط المناخ، مثل التغيرات الموسمية في الرياح وهطول الأمطار، أن تؤثر على التقلبات الساحلية من خلال التأثير على ظروف الأمواج ونقل الرواسب. يمكن للظواهر الجوية المتطرفة، مثل العواصف والأعاصير، أن تسبب تغيرات سريعة وهامة في الساحل من خلال التآكل والفيضانات.



انتشار الصوت في المحيط

هناك عدة عوامل يمكن أن تؤثر بشكل كبير على انتشار الصوت (Sound Propagation) في المحيط. تؤثر هذه العوامل، الطبيعية منها والبشرية، على سرعة واتجاه وخصائص الموجات الصوتية تحت الماء. يتم تحديد سرعة الصوت في الماء بشكل أساسي من خلال درجة حرارته وملوحته. عادةً ما يكون للمياه الدافئة سرعة صوت أعلى، في حين أن المياه الباردة لها سرعة صوت أقل. وبالمثل، فإن التغيرات في الملوحة يمكن أن تؤثر على انتشار الصوت. يمكن للتغيرات في درجات الحرارة والملوحة مع عمق المحيط أن تخلق تدرجات (Gradients) في سرعة الصوت، مما يؤدي إلى انحناء الصوت (Sound Bending) أو انكساره (Refraction). تزداد سرعة الصوت في المحيط عموماً مع زيادة العمق بسبب زيادة الضغط. يمكن أن يتسبب تدرج الضغط في المحيط في انكسار الموجات الصوتية، مما يؤدي إلى تغيرات في اتجاهها وكثافتها. يتم امتصاص الطاقة الصوتية (Absorbed) تدريجياً أثناء انتشارها عبر الماء. ويتأثر امتصاص الصوت بعوامل مثل، التردد، درجة الحرارة، الملوحة، وجود الغازات الذائبة، والجسيمات العالقة. عادةً ما يتم امتصاص الأصوات ذات التردد العالي (Higher-Frequency Sounds) بسرعة أكبر من الأصوات ذات التردد المنخفض (Lower-Frequency Sounds). يمكن لخصائص قاع البحر والتضاريس تحت الماء، المعروفة باسم قياس الأعماق (Bathymetry)، أن تؤثر على انتشار الصوت. يمكن لأسطح قاع البحر الصلبة العاكسة أن تعزز انعكاس الصوت، بينما يمكن لقاع البحر الناعم

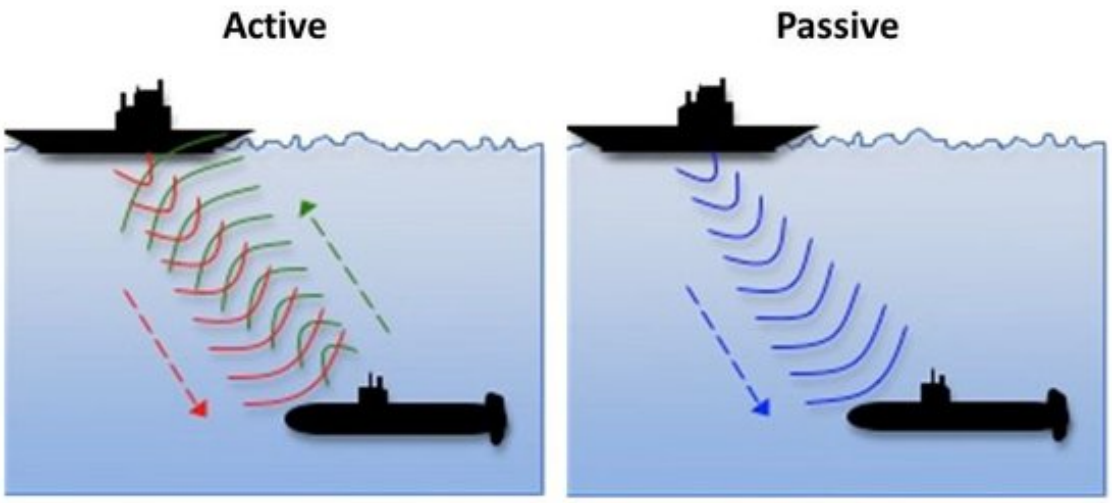
المغطى بالرواسب أن يمتص الطاقة الصوتية. يمكن أن تتسبب ملامح قياس الأعماق، مثل الأخاديد أو الوديان أو التلال تحت الماء، في انكسار الموجات الصوتية أو حيودها أو تركيزها. يمكن للكائنات البحرية، مثل الأسماك والثدييات البحرية واللافقاريات، أن تصدر أصواتاً تنتشر عبر الماء. يمكن أن يؤثر وجود النشاط الحيوي ووفرة الحياة البحرية على انتشار الصوت عن طريق زيادة مستوى الضوضاء المحيطة (Ambient Noise) أو عن طريق التداخل مع ترددات معينة. يمكن أن تؤثر تيارات المحيطات (Ocean Currents) والاضطرابات (Turbulence) على انتشار الصوت عن طريق تغيير حركة الموجات الصوتية وتشتتها (Dispersion). يمكن للتيارات القوية أن تحمل الطاقة الصوتية بعيداً عن مسارها المقصود، في حين أن الاضطراب يمكن أن يؤدي إلى تشتيت الموجات الصوتية وإضعافها. يمكن أن تؤثر الأمواج السطحية (Surface Ocean Waves) الناتجة عن الرياح على انتشار الصوت عن طريق إدخال ضوضاء سطحية والتسبب في تشتت الصوت وحيوده (Sound Scattering and Diffraction). يمكن أن تؤثر خشونة (Roughness) سطح الماء على انتقال وانعكاس الموجات الصوتية. يمكن لمصادر الضوضاء البشرية المنشأ (Anthropogenic)، مثل السفن، المسوحات السيزمية، السونار، والأنشطة الصناعية البحرية، أن تؤدي إلى ضوضاء عالية الكثافة (High-Intensity Noise) في المحيط. هذا التلوث الضوضائي (Noise Pollution) يمكن أن يحجب أو يتداخل مع الاتصالات تحت الماء ويؤثر أيضاً على سلوك وتواصل الكائنات البحرية.



السونار النشط والسونار المُنفَعِل

السونار النشط (Active Sonar) والسونار المُنفعِل (Passive Sonar) هما تقنيتان مختلفتان تستخدمان في الأنظمة الصوتية تحت الماء للكشف عن الأهداف الموجودة في الماء وتحديد موقعها. السونار النشط، تبُث أنظمة السونار النشط موجات صوتية في الماء وتستمع إلى الصدى المنعكس (Echoes Reflected Back) من الأجسام الموجودة في البيئة. تتكون هذه الأنظمة من جهاز إرسال (Transmitter) يقوم بتوليد إشارة صوتية محددة، يشار إليها غالباً باسم أزيز (Ping) أو نبض (Pulse)، وجهاز استقبال (Receiver) يكتشف الأصداء العائدة ويعالجها. تنتشر الموجات الصوتية المرسلة عبر الماء، وترتد عن الأجسام، وتعود إلى جهاز الاستقبال، مما يسمح بتقدير مسافة الجسم واتجاهه وأحياناً حجمه وشكله. توفر أنظمة السونار النشطة استشعاراً نشطاً ويمكن استخدامها لاكتشاف الأهداف (Target Detection) والملاحة (Navigation) والتصوير (Imaging). في المقابل، لا تصدر أنظمة السونار المُنفعِل أي إشارات صوتية ولكنها تعتمد بدلاً من ذلك على الاستماع إلى الأصوات الموجودة بالفعل في البيئة تحت الماء. تتكون هذه الأنظمة من واحد أو أكثر من مكبرات الصوت المائية (Hydrophones)، وهي عبارة عن ميكروفونات تحت الماء، تقوم بالتقاط وتسجيل الضوضاء المحيطة والإشارات الصوتية الناتجة عن مصادر مختلفة، مثل الحياة البحرية والظواهر الطبيعية والأنشطة البشرية. تقوم أنظمة السونار المُنفعِل بتحليل الإشارات المستقبلة لاستخراج معلومات حول موقع وحركة وخصائص الأهداف محل الاهتمام. يعد السونار المُنفعِل مفيداً بشكل خاص لكشف وتتبع الغواصات (Submarines) والثدييات البحرية وغيرها من الأجسام الموجودة تحت الماء دون تنبيهها بوجود نظام المراقبة (Monitoring System). يتمتع كل من السونار النشط والسونار المُنفعِل بمزايا وتطبيقات، السونار النشط فعال في الكشف بعيد المدى (Long-Range Detection)، والمدى الدقيق (Precise Ranging)، وتصوير الأجسام تحت الماء (Imaging of Underwater Objects). ويشيع استخدامه في التطبيقات العسكرية، مثل الكشف عن

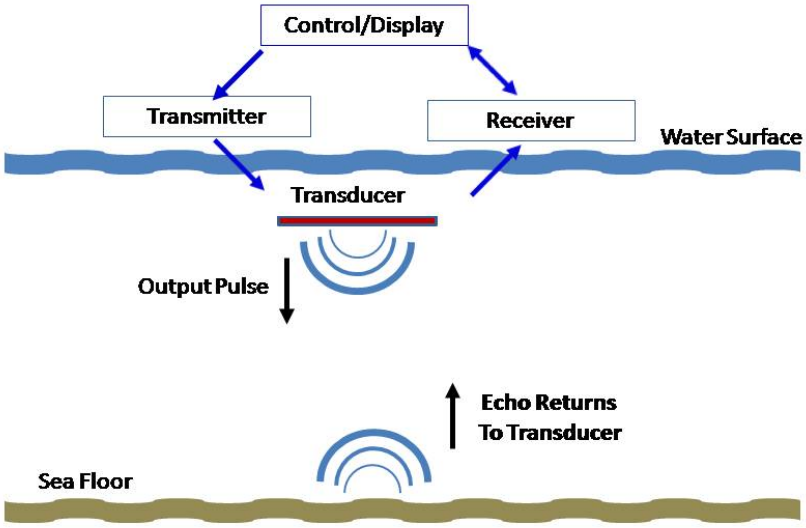
الغواصات والتدابير المضادة للألغام. يستخدم السونار النشط أيضاً في التطبيقات التجارية، بما في ذلك العثور على الأسماك ورسم الخرائط تحت الماء والبحث العلمي. يعتبر السونار المُنفعِل مفيد للعمليات السرية والمراقبة. يتم استخدامه على نطاق واسع للمراقبة تحت الماء والرصد البيئي ودراسة الحياة البحرية. يمكن أن توفر معلومات قيمة حول سلوك الكائنات البحرية واتصالاتها وتوزيعها.



أجهزة صدى الصوت

أجهزة صدى الصوت (Echosounders)، والمعروفة أيضاً باسم مسبار الصدى (Echo Sounders) أو مسبار العمق (Depth Sounders)، هي أجهزة سونار متخصصة تستخدم لقياس عمق المياه ورسم خريطة لقاع البحر. وهي تستخدم عادة في المسوحات الهيدروغرافية والملاحة البحرية والأبحاث تحت الماء. تعمل أجهزة صدى الصوت على مبدأ الانعكاس الصوتي (Acoustic Reflection) وتستخدم الموجات الصوتية (Sound Waves) لتحديد المسافة بين محول الطاقة (Transducer) "جهاز انبعاث الصوت" (Sound-Emitting Device) وقاع البحر أو الأجسام الأخرى تحت الماء. يتكون نظام مسبار الصدى من محول طاقة يصدر نبضة قصيرة من الموجات الصوتية إلى الماء. يمكن تركيب محول الطاقة على متن سفينة أو نشره تحت الماء. عادة ما تكون الموجات الصوتية في نطاق تردد الموجات فوق الصوتية، أعلى من نطاق السمع

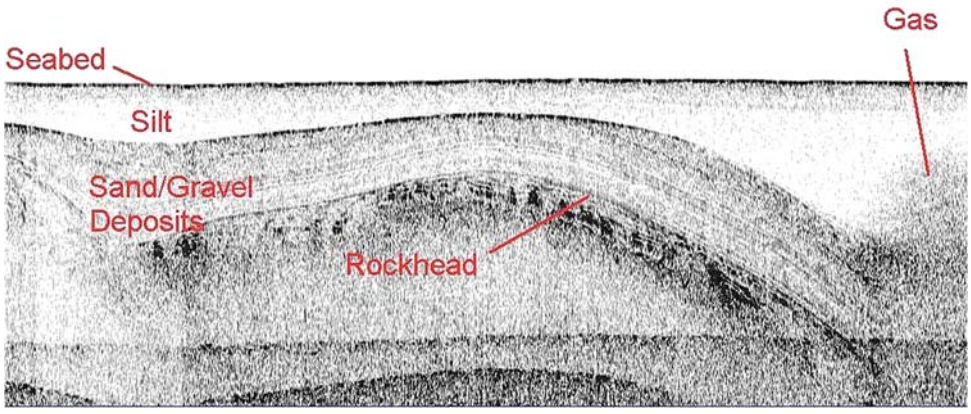
البشري (على سبيل المثال، ٢٠ كيلو هرتز إلى عدة مئات كيلو هرتز). تنتقل الموجات الصوتية المنبعثة عبر الماء وتخترق عمود الماء. عندما تواجه الموجات الصوتية طبقات مختلفة من الماء وقاع البحر أو أشياء أخرى، فإنها تنعكس جزئياً مرة أخرى نحو محول الطاقة. يعمل محول الطاقة أيضاً كجهاز استقبال، حيث يكتشف أصداء الموجات الصوتية المنبعثة التي تعود بعد انعكاسها عن قاع البحر أو الأجسام الأخرى تحت الماء. يتم تحويل الأصداء إلى إشارات كهربائية (Electrical Signals). من خلال قياس الوقت الذي تستغرقه نبضة الصوت للانتقال من محول الطاقة إلى قاع البحر والعودة، يمكن لمسبار الصدى حساب المسافة بين محول الطاقة وقاع البحر. يتم استخدام هذه المعلومات لتحديد عمق المياه (Water Depth). تتأثر سرعة الصوت في الماء بعوامل مثل درجة الحرارة والملوحة والضغط. يشتمل نظام مسبار الصدى عادةً على وحدة عرض (Display Unit) تعرض قياسات العمق في الوقت الفعلي. يمكن تسجيل بيانات العمق واستخدامها لإنشاء ملفات تعريف العمق أو خرائط قياس الأعماق أو الرسوم البيانية للمنطقة التي تم مسحها. يمكن أن تختلف أجهزة صدى الصوت في تصميمها وإمكانياتها وميزاتها الخاصة بالتطبيق. تستخدم بعض أنظمة مسبار الصدى المتقدمة محولات طاقة متعددة (Multiple Transducers)، وتقنيات تشكيل الشعاع (Beamforming Techniques)، وخوارزميات متطورة لمعالجة الإشارات (Sophisticated Signal Processing Algorithms) لتوفير قياس الأعماق عالي الدقة (High-Resolution Bathymetry)، ورسم خرائط تفصيلية لقاع البحر (Detailed Seafloor Mapping)، ومعلومات إضافية حول البيئة تحت الماء. تلعب أجهزة صدى الصوت دوراً حاسماً في مختلف المجالات، بما في ذلك المسح الهيدروغرافي (Hydrographic Surveying) للملاحة الآمنة (Safe Navigation)، وإنتاج الخرائط (Chart Production)، والهندسة الساحلية (Coastal Engineering).



خصائص صورة السونار

في صورة السونار (Sonar Image)، يمكن ملاحظة العديد من الخصائص (Properties) والملامح (Features) التي توفر معلومات حول البيئة تحت الماء والأهداف أو الهياكل الموجودة. تشمل، الانعكاسية (Reflectivity)، تشير إلى شدة أو قوة الأصداء الصوتية (Strength of Acoustic Echoes) التي يستقبلها نظام السونار. يشير إلى قدرة الجسم أو قاع البحر على عكس الموجات الصوتية. تظهر الأجسام ذات الانعكاسية العالية أكثر سطوعاً أو لها أصداء أقوى في صورة السونار، بينما تظهر الأجسام ذات الانعكاسية المنخفضة أغمق أو لها أصداء أضعف. شكل الهدف (Target Shape)، يمكن أن يوفر شكل الأهداف أو الكائنات في صورة السونار معلومات حول هندستها (Geometry) وخصائصها (Characteristics). يمكن أن تكشف صور السونار عن ملامح مثل، الخطوط المستقيمة (Straight Lines) أو المنحنيات (Curves) أو الحواف (Edges) أو الأشكال غير المنتظمة (Irregular Shapes)، والتي يمكن أن تساعد في تحديد الكائنات مثل حطام السفن أو الهياكل تحت الماء أو التكوينات الجيولوجية. التظليل (Shadowing)، يحدث التظليل عندما يتم حجب (Blocked) الموجات الصوتية أو امتصاصها (Absorbed) بواسطة كائن ما، مما يتسبب في ظهور منطقة خلف الكائن أكثر قتامة (Darker) أو تقليل شدة الصدى (Reduced Echo Intensity) في صورة السونار. يمكن أن توفر الظلال

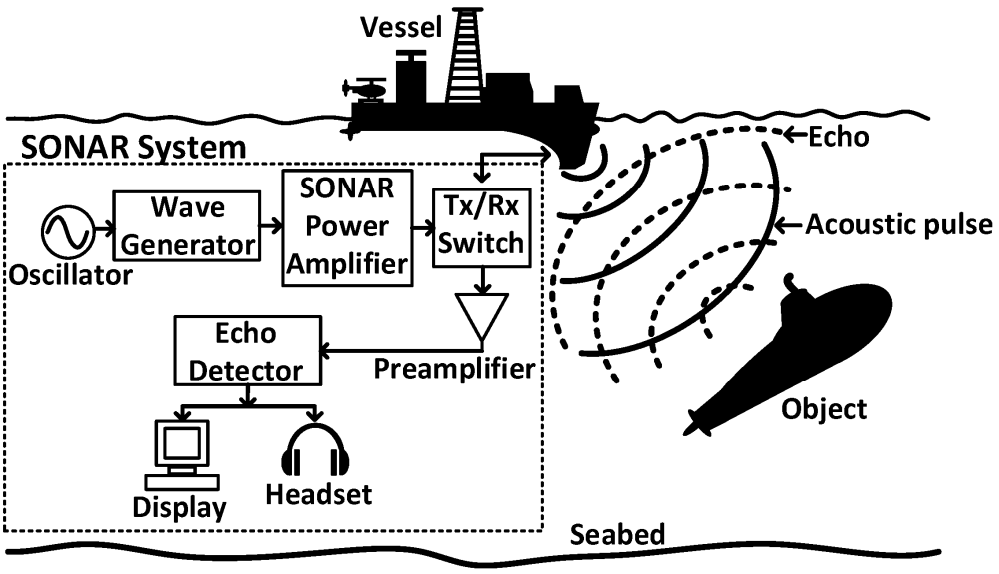
معلومات حول حجم الكائنات وشكلها وموضعها بالنسبة لمصدر الصوت. التشتت الخلفي (Backscatter)، يشير التشتت الخلفي إلى تشتت الموجات الصوتية في اتجاهات مختلفة عند التفاعل مع الأهداف أو قاع البحر. يمكن أن توفر الأصداء المتناثرة معلومات حول تكوين (Composition) وخشونة (Roughness) وملمس (Texture) قاع البحر. يمكن للمواد أو الأسطح المختلفة أن تنتج أنماطًا مختلفة من التشتت الخلفي في صورة السونار. المدى (Range) والعمق (Depth)، غالباً ما تتضمن صور السونار معلومات حول المدى أو المسافة (Distance) من نظام السونار إلى الأجسام أو قاع البحر. يمكن عرض ذلك على هيئة خطوط عمق مخططة بالألوان (Color-Coded Depth Contours) أو مقاييس مسافة (Distance Scales)، مما يسمح بتقدير الأعماق أو المسافات في مواقع مختلفة في الصورة. الضوضاء (Noise) والتداخل (Interference)، قد تحتوي صور السونار على ضوضاء أو تداخل ناجم عن عوامل مثل قيود المعدات (Equipment Limitations)، أو الظروف البيئية (Environmental Conditions)، أو عيوب معالجة الإشارات (Signal Processing Artifacts). يمكن أن تؤثر هذه العناصر غير المرغوب فيها على وضوح (Clarity) الصورة وجودتها (Quality)، مما يجعل من المهم التمييز بين الملامح الفعلية (Actual Features) والضوضاء (Noise) أو التشويش المحتمل (Artifacts). يتطلب تفسير هذه الخصائص في صورة السونار خبرة ودراية في التصوير الصوتي تحت الماء (Underwater Acoustic Imaging). ومن خلال تحليل وفهم هذه الخصائص، يمكن استخلاص معلومات قيمة حول البيئة تحت الماء والهياكل الجيولوجية والمواطن البحرية والأهداف المغمورة.



عوامل اختيار التردد لأنظمة السونار

يعتمد اختيار التردد لأنظمة السونار (Choice of Frequency for Sonar Systems) على عدة عوامل، بما في ذلك التطبيق المحدد (Specific Application)، والمدى المطلوب (Desired Range)، ومتطلبات الدقة (Resolution Requirements)، وخصائص البيئة (Characteristics of the Underwater Environment) تحت الماء. يجب اختيار تردد نظام السونار بناءً على نطاق الكشف أو التصوير المطلوب وعمق البيئة تحت الماء. وبشكل عام، تعد الترددات المنخفضة أكثر ملاءمة للتطبيقات بعيدة المدى، حيث أنها تتمتع بتوهين (Attenuation) أقل ويمكن أن تنتشر عبر مسافات أكبر. من ناحية أخرى، توفر الترددات الأعلى دقة أفضل ولكن قد يكون نطاقها محدوداً بسبب زيادة التوهين. يلعب حجم (Size) وخصائص (Characteristics) الأجسام المستهدفة (Target Objects) أو الملامح (Features) محل الاهتمام دوراً في اختيار التردد. تتطلب الأهداف الأصغر أو التفاصيل الدقيقة ترددات أعلى (Higher Frequencies) للحصول على دقة أفضل. على سبيل المثال، في مهام التصوير أو الفحص تحت الماء، تُفضل الترددات الأعلى لالتقاط التفاصيل الهيكلية الدقيقة (Fine Structural Details)، بينما تكون الترددات المنخفضة (Lower Frequencies) مناسبة لاكتشاف الأجسام الأكبر حجماً مثل الغواصات أو حطام السفن. تتمتع الترددات المختلفة بقدرات اختراق (Penetration) مختلفة في أنواع مختلفة من ظروف المياه وقاع البحر. يمكن للترددات المنخفضة (على سبيل المثال، عشرات إلى مئات الكيلوهرتز) أن تخترق طبقات الرواسب والغطاء النباتي، مما يسمح بتصوير أو اكتشاف الأجسام المدفونة أو المخفية جزئياً في قاع البحر. تُعد الترددات الأعلى (على سبيل المثال، مئات الكيلو هرتز إلى عدة ميجا هرتز) أكثر ملاءمة لتصوير الملامح القريبة من السطح (Near-Surface Features) والتقاط تضاريس قاع البحر (Seafloor Topography). يُعد المستوى المطلوب من التفاصيل والدقة في صورة أو بيانات السونار أحد الاعتبارات المهمة. توفر الترددات الأعلى دقة أفضل، مما يسمح بتمييز أفضل للأشياء أو الملامح الصغيرة. ومع

ذلك، قد تؤدي الترددات الأعلى أيضاً إلى انخفاض النطاق وزيادة التعرض للضوضاء والتداخل. يجب أن يُأخذ اختيار التردد في الاعتبار ظروف الضوضاء المحيطة ومصادر التداخل المحتملة في بيئة التشغيل. على سبيل المثال، في البيئات ذات المستويات العالية من الضوضاء المحيطة، مثل ممرات الشحن المزدحمة أو المناطق ذات النشاط البشري، قد تكون الترددات المنخفضة أكثر ملاءمة لأنها أقل تأثراً بالضوضاء وتوفر نسب إشارة إلى ضوضاء أفضل. يمكن أن تؤثر العوامل البيئية، مثل درجة حرارة الماء والملوحة ووجود جزيئات متناثرة أو مواد عالقة، على انتشار الصوت عند ترددات مختلفة. إن فهم هذه العوامل البيئية وتأثيرها على انتشار الصوت يساعد في اختيار التردد المناسب للأداء الأمثل.

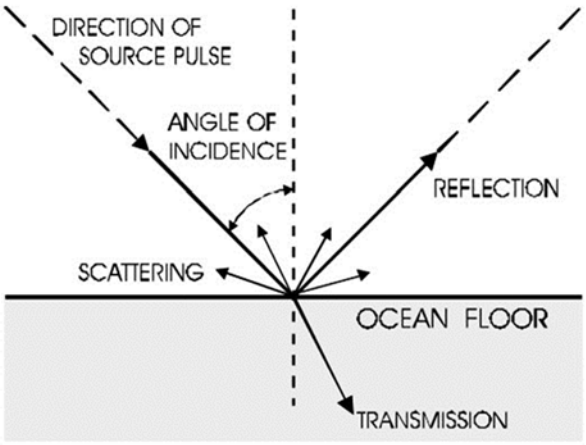


مكونات حدث الصدى في قاع البحر

يتكون حدث الصدى في قاع البحر (Echo Event at the Seafloor) في نظام السونار عادة من عدة مكونات توفر معلومات حول خصائص قاع البحر وتفاعل الموجات الصوتية مع قاع البحر. المكونات الرئيسية هي، صدى المسار المباشر (Direct Path Echo)، هو أول وصول للموجة الصوتية التي تنتشر مباشرة من محول السونار إلى قاع البحر والعودة. وهو يمثل أقصر مسار ويوفر معلومات حول عمق عمود الماء. الانعكاس على قاع البحر (Seafloor

Reflection)، عندما تصل الموجة الصوتية إلى قاع البحر، ينعكس جزء منها مرة أخرى نحو محول السونار. يشير مكون انعكاس قاع البحر لحدث الصدى إلى وجود قاع البحر وموقعه. يمكن أن توفر قوة وتوقيت انعكاس قاع البحر معلومات حول تكوين قاع البحر وخشونته. الانعكاسات المتعددة (Multiple Reflections)، في بعض الحالات، يمكن أن تخضع الموجة الصوتية لانعكاسات متعددة بين قاع البحر والأهداف أو المعالم الأخرى الموجودة في عمود الماء. يمكن أن تؤدي هذه الانعكاسات المتعددة إلى وصول صدى إضافي (Additional Echo Arrivals) يساهم في حدث الصدى الإجمالي (Overall Echo Event). يمكنهم تقديم معلومات حول وجود الهياكل تحت الماء أو النباتات أو الأهداف المغمورة. التشتت الخلفي لقاع البحر (Seafloor Backscatter)، عندما تتفاعل الموجة الصوتية مع قاع البحر، فإنها تتعرض للتشتت، حيث تتوزع الطاقة الصوتية في اتجاهات مختلفة. يُعرف الصوت المتناثر الذي يعود إلى محول الطاقة باسم التشتت الخلفي لقاع البحر. يمكن لخصائص التشتت الخلفي، مثل السعة والكثافة ومحتوى التردد، أن توفر معلومات حول نسيج قاع البحر وخشونته وتكوينه. أصداء الفص الجانبي (Side Lobe Echoes)، الفصوص الجانبية هي حزم صوتية ثانوية تشع من الشعاع الرئيسي لمحول طاقة السونار. يمكن لهذه الفصوص الجانبية أن تسبب أصداء أثناء تفاعلها مع قاع البحر والأهداف الأخرى. يمكن أن تظهر أصداء الفص الجانبي بجانب حدث الصدى الرئيسي وقد توفر معلومات إضافية حول المناطق المحيطة. الارتداد (Reverberation)، يشير الصدى إلى استمرار الصوت في عمود الماء بسبب الانعكاسات المتعددة والتشتت. يمكن أن يحدث بعد حدث الارتداد الأولي (Initial Echo Event) ويمكن أن يخفي أو يتداخل مع وصول الصدى اللاحق (Subsequent Echo Arrivals). يتأثر الصدى بعوامل مثل تردد الصوت وعمق الماء ووجود جسيمات متناثرة أو مادة معلقة.

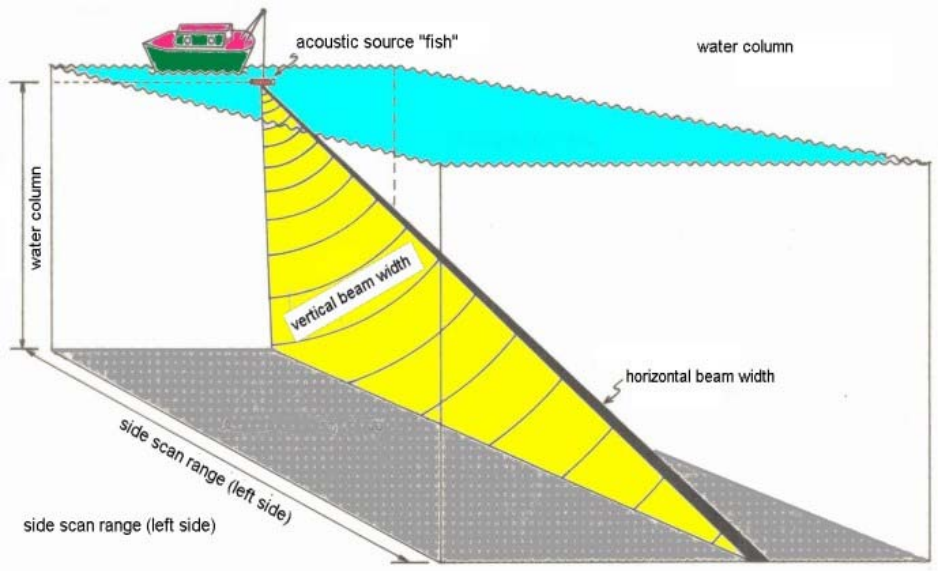
Components of an Echo Event at the Sea Floor



مبادئ سونار المسح الجانبي

سونار المسح الجانبي (Side-Scan Sonar) هو تقنية تستخدم لإنشاء صور تفصيلية لقاع البحر والأهداف الموجودة تحت الماء. ويعتمد على مبادئ انتشار الموجات الصوتية وانعكاسها واستقبالها لتوليد صور سونار عالية الدقة. تستخدم أنظمة السونار ذات المسح الجانبي مصفوفة محولات طاقة متخصصة (Specialized Transducer Array) تتكون من محولات طاقة متعددة (Multiple Transducers) مرتبة في خط أو في تكوين على شكل مروحة (Fan-Shaped Configuration). تقوم محولات الطاقة هذه بإصدار حزم ضيقة من الموجات الصوتية (Narrow Beams of Sound Waves) إلى جوانب نظام السونار. تبعث محولات الطاقة نبضات قصيرة (Short Pulses) من الموجات الصوتية إلى عمود الماء. عادة ما تكون النبضات في نطاق تردد يتراوح بين عشرات إلى مئات الكيلو هرتز. تنتقل الموجات الصوتية المنبعثة عبر الماء وتتفاعل مع قاع البحر والأهداف الموجودة تحت الماء. تم تصميم سونار المسح الجانبي للعمل في شكل هندسي جانبي (Side-Looking Geometry). يتم توجيه الموجات الصوتية بزاوية إلى قاع البحر وليس إلى الأسفل مباشرة. وتضمن هذه الزاوية أن تصل الموجات الصوتية إلى قاع البحر بزاوية مائلة، مما يسمح بتصوير أفضل لملامح قاع البحر. عندما تصطدم الموجات الصوتية المنبعثة بقاع البحر أو الأجسام الموجودة في الماء، فإنها تنعكس جزئياً مرة أخرى نحو نظام السونار.

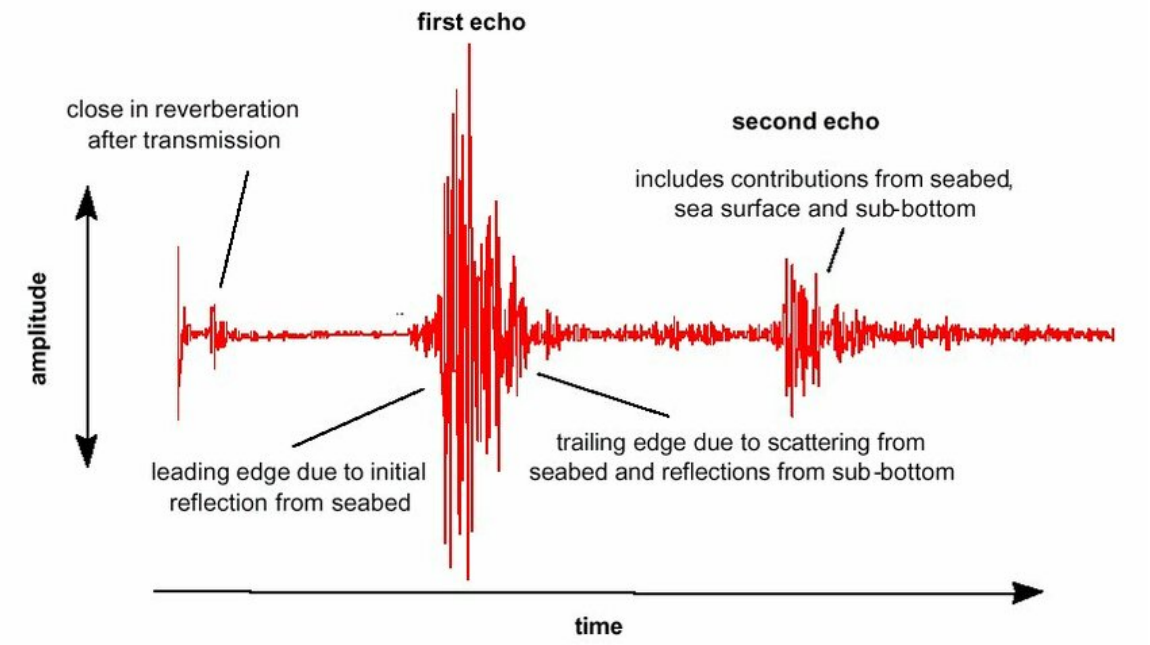
وتحمل الموجات الصوتية المنعكسة، والمعروفة أيضاً باسم الصدى (Echoes)، معلومات حول خصائص قاع البحر. نفس محولات الطاقة (Transducers) التي تنبعث منها موجات صوتية تعمل أيضاً كمستقبلات (Receivers). يستمعون إلى الأصداء العائدة من قاع البحر والأهداف الموجودة تحت الماء. يتم استقبال الأصداء كإشارات كهربائية (Electrical Signals) بواسطة محولات الطاقة. يقوم نظام السونار بالمسح الجانبي بقياس الوقت الذي تستغرقه الموجات الصوتية للانتقال من محولات الطاقة إلى قاع البحر والعودة. تُستخدم معلومات وقت الرحلة هذه لحساب المسافة بين نظام السونار والسطح أو الجسم العاكس. تتم معالجة الأصداء المستلمة وتحليلها لإنشاء صورة مفصلة لقاع البحر. تتضمن المعالجة تحويل قياسات وقت الرحلة إلى قياسات المسافة ودمجها مع الموقع والاتجاه المعروفين لنظام السونار. تمثل الصورة الناتجة شدة (Intensity) أو اتساع (Amplitude) الأصداء كدالة للموضع (Function of Position)، مما يؤدي إلى إنشاء تمثيل مرئي (Visual) لقاع البحر. توفر صورة السونار ذات المسح الجانبي معلومات حول تضاريس قاع البحر وأنواع الرواسب والهياكل تحت الماء ووجود كائنات مثل حطام السفن أو خطوط الأنابيب أو الحياة البحرية. يتضمن تفسير الصورة تحليل ملامح الصورة وأنماطها وظلالها لتحديد وتصنيف قاع البحر.



مخرجات مسبار الصدى

إن مخرجات مسبار الصدى النموذجي (Typical Echo Sounder Output)، والمعروفة أيضاً باسم مخطط صدى الصوت (Echogram) أو تتبع مسبار الصدى (Echosounder Trace)، هي تمثيل رسومي لعمق أو "سبر" قاع البحر (Depth or "Sounding" of the Seafloor) وعمود الماء (Water Column)، كما تم قياسه بواسطة نظام مسبار الصدى. فيما يلي المكونات والخصائص الرئيسية، المحور الرأسي (Vertical Axis)، يمثل العمق أو المسافة تحت سطح الماء. وعادة ما يتم عرضه بالأمتار. يمثل الجزء العلوي من الرسم البياني سطح الماء، بينما يمثل الجزء السفلي قاع البحر. المحور الأفقي (Horizontal Axis)، يمثل الوقت أو المسافة التي يقطعها نظام مسبار الصدى. ويمكن عرضه بالثواني أو الدقائق أو الأميال البحرية، اعتماداً على مقياس صدى الصوت وسرعة السفينة أو منصة المسح (Survey Platform). الأصداء (Echoes) أو السبر (Soundings)، يعرض مخطط صدى الصوت (Echogram) سلسلة من نقاط البيانات (Data Points) أو الأصداء (Echoes) التي تمثل قياسات العمق التي تم الحصول عليها. يتوافق كل صدى مع الوقت الذي تستغرقه الموجة الصوتية للانتقال من محول الطاقة إلى قاع البحر والعودة، ويتم تحويله إلى قياس العمق. شدة السبر (Sounding Intensity)، غالباً ما يتم تمثيل شدة (Intensity) أو اتساع الأصداء (Amplitude) من خلال اللون أو التظليل الرمادي في مخطط صدى الصوت. وتشير الأصداء الداكنة أو القوية إلى عودة ذات شدة أعلى (Stronger Reflection)، والتي يمكن أن ترتبط بانعكاس أقوى من قاع البحر أو الأجسام المغمورة. تتبع القاع (Bottom Trace)، يتوافق مع تغيرات عمق قاع البحر على طول مسار المسح (Along the Survey Track). ويظهر كخط متواصل أو سلسلة من النقاط المتقاربة التي تمثل شكل قاع البحر أو قياس الأعماق. يوفر شكل وتموجات تتبع القاع معلومات حول تضاريس قاع البحر، مثل التلال أو الوديان أو المنحدرات. أصداء عمود الماء (Water Column Echoes)، تعرض أجهزة صدى الصوت أصداء أي ملامح داخل عمود الماء، مثل الخطوط الحرارية

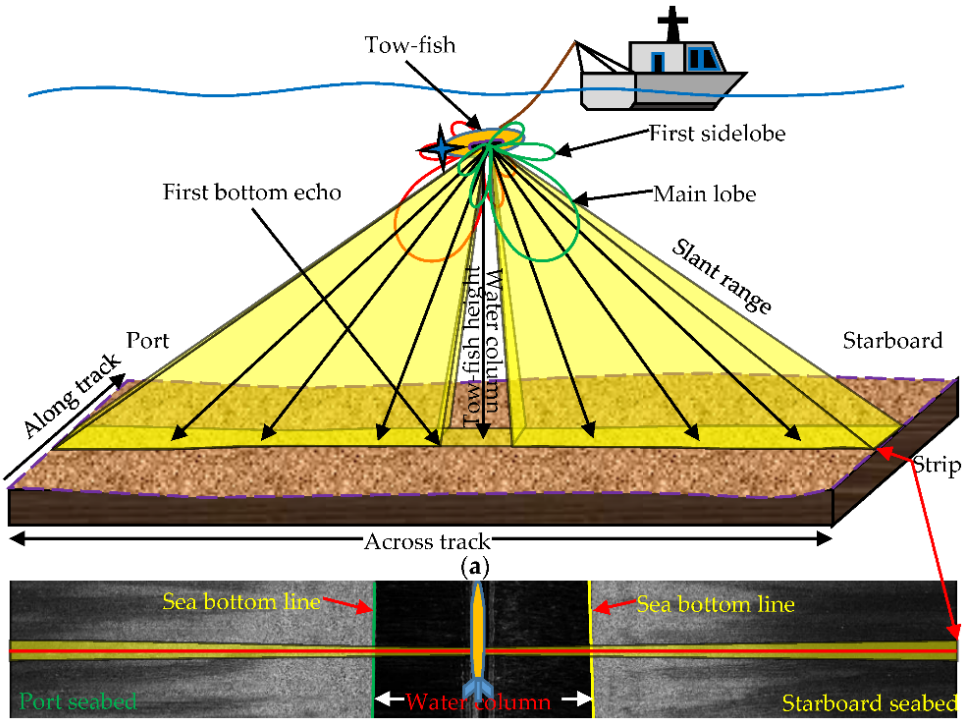
(Thermoclines) أو غيرها من المواد المعلقة. تظهر هذه الأصداء كنقاط (Discrete Points) أو مجموعات منفصلة (Clusters) فوق تتبع القاع، مما يشير إلى وجود اختلافات في خصائص الماء.



هندسة سونار المسح الجانبي

تشير هندسة سونار المسح الجانبي (Geometry of Side-Scan Sonar) إلى ترتيب واتجاه نظام السونار ومجموعة محولات الطاقة الخاصة به أثناء التشغيل. فهو يحدد منطقة التغطية (Coverage Area) والدقة (Resolution) وقدرات التصوير (Imaging Capabilities). فيما يلي الجوانب الرئيسية لهندسة سونار المسح الجانبي، التكوين الجانبي (Side-Looking Configuration)، تم تصميم سونار المسح الجانبي ليعمل في تكوين جانبي، حيث يتم توجيه مجموعة محول السونار أفقياً وتصدر موجات صوتية إلى جوانب نظام السونار. يسمح هذا بتصوير قاع البحر والأجسام الموجودة تحت الماء بشكل متعامد مع حركة اتجاه انتقال الموجة. مصفوفة محولات الطاقة (Transducer Array)، تتكون مصفوفة محولات الطاقة لنظام سونار المسح الجانبي من عدة محولات طاقة مرتبة في شكل خط أو على شكل مروحة. تبث محولات الطاقة حزماً ضيقة من الموجات الصوتية على جوانب نظام السونار، وتغطي رقعة محددة (Specific Swath) أو

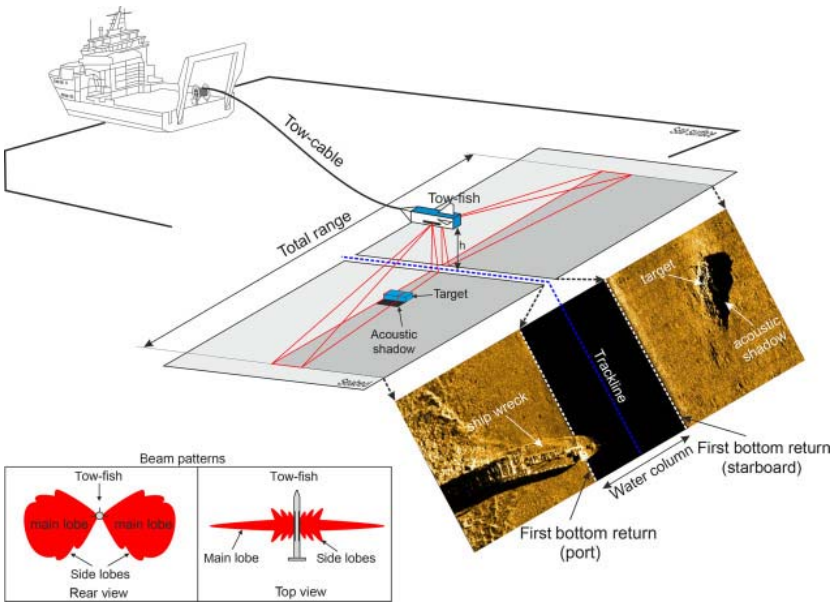
قطاعاً زاوياً (Angular Sector) من قاع البحر. تغطية الرقعة (Swath Coverage)، تشير تغطية الرقعة لنظام سونار المسح الجانبي إلى عرض منطقة قاع البحر التي تم تصويرها بواسطة مصفوفة محول الطاقة. يتم تحديده من خلال عدد محولات الطاقة، والتباعد (Spacing) بينها، وعرض شعاع الموجات الصوتية المنبعثة (Beam Width of the Emitted Sound Waves). تسمح التغطية الواسعة بتصوير مساحات أكبر من قاع البحر في مسار واحد (Single Pass). تغطية الزاوية (Angular Coverage)، تشير التغطية الزاوية لنظام سونار المسح الجانبي إلى مدى القطاع جنباً إلى جنب الذي تم تصويره بواسطة مصفوفة محول الطاقة. يتم تحديده من خلال عرض التكوين على شكل مروحة (Configuration width of the Fan-Shaped) أو قدرات التوجيه (Steering Capabilities) لمحولات الطاقة. تتيح التغطية الزاوية الأكبر تصوير منطقة أوسع على كل جانب من نظام السونار. الدقة (Resolution)، تشير دقة نظام السونار للمسح الجانبي إلى قدرته على تمييز التفاصيل الصغيرة أو الملامح الموجودة في قاع البحر. ويتأثر بعوامل مثل تردد الموجات الصوتية المنبعثة، وعرض شعاع محولات الطاقة، والمسافة بين نظام السونار وقاع البحر. تؤدي الترددات الأعلى وعرض الشعاع الأضيق بشكل عام إلى دقة أفضل. التداخل (Overlap)، لضمان التغطية الكاملة (Complete Coverage) وتقليل فجوات البيانات (Minimize Data Gaps)، غالباً ما تشتمل عمليات المسح الجانبي بالسونار على مساحات متداخلة (Overlapping Swaths) أو خطوط مسح متجاورة (Adjacent Survey Lines). يسمح التداخل بدمج صور متعددة معاً لإنشاء خريطة سلسة وشاملة (Seamless and Comprehensive Map) للمنطقة التي تم مسحها.



تأثير سرعة السفينة على التصوير بسونار المسح الجانبي

يمكن أن يكون لسرعة السفينة (Speed of Vessel) تأثيرات عديدة على التصوير بالسونار بالمسح الجانبي. وفيما يلي بعض الاعتبارات الرئيسية، عدم وضوح الصورة (Image Blurring)، عندما تتحرك السفينة بسرعة كبيرة جداً، يمكن أن يتسبب ذلك في عدم وضوح أو طمس صور سونار المسح الجانبي. وذلك لأن نظام السونار يحتاج إلى وقت كافٍ لإصدار نبضات صوتية واستقبال الأصداء وتكوين صورة دقيقة. إذا تحركت السفينة بسرعة، فقد لا يتوفر لنبضات السونار الوقت الكافي لتغطية المنطقة المطلوبة بفعالية، مما يؤدي إلى عدم وضوح الصور. تشويه الصورة (Image Distortion)، يمكن أن تؤدي سرعات الوعاء الأعلى إلى تشويه الصورة في سونار المسح الجانبي. عندما تتحرك السفينة بشكل أسرع، قد تواجه نبضات السونار اضطراباً أو اضطرابات في الماء، مما يتسبب في تدهور (Degradation) الإشارة الصوتية. يمكن أن يؤدي ذلك إلى صور غير متساوية (Uneven) أو مشوهة (Distorted)، مما يؤثر على وضوح بيانات السونار وقابلية تفسيرها. التظليل (Shadowing)، عندما تتحرك السفينة بسرعة كبيرة جداً، يمكن أن تخلق ظلالاً صوتية (Acoustic Shadows) في صور السونار التي يتم مسحها

جانبياً. تحدث هذه الظلال عندما يعيق جسم السفينة أو هيكلها نبضات السونار من الوصول إلى مناطق معينة من قاع البحر أو الأجسام الموجودة تحت الماء. ونتيجة لذلك، قد تظهر تلك المناطق أكثر قتامة (Darker) أو أقل تحديداً (Less Defined) في صور السونار. النطاق والدقة (Range and Resolution)، يمكن أن تؤثر سرعة السفينة على النطاق الفعال ودقة سونار المسح الجانبي. يمكن لسرعات السفينة الأعلى أن تحد من النطاق الذي يمكن لنظام السونار من خلاله اكتشاف الأجسام وتصويرها بدقة. بالإضافة إلى ذلك، قد تؤدي سرعات السفن العالية إلى تقليل دقة الصور، مما يزيد من صعوبة تمييز التفاصيل الدقيقة أو الأهداف الأصغر حجماً. منطقة التغطية (Coverage Area)، تؤثر سرعة السفينة على مساحة تغطية المسح الجانبي بالسونار. تسمح سرعات السفن الأعلى بتغطية مساحات أكبر في وقت أقصر، مما قد يكون مفيداً لمسح مناطق كبيرة. ومع ذلك، إذا كان المطلوب الحصول على تصوير تفصيلي (Detailed Imaging) أو دقة أعلى (Higher Resolution)، فقد تكون سرعات السفينة الأبطأ ضرورية لضمان الحصول على بيانات كافية وجودة أعلى. يتضمن تحسين سرعة السفينة لإجراء مسوحات سونار المسح الجانبي إيجاد توازن بين منطقة التغطية وجودة الصورة والأهداف المحددة للمسح. وينبغي أن تؤخذ في الاعتبار عوامل مثل ظروف المياه، عمق الهدف، ودقة الصورة المطلوبة لتحديد سرعة السفينة المناسبة التي تقلل من تدهور الصورة وتعظيم جودة البيانات.



أنواع سونار المسح الجانبي

هناك أنواع مختلفة من أنظمة سونار المسح الجانبي (Types of Side Scan Sonar)، ولكل منها خصائصه وتطبيقاته الخاصة. فيما يلي بعض الأنواع الشائعة، سونار المسح الجانبي أحادي التردد (Single-Frequency Side Scan Sonar)، يعمل هذا النوع من نظام سونار المسح الجانبي بتردد واحد (Single Frequency)، عادةً في نطاق ١٠٠–٥٠٠ كيلو هرتز. يوفر توازناً جيداً بين الدقة (Resolution) والنطاق (Range). تُستخدم الأنظمة أحادية التردد بشكل شائع في التصوير للأغراض العامة (General-Purpose Imaging) والمسوحات تحت الماء (Underwater Surveys) وعمليات البحث والاسترداد (Search and Recovery Operations).

Shark-S450S Single Frequency Side Scan Sonar

سونار المسح الجانبي ثنائي التردد (Dual-Frequency Side Scan Sonar)، تعمل أنظمة سونار المسح الجانبي ثنائي التردد بترددين مختلفين في وقت واحد (Two Different Frequencies Simultaneously)، عادةً ما يكون تردد أعلى (على سبيل المثال، ٤٠٠–٩٠٠ كيلو هرتز) للتصوير عالي الدقة وتردد أقل (على سبيل المثال، ٥٠–٢٠٠ كيلو هرتز) لتغطية مدى أطول. تسمح قدرة التردد المزدوج بتصوير محسّن (Enhanced Imaging) لكل من التفاصيل الصغيرة والمناطق الأكبر، مما يجعلها مناسبة لمجموعة واسعة من التطبيقات، بما في ذلك الآثار البحرية (Marine Archaeology) والمسوحات الجيوفيزيائية (Geophysical Surveys) وعمليات

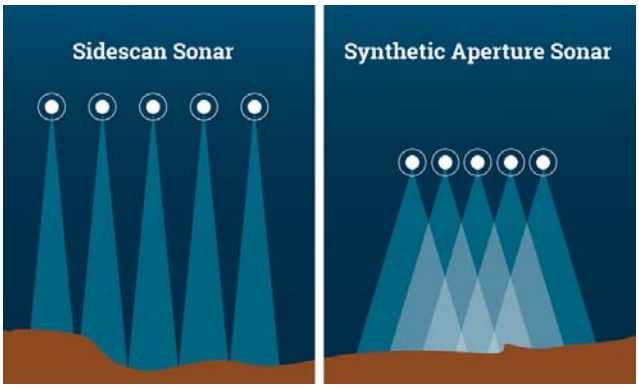
الاستطلاع تحت الماء (Underwater Inspections).

Analog Dual Frequency Side Scan Sonar

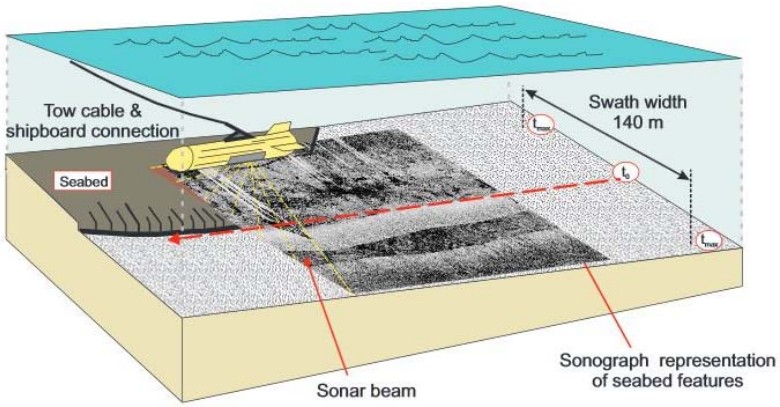
سونار المسح الجانبي متعدد الحزم (Multibeam Side Scan Sonar)، تستخدم أنظمة سونار المسح الجانبي متعدد الحزم مجموعة من محولات طاقة السونار لتوليد حزم متعددة في وقت واحد. يتيح ذلك تغطية أسرع وتصويراً عالي الدقة مقارنةً بأنظمة التردد الفردي أو المزدوج. يُستخدم سونار المسح الجانبي متعدد الحزم بشكل شائع لرسم خرائط تفصيلية لقاع البحر (Detailed Seabed Mapping)، وعمليات فحص البنية التحتية تحت الماء (Underwater Infrastructure Inspections)، وتقييم المواطن البحرية (Habitat Assessments).

Shark-S455M Multi-beam Side Scan Sonar

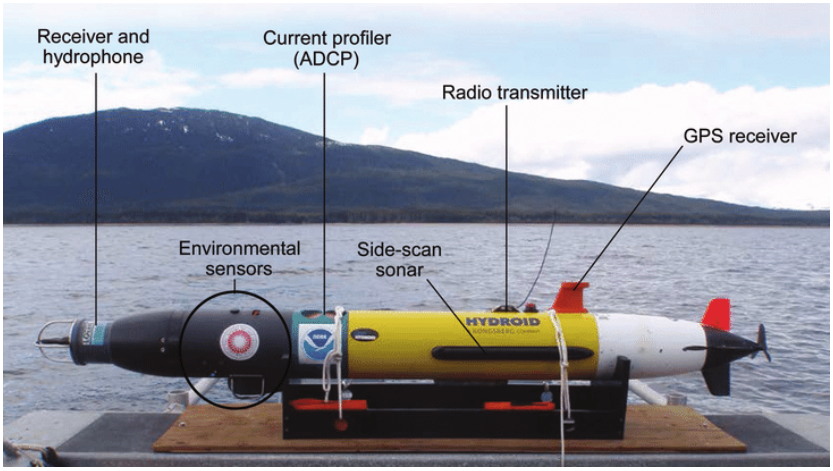
سونار التجويف الاصطناعي (Synthetic Aperture Sonar SAS)، هو تقنية متقدمة تعمل على تجميع تجويف افتراضي كبير (Large Virtual Aperture) من خلال الجمع بين أصوات السونار المتعددة الواردة من مواقع مختلفة لنظام السونار. وينتج عن ذلك صور عالية الدقة مع تحسين نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Improved Signal-to-Noise Ratio) والتمييز المعزز لملامح قاع البحر الصغيرة (Small Seabed Features).



سونار المسح الجانبي المقطور (Towed Side Scan Sonar)، تم تصميم أنظمة سونار المسح الجانبي المقطور بحيث يتم سحبها خلف السفينة. يتم تركيبها عادةً على شِباك أو جسم مقطور ويتم سحبها عبر الماء بسرعة يمكن التحكم فيها. توفر الأنظمة المقطورة تصويراً مستمراً (Continuous Imaging) لمساحات كبيرة، وتُستخدم بشكل شائع في المسوحات الهيدروغرافية (Hydrographic Surveys) وفحص خطوط الأنابيب (Pipeline Inspections) وعمليات البحث تحت الماء (Underwater Search Operations).



سونار المسح الجانبي للمركبة المستقلة تحت الماء (Autonomous Underwater Vehicle AUV)، توفر قدرات تصوير مستقلة ودقيقة تحت الماء وتُستخدم بشكل شائع في البحث العلمي (Scientific Research) ورسم الخرائط تحت الماء (Underwater Mapping) والمراقبة البيئية (Environmental Monitoring) والآثار تحت الماء (Underwater Archaeology).



يعتمد اختيار نظام سونار المسح الجانبي على المتطلبات المحددة للتطبيق، بما في ذلك الدقة المطلوبة (Desired Resolution) والمدى (Range) وسرعة التصوير (Imaging Speed) والظروف البيئية (Environmental Conditions). كل نوع من أنواع سونار المسح الجانبي له مزاياه وقيوده، ويجب أن يعتمد الاختيار على الاحتياجات المحددة لمهمة التصوير المطروحة.

قيود سونار المسح الجانبي

سونار المسح الجانبي، مثل أي تقنية تصوير، له حدود معينة. فيما يلي بعض القيود (Limitations) الشائعة المرتبطة به، النطاق والتغطية (Range and Coverage)، يتمتع سونار المسح الجانبي بنطاق محدود (Limited Range)، والذي يشير إلى الحد الأقصى للمسافة التي يمكنه من خلالها اكتشاف الأهداف (Objects) وتصويرها بشكل فعال. يعتمد النطاق على عوامل مثل تردد (Frequency) نظام السونار، وتصميم محول الطاقة (Transducer Design)، وظروف المياه (Water Conditions). في المياه العميقة أو الظروف البيئية المعاكسة، قد ينخفض

(Reduced) النطاق. بالإضافة إلى ذلك، عادةً ما تكون تغطية سونار المسح الجانبي محدودة (Narrow)، وقد تتطلب المناطق الكبيرة وقتاً طويلاً للمسح. الدقة (Resolution)، تشير دقة سونار المسح الجانبي إلى قدرته على التمييز بين الأهداف (Objects) أو الملامح (Features) المتقاربة. تتأثر الدقة بعوامل مثل تردد (Frequency) نظام السونار وعرض الشعاع (Beam Width) وتقنيات معالجة الإشارات (Signal Processing Techniques). توفر الترددات الأعلى عموماً دقة أفضل ولكنها تتمتع بقدرات نطاق أقصر (Shorter-Range). قد يكون تحقيق دقة عالية عبر أعماق مختلفة وظروف قاع البحر أمراً صعباً. التظليل والظلال الصوتية (Shadowing and Acoustic Shadows)، يمكن لسونار المسح الجانبي تجربة تأثيرات التظليل عند تصوير الأهداف أو الملامح الموجودة خلف العوائق. يمكن لهذه العوائق أن تعيق نبضات السونار، مما يؤدي إلى ظهور مناطق داكنة (Dark) أو محجوبة (Obscured) في صور سونار المسح الجانبي. يمكن أن تحدث الظلال الصوتية عندما يتم حجب الموجات الصوتية أو تخفيفها بواسطة الأهداف أو الهياكل أو قاع البحر نفسه، مما يؤدي إلى تصوير غير كامل (Incomplete) أو مشوه (Distorted) للمنطقة المحيطة. تحديات التفسير (Interpretation Challenges)، يتطلب تفسير (Interpreting) صور سونار المسح الجانبي الخبرة والتجربة. يمكن أن يكون تحديد طبيعة وحجم واتجاه الأهداف أو الملامح الموجودة في الصور أمراً ذاتياً وقد يتطلب بيانات إضافية أو أدلة مؤيدة للتفسير الدقيق (Accurate Interpretation). يمكن لعوامل مثل خلل الصورة (Image Artifacts) والتداخل الصوتي (Acoustic Interference) وتقنيات معالجة الصور (Image Processing Techniques) أن تؤثر أيضاً على دقة التفسير (Interpretation Accuracy). الاختراق المحدود (Limited Penetration)، تم تصميم سونار المسح الجانبي في المقام الأول لتصوير قاع البحر أو الأجسام القريبة من قاع البحر. لديه قدرات اختراق محدودة (Limited Penetration Capabilities)، وخاصة في الرواسب الناعمة أو البيئات المعقدة. قد تضعف (Attenuate) إشارات السونار أو تتشتت (Scatter) بشكل كبير عند مواجهة مواد كثيفة

(Dense) أو خشنة (Rough)، مما يجعل من الصعب الحصول على صور واضحة للأجسام المدفونة تحت قاع البحر أو المخفية داخل الهياكل المعقدة. التداخل البيئي (Environmental Interference)، يمكن أن تتأثر إشارات سونار المسح الجانبي بالعوامل البيئية مثل التيارات المائية (Water Currents)، والاضطرابات (Turbulence)، وتغيرات الملوحة (Salinity Variations)، والجسيمات العالقة (Suspended Particles). يمكن أن تتسبب هذه التداخلات البيئية في تشويش الإشارة وتدهور جودة الصورة وتقليل نطاق التصوير. يتطلب تقليل تأثير العوامل البيئية على التصوير بالسونار بالمسح الجانبي تخطيطاً دقيقاً للمسح وتقنيات معالجة البيانات. يعد فهم هذه القيود أمراً ضرورياً للاستخدام الفعال وتفسير بيانات سونار المسح الجانبي. ومن خلال النظر في هذه العوامل واستخدام المنهجيات المناسبة وتقنيات المسح التكميلية، من الممكن تخفيف القيود والحصول على نتائج تصوير دقيقة وموثوقة تحت الماء.

أجهزة قياس المغناطيسية البحرية

أجهزة قياس المغناطيسية البحرية (Marine Magnetometers) تستخدم لقياس قوة المجال المغناطيسي واتجاهه (Measure the Magnetic Field Strength and Direction) في البيئات البحرية. وهي مصممة خصيصاً للعمل في المياه، سواء كانت مناطق ساحلية ضحلة أو مياه محيطية عميقة. وتعد هذه الأدوات أدوات مهمة في مختلف التطبيقات البحرية، بما في ذلك الجيوفيزياء والجيولوجيا والآثار والاستكشاف البحري. يعتمد المفهوم الكامن وراء أجهزة قياس المغناطيسية البحرية على مبدأ اكتشاف وقياس المجال المغناطيسي للأرض (Detecting and Measuring the Earth's Magnetic Field). تمتلك الأرض مجالاً مغناطيسياً يتولد عن حركة الحديد المنصهر في قلبها الخارجي. ويمتد هذا المجال المغناطيسي إلى الفضاء ويتفاعل مع المجالات المغناطيسية الأخرى، بما في ذلك تلك التي تولدها الصخور والمعادن الموجودة في القشرة الأرضية. تتكون أجهزة قياس المغناطيسية البحرية من جهاز استشعار (Sensor) أو مجموعة من أجهزة الاستشعار الحساسة (Set of Sensors) للتغيرات في المجال المغناطيسي. النوع الأكثر

شيوعاً من أجهزة الاستشعار المستخدمة في أجهزة قياس المغناطيسية البحرية هو مقياس التدفق المغناطيسي (Fluxgate Magnetometer) الذي يعمل باستخدام نواة مغناطيسية (Ferromagnetic Core) تخضع لمجال مغناطيسي متناوب (Alternating Magnetic Field). تتغير الخصائص المغناطيسية للنواة استجابة للمجال المغناطيسي الخارجي الذي يتم قياسه، ويتم اكتشاف هذا التغيير وتحويله إلى إشارة كهربائية. عادةً ما يتم تركيب المستشعر أو المستشعرات على شِباك (Towfish)، وهو جهاز يتم سحبه خلف السفينة عبر الماء تحتوي الإلكترونيات اللازمة لمعالجة وتسجيل قياسات المجال المغناطيسي. عادةً ما يتم تخزين البيانات التي يجمعها مقياس المغناطيسية على متن السفينة ويمكن نقلها في الوقت الفعلي إلى السفينة أو استرجاعها لاحقاً لتحليلها. تستخدم مقاييس المغناطيسية البحرية لمجموعة متنوعة من الأغراض. في الجيوفيزياء البحرية، يتم استخدامها لرسم خريطة للخصائص المغناطيسية (Magnetic Properties) لقاع البحر، والتي يمكن أن توفر معلومات قيمة حول التراكيب الجيولوجية (Geological Structure) ومكونات صخور الأساس (Composition of the Underlying Rocks). كما أنها تستخدم في الدراسات الأثرية (Archaeological Studies) لتحديد الأهداف المغمور بالمياه ورسم خرائط لها. في الاستكشاف البحري، تُستخدم مقاييس المغناطيسية للكشف عن الرواسب المعدنية تحت الماء (Underwater Mineral Deposits) أو الفوهات الحرارية المائية (Hydrothermal Vents) أو المناطق التي يحتمل أن تحتوي على احتياطيات من النفط والغاز (Potential for Oil and Gas Reserves) ورسم خرائط لها. ويمكن استخدامها أيضاً في تطبيقات الملاحة (Navigation) والمسح (Surveying).