انتشار الموجات الصوتية تحت الماء

الجـــزء الثـــالث

د. أحمد عبد العال محمد
رئيس الإدارة المركزية
لبحوث الأرصاد والمناخ

عزيـزي القـارئ استكمالا للمقـالات السـابقة في موضـوع انتشـار الموجـات الصوتيـة تحـت المـاء حيث تكلمنا عن طبيعة هذه الموجات وكذلك عرفنا منطقة الظـل وعمق الطبقة الصوتية وتأثر الأمواج البحرية على عمق هذه الطبقة ونسـتكمل معـا من خلال هذا العدد ضعف انتشار الموجات الصوتية تحت الماء.

ضعف انتشار الموجات الصوتية تحت الماء

عام :

يقل الضغط المصـاحب للموجات الصوتية أثناء انتشـارها في البحار، ويسـمى النقص في الضـغط بفقـد الانتشـار Spreading Loss (وعـادة يطلـق عليـه فقد الارسـال Transmission Loss). ويعتمـد فقـد الانتشار الصوتي في الماء على العوامل الآتية:-

١- فقد الامتصاص

Absorption Loss

نتيجة لانتشـار الموجات الصـوتية في الماء تنتج عمليات تضاغط وتخلخل متعاقبة لماء البحر ونتيجة لهذه العمليات يتحول جزء من الطاقة الصوتية إلى حرارة وبالتالي تقل الطاقة الصوتية وذلك نتيجة فقد الامتصاص.

٢- فقد التشتت

Scattering Loss

تتسـبب المواد العالقة (الهـوام البحرية - الأسـماك - الفقاعات - نقيطـات الزيت) في تشتت الطاقة الصوتية في اتجاهات أخرى غير الاتجاه الرئيسـي لحركة الموجات الصـوتية ويتسـبب هذا في تقليل مستوى ضغط الطاقة الصـوتية في مقدمة الموجة الصـوتية، وفقد التشـتت النـاتج مـن العوالق العاكسـة في الوسط يطلق عليها تشتت حجمي Volume Scattering بينما يطلق على فقد التشـتت الناتج عن انعكاسـات السـطح تشـتت حدي Boundary Scattering .

٣- فقد التوّهين
Attenuation Loss

يطلق على الانخفاض في مستوى الضغط الصوتي الناتج من فقد الامتصاص والناتج من فقد التشتت ويعبر عن فقد التوهين بمعامل التوهين Attenuation Loss ووحدته(ديسبل / كيلو ياردة - dB/KY) ولذلك يحدد إجمالي فقد التوهين لأي مسار صوتي بالمعادلة : فقد التوهين = المسافة X معامل التوهين.

٤- فقد القاع
Bottom Loss

يحدث فقد في الطاقة الصوتية نتيجة الانعكاس الناتج من ملامسة قاع البحر ولذلك فإن جزء من الطاقة المواجهة للموجة الصوتية سوف تخترق القاع وتنتشر خلاله، يجوز أن يتسبب هذا الفقد في منع بعض من هذه الطاقة من العودة إلى عامود الماء. وبالتالي فإن الطاقة المنعكسة المصاحبة للموجة الصوتية الأساسية سوف تقل وبالتالي فإن مستوى ضغط الصوت في الموجة الصوتية سيقل، وقيمة هذا الفقد يتراوح بين ٢ إلى أكثر من ٣٠ ديسبل لكل صدمة بالقاع dB/bounce كما يميل فقد القاع عامة

لزيادة التردد ومع زيادة زاوية السقوط للشعاع الصوتي Grazing angle.

إن نوع القاع يتحكم في كمية الفقد في الطاقة الصوتية فالقاع الرخو كالطين ينتج عنه فقد طاقة كبيرة (١٠ - ٢٠) ديسبل لكل صدمة بالقاع والقاع الصلب مثل الحجر الأملس والرمل يحدث عنه عادة فقد أقل.

٥- فقد السطح
Surface Loss

يحدث فقد في الطاقة الصوتية بالانعكاس أو التشتيت نتيجة ملامستها مع سطح البحر، ويزداد فقد السطح طبقا لحالة البحر وأيضا التردد.

٦- فقد الحيود
Diffraction Loss

يحدث الحيود عند حركة الموجة الصوتية خلف عائق وبالتالي يحدث cut off لجزء من واجهة الموجة المتقدمة. ويحدث هذا العائق من التدرج في مناطق الظل ومن الطبقة السطحية والمثال على فقد الحيود هو التسريب في الطاقة الصوتية الناتج من حركة الموجة الصوتية بعد الطبقة السطحية ومناطق الظل.

٧- التداخل الناتج عن تعدد مسارات الأشعة الصوتية
Multipath Interference

يتسبب التداخل الناتج عن تعدد مسارات الأشعة الصوتية من وجود طاقة تتسبب في اضمحلال انتشار الطاقة الصوتية بينما لاتضمحل هذه الطاقة عند مسارات منفردة. وعلى سبيل المثال عندما تنتشر عدة مسارات فإننا نلاحظ تقلب شدة الطاقة الصوتية.

٨- فقد الانتشار
Spreading Loss

يمثل فقد الانتشار بالتمثيل الهندسي للضعف المنتظم للإشارة الصوتية أثناء

انتشارهاعند خروجها من المصدر. فتقل شدة الموجة الصوتية مع عكس مربع المسافة من المصدر، أي تتناسب نسبة الانخفاض من شدة الموجات الصوتية تناسبا طرديا مع الزيادة في مساحة السطح للكرة ويتم حساب السطح الكروي (A) بالمعادلة التالية :-

$$A = 4\pi \quad r^2$$

حيث r = مدى السونار.

وتحت الظروف والمتغيرات البيئية يحدث فقد انتشار كروي أو اسطواني بينما يحدث فقد دوبلر عند تواجد حدود قوية للطبقة السطحية Surface duct.

٩- الفقد الكروي
Spherical Spreading

يتم تحديد الفقد الكروي بقانون الانتشار التربيعي العكسي، ولكي نوضح هذا القانون فإننا نفترض أن مصدر الصوت يشع طاقة ثابتة الكمية (بالوات على سبيل المثال) في وسط دائري محيط بالمصدر. وبالتالي فإن الطاقة تنتقل بعيدا عن المصدر في شكل دائري. وبالتالي فإن شدة الطاقة الصوتية (وات / متر٢) سوف تقل كلما بعدنا من مصدر الصوت وتتناسب تلك القلة في شدة الطاقة الصوتية مع المسافة من مصدر الصوت. وكما ذكرنا من قبل فإن مساحة السطح يتم حسابه بالمعادلة $A= 4x^2$ حيث يتناسب الانخفاض في شدة الطاقة مع مربع نصف القطر. حيث يمثل نصف قطر مساحة الكرة المسافة من مصدر الصوت

ويتم حساب الفقد الكروي بالديسبل (dB) حيث يتم حساب الفقد بالديسبل وآخر نتيجة لانتشار مسافة مقدارها ياردة واحدة من المصدر إلى النقطة التي يضع عليها المستقبل بالمعادلة الآتية:

فقد الانتشار الدائري بالديسبل

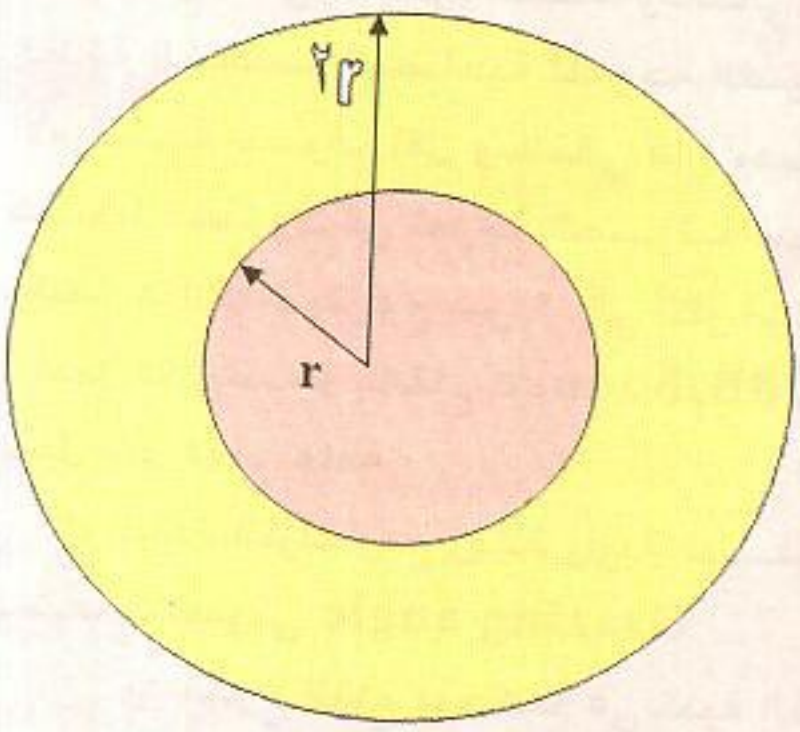
Spherical Spreading Loss (dB)

$$=10 \log R^2 = 20 \log R$$

حيث R = المسافة بين مصدر الصوت والمستقبل.

يحدث الانتشار الدائري عندما لايؤثر الانكسار أو الانعكاس على مسارات الأشعة الصوتية ويوضح الشكل(١) الانتشار الدائري.

وعند حدوث انكسار للشعاع الصوتي فإن الفقد الناتج عن الانتشار الدائري إما أن يزيد أو يقل عن القيمة التي يتم تحديدها بقانون



(شكل ١)
فقد الانتشار الكروي (الفقد = 20 log R)

الانتشار الدائري. تقل شـــدة الصوت مع مربع المسافة أو ديسبل على مضاعفة المسافة

فقد الانتشار الاسطواني

Cylindrical Spreading Loss

عندما يكون مسار الانتشار محدود بحدود علوية وسفلية لايحدث انتشار دائري للشعاع الصوتي وذلك لأن الصوت لم يستطع عبور تلك الحدود. ومن الأمثلة التي تحد انتشـــار الصوت هو الانتشـــار في الطبقة الســـطحية أو القناة الصـــوتية وبالتالي فلن يحدث انتشـــار دائري ويحدث حينئذ انتشـــار اسطواني. ففي الانتشار الاسطواني الموضـــح في شكل (٢) فإن مواجهة الموجة الصـــوتية تتمدد في شكل اسطواني. أي أن الصوت المنتشر نتيجة للانكسارات المتكررة بين سطح الماء وقاع البحر في المياه الضحلة أو بين حدود القناة الصـــوتية فإنه يعرضـــها لفقد انتشـــار منخفض يطلق عليه الانتشـــار الاسطواني، فتنتشر جبهة الموجة الصوتية في الانتشـــار الاسطواني على شـــكل اسطوانة ذات ارتفاع ثابت محدد بارتفاع الطبقة السطحية أو بعمق المياه الضحلة أو بحدود القناة الصوتية. فإن الانتشـــار الاســـطواني يســـاوي نصف فقد الانتشار الكروي بالديسبل على نفس المسافة، ويتم تحديد قيمة فقد الانتشـــار الاسطواني من المعادلة الآتية :-

فقد الانتشار الاسطواني بالديسبل =

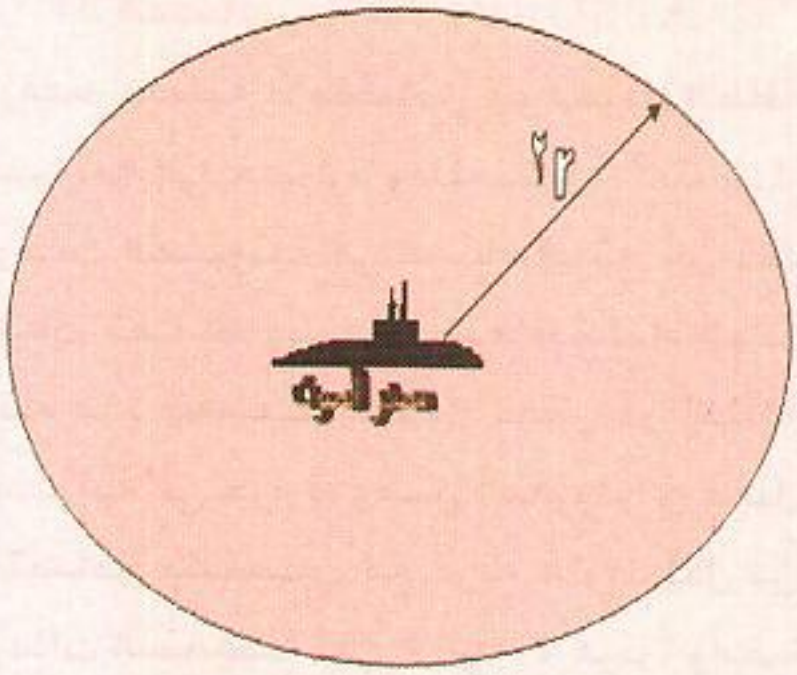
Cylindrical spreading Loss (dB) = 10 log R

وتقل شـــدة الصوت مع نصف مضاعفة المسافة أو ٣ ديسبل مع مضاعفة المسافة

3 (dB) per distance dulled

10 log R – 10 log2 R = 10 log R/2R حيث

Log ½ = -3dB = الفقد الأسطوانى



شكل (2) فقد الانتشار الاسطواني

فقد الانتشار دوبلر (الثنائي)

Doppler Spreading

يعتـــبر فقـــد الانتشـــار (الثنائـــي) دوبلـــر أكبر مـــن الانتشـــار الدائـــري أو الاســـطواني. يجـــوز أن يحـــدث انتشـــار دوبلر لمســـافات صـــغيرة في عمق الطبقة الصـــوتية Sonic Layer Depth وبأكبر سرعـــة صـــوت SSP. ونتيجـــة لانكســـار الأشـــعة الصـــوتية فإن الطاقة الصـــوتية أعلى وأســـفل عمق الطبقة الصوتية SLD ســـوف تنحني في اتجاه أقل سرعة صوت. ونتيجة لتأثير فقد الانتشـــار الثنائي بشدة الصـــوت ســـوف تقل بمقدار (جـــا) بزيادة المـــدى r ويتم تحديد فقد الانتشـــار الثنائي مـــن المعادلـــة الآتيـــة:-

بالديسمبل

Doppler Spreading Loss (dB) = 10 log R4 = 40 log r .

الأمتصاص ABSORPTION

يُقصد بعملية الامتصاص هو تحويل الطاقة الصوتية إلى حرارة وذلك نتيجة لانتشار الموجات الصوتية في الماء فينتج عن ذلك عمليات تضاغط وتخلخل متعاقبة لماء البحر وأثناء هذه العملية تتحول بعض من الطاقة الصوتية إلى حرارة، ومن المعروف أن معدل الامتصاص يتناسب مع مربع التردد لكل من الترددات المنخفضة (من ٥ إلى ٤٠ هرتز) وأيضا الترددات العالية (أكبر من ١٠٠٠ هرتز)، ويؤكد ذلك قياسات فقد الامتصاص في المحيط، ويعتمد فقد الامتصاص نظريا على درجة حرارة الماء أيضا، فعند زيادة درجة حرارة ماء البحر فإن فقد الطاقة الصوتية بالامتصاص يقل، أي يوجد تناسب عكسي بين درجة حرارة ماء البحر وفقد الامتصاص، أما عند الترددات المتوسطة فإن الامتصاص يتغير بطريقة معقدة مع كل من التردد والحرارة (يريك ١٩٦٧).

ويتم الحصول على قيمة الفقد الناتج عن الامتصاص الكلي في الترددات المنخفضة لأي مسار صوتي (يتم الحصول عليه بضرب المدى في معامل الامتصاص) ويعتمد منحنى ثورب Thorp's curve على البيانات التجريبية وتم اصدارها للترددات من ٠,١ إلى ١٠ هرتز وعند درجة حرارة ماء البحر حوالي ٤ درجة مئوية (٣٩ درجة فهرنهيت).

ضوضاء التردد

Scattering (Reverberation)

من الخصائص الطبيعية للوسط المحيط هو حصر وإعادة إشعاع الطاقة الصوتية الساقطة ويسمى إعادة الإرسال للطاقة وماتحتويه من الانعكاسات للطاقة الصوتية بالتشتيت وبالتالي تقل شدتها ويحدث التشتت بعدة طرق. ويؤثر على التشتت المواد الموجودة في الماء مثل الهوام البحرية، جزيئات الزيت العالقة في الماء، فقاقيع الهواء والأسماك أو من الانعكاسات من غير مفهوم ويعتبر التشتت الناتج من الانعكاسات صعب القياس. ولكن الفقد الناتج من التشتت بسبب الانعكاسات من سطح البحر يمكن قياسه مباشرة بمقارنة البيانات المقاسة في حالات سطح البحر المختلفة. وأيضا الفقد في الطاقة بالتشتت الناتج من انعكاسات قاع البحر عادة لاتعتبر قيمة محددة ولكن يتم حسابها كجزء من فقد الانعكاس القاعي الكلي الذي سيتم ذكره في الجزء (ج) والخاص بالترديد القاعي Bottom Reverberation .

إن الطاقة المشتتة من أجهزة السونار والمرتدة إلى مصدر الصوت (مستقبل جهاز السونار) تسمي بالترديد Reverberation حيث تمثل جزء هام في تشغيل أجهزة السونار، ولايعتبر التشتت ذو أهمية في الترددات المنخفضة ولايتم حسابه في فقد الانتشار عند الترددات المنخفضة وضوضاء التردد

Reverberation

تنتج عند تشغيل جهاز السونار إيجابي بالبحر ويرسل إشارات غير مطلوبة مثل ارتدادات ضوضاء الخلفية لأجهزة السونار

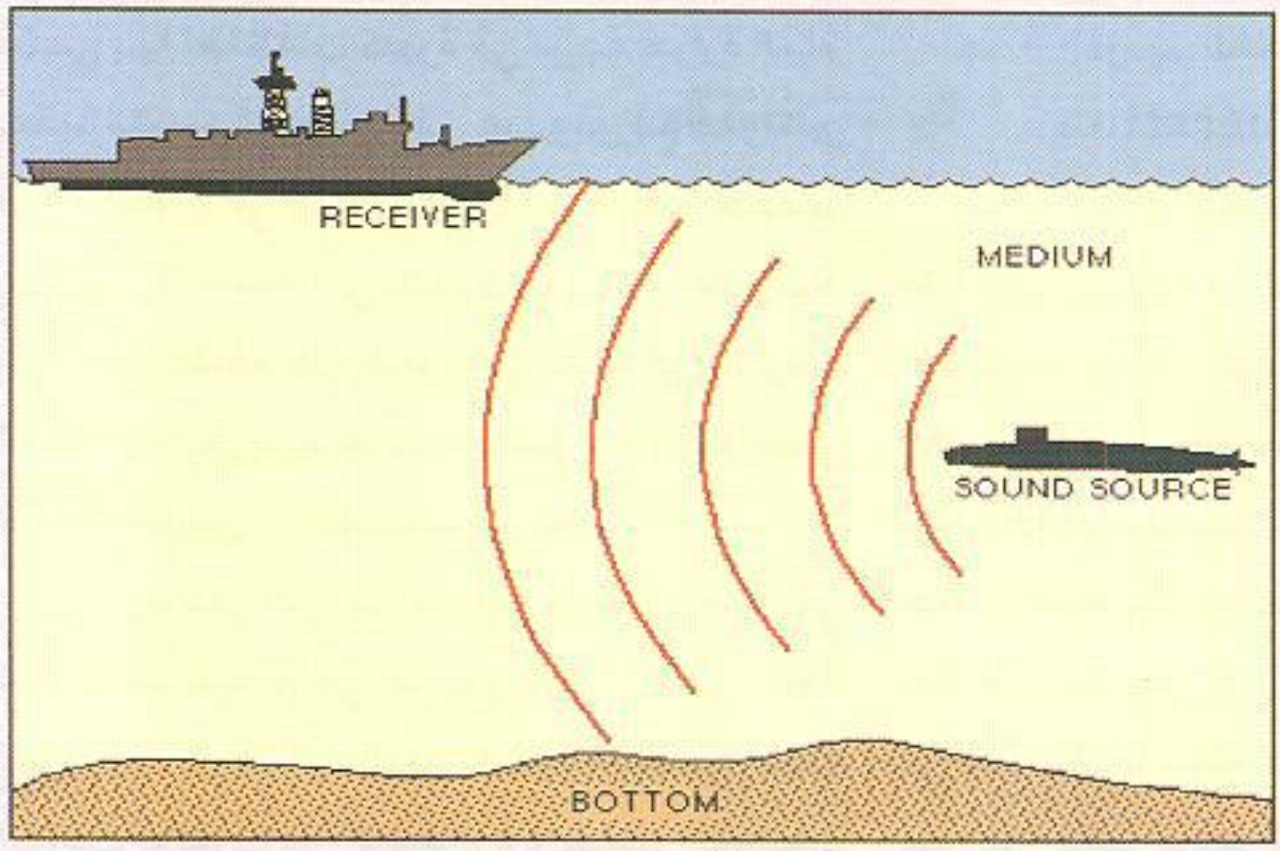
Background Reverberation

يطلق عليها ضوضاء الترديد وهي تحدد غالبا أقل مستوى اكتشاف لصدى الأهداف خاصة على المسافات الصغيرة، ويحدث الترديد من طاقة مشتتة مرتدة إلى المستقبل من أي صدى غير مستقر أو شئ (وليس من الهدف) وتحدد شدة التردد بواسطة خصائص البحر ومواصفات جهاز السونار وبالتالي لايمكن تقليلها إلا أنه يمكن تقليل تأثيرها بعض الشئ. ويوجد ثلاثة أنواع من ضوضاء الترديد وهي :

أ – الترديد السطحي

Surface Reverberation :

ينتج الترديد السطحي من تأثير سطح البحر المضطرب بسبب انعكاسات غير منتظمة من سطح البحر ويوضح شكل (٣) الترديد السطحي، ويمثل الترديد السطحي عامل هام في الاكتشاف بأجهزة السونار الإيجابي. ففي المدى القصير فإن التشتت السطحي يزيد عند زيادة سرعة الرياح، فبزيادة سرعة الرياح تزداد فقاقيع



شكل (٣) الترديد السطحي

الهواء بالقرب من سطح البحر مما يتسبب في زيادة الترديد السطحي، يتغير الترديد السطحي على مدى يزيد عن ١٥٠٠ ياردة (١٣٧١ متر) أقل في المستوى من الترديد الحجمي أو القاعي.

أن الترديد السطحي مشابه لضوضاء البحر Sea Clutter الذي يظهر على شاشة الرادار، وأظهرت القياسات أن الترديد السطحي يتأثر مباشرة بسرعة الريح على سطح البحر وبزاوية سقوط شعاع جهاز السونار على سطح البحر، إن سرعة الرياح وحالة البحر وارتفاع الأمواج هي العوامل الرئيسية على الترديد السطحي.

ب– الترديد الحجمي

Volume Reverberation :

الترديد الحجمي ويحدث من عواكس متعددة بالبحر مثل الأسماك والأحياء المائية والأجسام المعلقة وفقاعات الهواء. وأيضا المياه

التـــي بها اختلافات كبيرة في درجة حرارة الماء.
يعتمد الترديد الحجمي على عدد وتوزيع العواكس التي تتسبب في التشـــتيت وأيضا على حجمها وشكلها وفاعليتها في تشتيت الموجات الصوتية. وإذا كانت كثافة هذه العواكس ثابتة فإن الترديد الحجمي سيقل بالتناسب العكسي مع مربع المدى (كل ٢٠ ديسبل ١٠ أضعاف في المدى).

ويعتبر الترديد الحجمي أيضـــاً دالة في التردد تســـتخدم في صـــدى المدى وهي عامة تـــزداد خلال فـــترة الليل عندما تصـــبح طبقة التشتت بالقرب من السطح. ولا ينتشر التشتيت الحجمي بانتظام في العمـــق، ولكنه يميل إلى التركيز في طبقة التشتت العميقة

(D S L) Llayer deep Scattering

يصـــل سمك طبقة التشتيت العميقة من ٥٠ إلى ١٥٠ متر وتتواجد على عمق ١٠٠ إلى ٤٠٠ قامة في الميـــاه الدافئة (في المناطق المدارية) يجوز أن تتحـــرك تلـــك الطبقة حركة رأســـية يومية ويجوز تواجد أكثر من طبقة تشـــتيت في موقع واحد ٠ ويجوز أن تتأثر هذه الطبقة بالموجات الداخلية (ســـيتم شرحه في المقالات القادمة) وأيضـــا بالميل الحراري والتيـــارات البحرية، ولطبقة التشـــتيت العميقة خصائص مختلفة طبقاً لاختلاف الكتل المائية.

تعتبر شدة التشتيت دالة في التردد وكثافة الأحياء المائية المسببة للتشتيت. وفي مناطق كثيرة في نصف الكرة الشمالي يصل أكبر قيمة للترديد الحجمي في شهر مارس وأقل قيمة في شهر نوفمبر.

جـ - الترديد القاعى

Bottom Reverberation :

يعتبر ارتداد الأشعة الصوتية عند اصطدامها بالقاع وارتدادها مشـــكلة كبيرة لأنظمة السونار الإيجابية ويحدث ترديد القاع في المياه العميقة (أكبر من ١٨٠٠ متر) ومن غير المتوقع أن يســـبب ترديد القاع مشـــاكل إخفاء لنبضة الهدف إلا في حالات خاصـــة عندما تكون قوة ارتدادات القاع عالية بينما يكون الترديد السطحي منخفضاً جداً، في المياه المتوسطة العمق (من ١٨٠ متر إلى ١٨٠٠ متر) فإن تأثير ترديد القاع يكون أكبر بعض الشئ تبعاً لنوع القاع وزاوية سقوط الإشعاع الصوتي عليه وعمق جهاز الإرسال الصوتي، أما في المياه الضـــحلة (أقل من ١٨٠ متر) يمكن ترديد القاع أن يسود باستمرار على ضوضاء الخلفية. ويحد بشدة من استحدام عمل أجهزة السونار ويؤثر أيضاً على مناطق التقارب في المياه الضحلة.

أثبتت الدراسات أن البيانات المرتدة من القاع تبين قلـــة أو عدم وجود ترددات في المدى الواقع بـــين ٥ر٠ إلى ٨٠ كيلو هرتز. كما أثبتت دراســـة روسية قام بها جيتكو فسكي وفولوفا (عام ١٩٦٥) أن الـــترددات العالية وزاوية التماس تعتمد على الرصـــد في المدى من (١ إلى ٣٠ كيلو هرتز) على قاع بحر وعر وخشـــن جداً. ونتيجة الدارسة هي عندما تكون خشونة قاع البحر كبيرة فإن مقارنة طول الموجة ومعامل الارتداد يعتمد على التردد وعندما تكون خشـــونة القاع قليلة فإن مقارنة طول الموجة وقوة التشتيت تزيد بزيادة التردد.

والى اللقاء فى العدد القادم إن شاء الله.