انتشار الموجات الصوتية تحت الماء

أحمد عبدالعال محمد

مدير عام أرصاد القوات المسلحة

عزيز القارئ.. يسعدنى أن التقى بكم على صفحات مجلتنا العلمية الخاصة بالأرصاد الجوية فى سلسلة مقالات عن انتشار الموجات الصوتية تحت الماء، وسوف نبدأ هذه السلسة بنبذة تاريخية عن هذا الموضوع، ثم نتكلم عن طبيعة الموجات الصوتية تحت الماء، ثم عن تقسيم طبقات الماء وتكوين منحنى سرعة الصوت وحرارة الماء فى المياه العميقة، ثم انتشار مسارات الأشعة الصوتية فى الماء ومحور القناة الصوتية، ثم نتكلم عن ضعف انتشار الموجات الصوتية، وأخيراً نتكلم عن تأثير الظواهر البحرية على انتشار الموجات الصوتية.

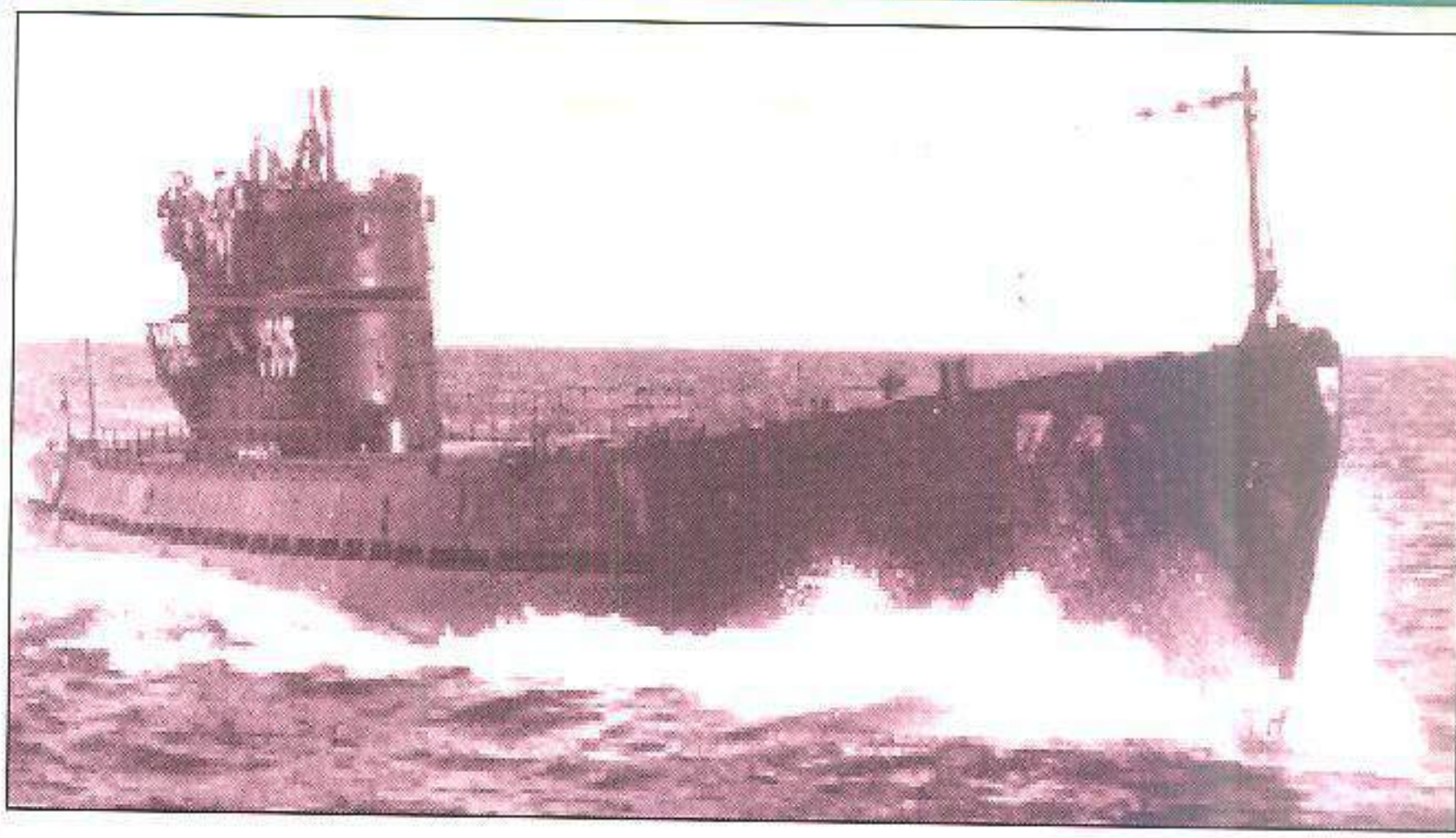
نبذة تاريخية

قام عالم الطبيعة السويسرى دانيال كولا دوى وعالم الرياضيات الفرنسى تشارلز ستيرم بأول قياس لسرعة الصوت تحت الماء عام ١٨٢٧ فى بحيرة جينيفا بسويسرا وذلك بقياس الفارق الزمنى بين ومضة الضوء ورنين الجرس تحت الماء وبالتالى تم حصولهم على سرعة الصوت بدرجة مدهشة من الدقة.

وفى القرن التاسع عشر قامت مجموعة من علماء الطبيعة بالتعاون غير المباشر بين بعضهم لقياس سرعة الصوت تحت الماء وذلك من خلال اهتمامهم بدراسة ظاهرة تحويل الطاقة **transdution** «وهى عملية تحويل الطاقة الكهربائية إلى طاقة صوتية والعكس صحيح».

وقامت هذه الدراسات والدراسات الأخرى التى تمت خلال الفترة من ١٨٤٠-١٨٥٠حيث تم اختراع التليفون وتم اختراع أنظمة أخرى خلال القرن التاسع عشر وكانت هى أساس نظام السونار.

ومع نهاية هذا القرن بدأ أول تطبيق عملى للصوت تحت الماء وهو الجرس الغاطس الذى كان يستخدم للملاحة بعيداً عن الشواطئ وذلك لتحديد الفترات الزمنية بين صوت الجرس والصوت الآتى لصوت صفارة الضباب، وبالتالى يمكن للسفينة تحديد المسافة بين الفناء العائم الذى تم تركيب الأجهزة عليه، إلا أنه لم تنتشر هذه الطريقة فى الملاحة البحرية، بل تم استبدالها باستخدام موجات الراديو **Radio Direction Finding**، وفى عام ١٩١٤ قام العالم الأمريكى فيسند **R. A. Fessende** بتصميم وصنع نوع جديد من الملفات المتحركة لإرسال واستقبال الإشارات الصوتية تحت الماء، وتم تجربته لاكتشاف جبل جليدى على مسافة ٢ ميل وكان يعمل هذا الجهاز على التردد ٥٠٠ - ١٠٠٠ هرتز وقد تم تركيبه فى جميع السفن الأمريكية أثناء الحرب العالمية الأولى ليمكنها من اكتشاف الأهداف تحت الماء وظل هذا الجهاز يستخدم فى الأبحاث العلمية حتى وقت قريب وتوالت الأبحاث وبعد



شكل (١)

الحرب العالمية الأولى وفى عام ١٩١٩ تم نشر أول بحث علمى عن انتشار الموجات الصوتية تحت الماء وتم وصف نظرية الأشعة الصوتية وذلك بمعلومية التدرج فى درجة ماء البحر والملوحة.

تعتبر أهم الإنجازات البحرية العلمية للفترة الواقعة بين الحربين العالميتين الأولى والثانية هى تفهم التغيرات المختلفة لانتشار الموجات الصوتية فى البحار وتعتبر الأجهزة التى تم تحميلها على السفن فى نهاية العشرينيات وأوائل الثلاثينيات غير معتمدة فى آدائها، حيث تم الحصول على صدى جيد للأهداف فى الصباح وصدى ضعيف جداً أو لا يتم الحصول على صدى أثناء فترة بعد الظهر وتم بحث خصائص الإرسال الصوتى فى ماء البحر وتم التوصل إلى وجود تدرج حرارى خفيف فى طبقات الماء تتسبب فى انكسار الأشعة الصوتية إلى الطبقات العميقة لماء البحر ويتسبب عنه وجود الهدف فى المنطقة التى نسميها اليوم بمنطقة الظل Shadow Zone وتم تسمية تلك الظاهرة بظاهرة بعد الظهر.

فى عام ١٩٧٣ قام العالم الأمريكى A. F. Spil-haus بعمل جهاز يسمى الباثى ترموجراف وذلك لدراسة التدرج الحرارى مع العمق وتم تفهم عملية امتصاص الأشعة الصوتية فى الماء وتم الحصول على قيم دقيقة فى الماء وتم الحصول على قيم دقيقة لمعاملات الامتصاص للترددات فوق السمعية من ٢٠ - ٣٠ كيلو هرتز.

وبالفعل ومن خلال الدراسات العديدة فى هذا المجال تمكن العلماء اليوم من معرفة الترددات المختلفة فى البحر وحتى أنه تم التمكن من تميز الإشارات الصوتية تحت الماء بواسطة الأذن البشرية.

طبيعة الموجات الصوتية تحت الماء

■ المظاهر الأولية للصوت:

إن جميع الأصوات سواء التى تصدر من الجرس اليدوى أو التى تصدر من الأدوات الإلكترونية المعقدة يكون لها نفس الخصائص، حيث ينشأ الصوت كموجة متحركة تنتج من مصدر متذبذب

طول الموجه	التردد (كيلو هرتز)	طول الموجه (بالمتر)	التردد (بالهرتز)
1ر5 متر	1	150	10
0ر3 متر	5	30	50
0ر15 متر	10	15	100
0ر03 – 3 سنتيمتر	50	3	500

جدول رقم (١)

ويحتاج الصوت لوسط مرن مثل الهواء أو الماء لينتقل من خلاله.

■ **الحركة الموجية:**

إن الحركة الصوتية فى الماء هى موجة طولية، حيث حركة الجزيئات تتسبب فى حركة الموجة الصوتية للأمام والخلف فى اتجاه انتشار الموجه.

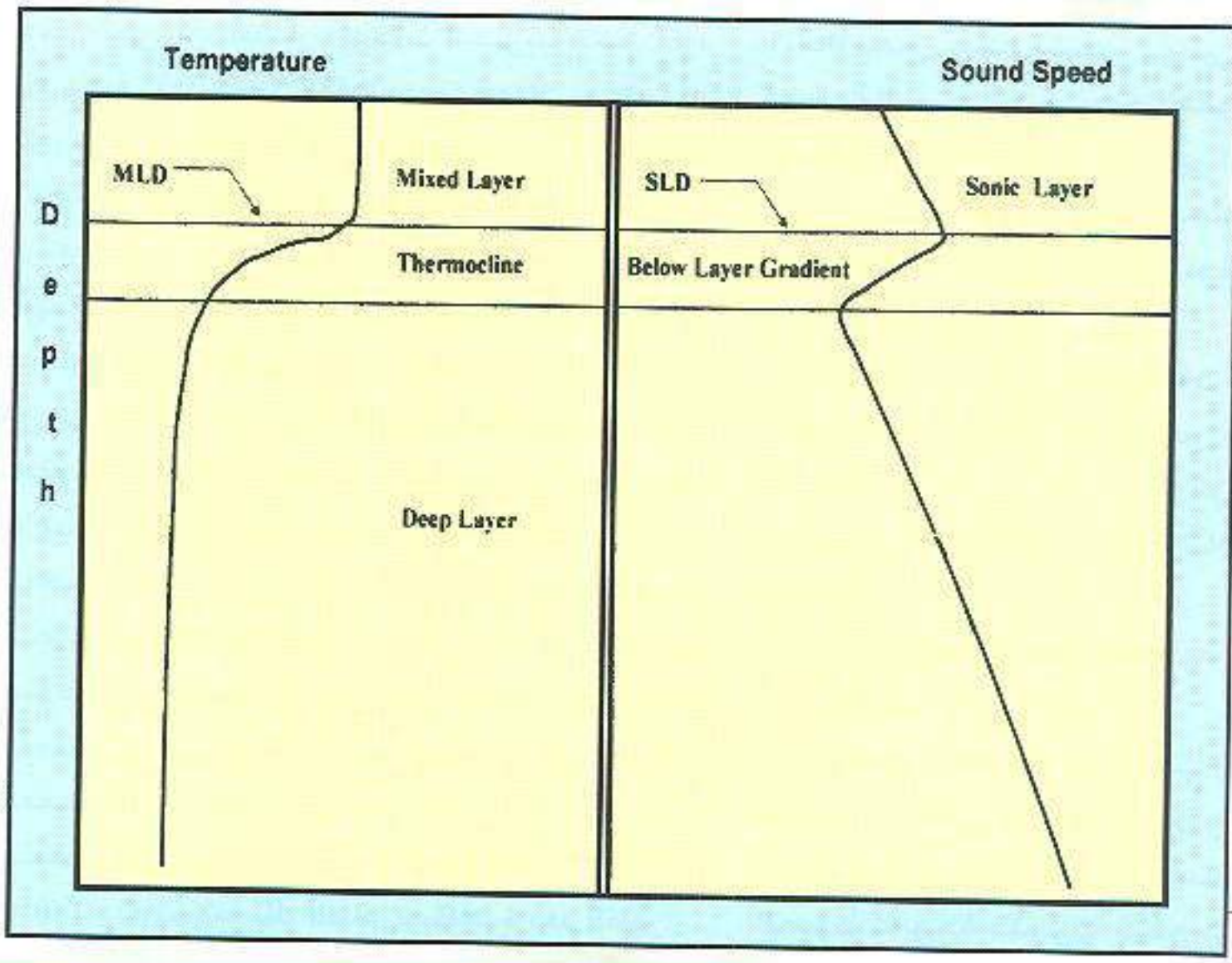
يتم الحصول على تردد الموجه الصوتية أحادية التردد بتحريك مصدر متذبذب ويعرف طول الموجة بأنه المسافة بين قمتين لموجتين متتابعتين.

والمعادلة التالية توضح العلاقة بين التردد وطول الموجة وسرعة الصوت.

$$\lambda = C / F$$

حيث λ طول الموجة، C سرعة الصوت فى الماء، F التردد.

من المهم معرفة أن قيم التردد أقل من ٢٠ هرتز تعتبر فى حيز التردد التحت سمعى **Infrasonic** أما التردد الأكبر من ٢٠ كيلوهرتز فيعتبر فى التردد



شكل (٢) يوضح تقسيم عمود الماء بالنسبة لكل من درجة حرارة الماء وسرعة الصوت فى الماء

فوق السمعى Ultrasonic، أما التردد السمعى فهو التردد الواقع بين ٢٠ هرتز حتى ٢٠ كيلو هرتز.

ويعتبر طول الموجة المصاحب للتردد تحت السمعى طويل جداً، بينما طول الموجة المصاحب للتردد فوق السمعى قصير جداً.

والجدول رقم (١) يوضح العلاقة بين التردد وطول الموجة لسرعة الصوت التالية فى الماء ١٥٠٠ متر/ثانية:

الطاقة الكهرومغناطيسية المقابلة للصوت

تضمحل الطاقة الكهرومغناطيسية المتمثلة فى موجات الضوء فى الأوساط التوصيلية مثل الماء المعدل $1.3x10^3F^2db$ لكل ألف ياردة (الياردة هى وحدة لقياس الطول تساوى ٣ أقدام أو ٩١،٤٤ سنتيمتر) أثناء انتشارها ويتم التعبير عن التردد (F) بالكيلو هرتز.

وأقصى انتشار لهذه الموجات لا يتعدى بضع مئات من الأقدام ويتم التعبير عن شدة الصوت بالديسبل (db) ويعرف الديسبل بأنه اللوغاريتم العاشر للنسبة بين قوتين.

أما فى تردد السونار المنخفض فإن الطاقة الصوتية تضمحل بمعدل (٠،٠١ ديسبل/ألف ياردة) ولذلك تستطيع موجات الصوت الانتشار لمئات الأميال تحت الماء وبالتالى فإن الطاقة الصوتية تنتشر بكفاءة عالية فى البحار عن الطاقة الكهرومغناطيسية.

سرعة الصوت

تتمثل سرعة الصوت فى الماء كدالة لدرجة حرارة الماء ونسبة الملوحة والضغط وكل هذه القيم تتغير مع كل من العمق، الفصل من السنة، الموقع الجغرافى والوقت للموقع الثابت.

ويمكن حساب سرعة الصوت فى الماء باستخدام المعادلة التالية:

$$C= 1449.2 + 4.623t -0.0546t^2 +1.391(S-35) + 0.017d$$

حيث C سرعة الصوت

d العمق بالمتر

t درجة حرارة ماء البحر بالدرجة المئوية

S الملوحة بالبروميل (٪ = جرام ملح فى لتر ماء)

تم تبسيط هذه المعادلة إلى هذه الصورة بواسطة ولسون (١٩٦٠) وآخرين.

تزيد سرعة الصوت نتيجة تأثير حرارة الماء بمقدار ٢،٤ متر/ثانية لكل درجة مئوية وحوالى ١،٤ متر/ثانية نتيجة التغير فى قيمة الملوحة (جزء من الألف) وحوالى ١،٧ متر/ثانية لكل تغير مقداره ١٠٠ متر فى العمق.

مما سبق يتضح لنا أن أهم عنصر مؤثر فى الطبقة العليا من عمود الماء حتى عمق ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم) هو درجة الحرارة. أما عند عمق ١٥٠٠متر (٥٠٠٠ قدم) فإن العنصر المؤثر فى سرعة الصوت هو الضغط الناتج عن التغير فى العمق وذلك لأن درجة الحرارة تعتبر ثابتة نسبيا، أما تأثير الملوحة فى البحر المفتوح يعتبر ضعيف نسبيا.

تتراوح سرعة الصوت فى البحار ذات الأعماق الكبيرة بين ١٤٣٣متر/ثانية (٤٧٠٠ قدم/ثانية) إلى أكبر من ١٥٥٤ متر/ثانية (٥١٠٠ قدم/ثانية).

يسمى الاختلاف فى سرعة الصوت مع العمق بمنحنى سرعة الصوت ويتم الحصول عليه إما بالقياس المباشر أو برصد العناصر الهيدروجرافية (الحرارة والملوحة مع العمق).

وبهذا يمكن تقسيم عمود الماء إلى ثلاث طبقات مختلفة سواء من الناحية الصوتية أو درجة حرارة الماء كما هو واضح فى شكل (٢) حيث يتضح من الشكل العلاقة بين درجة حرارة الماء وسرعة الصوت فى الماء حيث فى الطبقة الأولى درجة الحرارة شبه ثابتة تزيد فيها سرعة الصوت وفى الطبقة الثانية تقل درجة حرارة الماء وتقل معها سرعة الصوت فى الماء، أما فى الطبقة الثالثة فإن درجة الحرارة تكون شبه ثابتة وتزيد فيها سرعة الصوت.