

why do we care about sound wave propagation under water

چون صدا در زیر آب با سرعت بیشتری از هوا حرکت می کند و از این خاصیت می توان برای ارتباطات زیر آبی استفاده کرد

امواج الکترومغناطیسی در زیر آب به دلیل جذب بالای آنها در آب کارایی کمتری دارند به حدی که نور خورشید به عمق 200 متری آب نمی تواند برسد

صدا میتواند در همه جهات حرکت کند و از این جهات میتوان از آن برای دریافت اطلاعات از محیط زیر آبی استفاده کرد

تقریباً همه تجهیزات متحرک صدا ایجاد میکنند پس بر خلاف رادارهای عادی نیازی به ارسال سیگنال اولیه و دریافت سیگنال بازتابی ندارند و از این جهت میتوانند برای ساخت رادارهایی که در زیر آب کار میکنند استفاده شوند

sound speed profile in water

سرعت حرکت صدا در آب به دما شوری و عمق آب بستگی دارد و به طور خلاصه میتوان از فرمول زیر برای محاسبه سرعت صدا در آب استفاده کرد

$$c = 1449.2 + 4.6T - 0.055T^2 + 0.00029T^3 + (1.34 - 0.01T)(S - 35) + 0.016D$$

که در آن:

c : سرعت صدا در آب

T : دمای آب به درجه سانتی گراد

S : شوری آب به گرم در کیلوگرم اب

D : عمق آب به متر

علاقم فرمول بالا برای سادگی بهتر است سرعت متوسط صدا در آب را برابر با 1500 متر بر ثانیه در نظر بگیریم و از تقریب های زیر استفاده کنیم

sound wave attenuation in water

پیشتر ادعا کردیم که امواج صوتی به سبب جذب کمتر کاربرد بهتری در آب دارند
فرمول زیر برای محاسبه کاهش انرژی امواج صوتی در آب استفاده می شود

$$\alpha = \frac{f_1 * f^2}{f_1^2 + f^2} e^{\frac{pH-0.8}{0.56}} + 0.52 \left(1 + \frac{T}{43}\right) \frac{S}{35} \frac{f_2 * f^2}{f_2^2 + f^2} e^{\frac{-d}{6}} + 4.9 * 10^{-4} f^2 e^{\frac{T}{27} + \frac{d}{17}}$$

که در آن:

α : کاهش انرژی امواج صوتی در آب به دسی بل

متغیرهایی که در فرمول قبلی توضیح داده شدند: S, D, T:

pH: اسیدیته آب

f: فرکانس امواج صوتی به کیلو هرتز

$f_1: 0.78 \left(\frac{S}{35}\right)^{0.5} e^{\frac{T}{26}}$

sound wave's propagation loss

واضح است که همانند همه امواج شدت امواج صوتی با فاصله از منبع آن کاهش میابد

اگر منبع را در آب به گونه ای غوطه ور کنیم که بتوان از تاثیر بازتابش سطح های بالایی و پایینی اجتناب کرد میتوانیم از فرمول اشنای پخش کروی توان استفاده کنیم

$$PL = 20\log\left(\frac{r}{1m}\right)$$

اما اگر بازتاب سطح های بالا و پایین را در نظر بگیریم و از فاصله با انها نیز صرف نظر کنیم میتوانیم صرفا انتشار را در سطح در نظر بگیریم و از فرمول پخش اسطوتوانه ای بهره ببریم

air water interface

واضح است که انتقال امواج صوتی از آب به هوا و بالعکس اتفاق میافتد ولی معمولاً مطلوب ما نیست و باعث اتلاف است

 Alt text

به طور معمول با برخورد موج به سطح آب با انعکاس و گذر کردن آن مواجه هستیم و برای محاسبه مقادیر آنها از روابط اشنای زیر میتوانیم بهره ببریم

$$R = \frac{Z_2 * \sin(\theta_1) - / Z_1 * \sin(\theta_2)}{Z_2 * \sin(\theta_1) + / Z_1 * \sin(\theta_2)}$$

$$T = \frac{2 * Z_2 * \sin(\theta_1)}{Z_2 * \sin(\theta_1) + / Z_1 * \sin(\theta_2)}$$

seabed interface

به طور معمول خواص صوتی کف زمین همانند آب است به همین دلیل بخش بزرگی از صدا به داخل زمین نفوذ میکند اما در فرکانس های پایین در حد کمتر از چند کیلوهرتز بخش قابل توجهی از صدا به دلیل ساختار لایه ای زمین بازتاب میشود و به همین دلیل برای کشف منابع نفتی و گازی از این خاصیت استفاده میشود

در نمودار زیر میتوانید میزان بازگشت صوت برای چهار سطح متداول را به صورت تابعی زاویه خراش را مشاهده کنید

 Alt text

با توجه به تشکیل زمین از محیط های چند لایه و غیر خطی همانطور که بالا تر نیز اشاره شد انعکاس صوت به آب به صورت تابعی از زاویه خراش و فرکانس و شکل سطح و حتی مکان است

علا رقم اینکه امروزه نرم افزار هایی برای محاسبه این انعکاس ها با روش های تحلیلی و عددی وجود دارد اما با کشکل بزرگ تری که کم بود اطلاعات ما از سطوح زیرین زمین است روبه روییم

numerical modeling

برای مدل کردن انتشار صوت به طور کلی به حل معادل موج صوتی نیاز داریم که در اینجا به صورت زیر است

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2}$$

که در آن ϕ فشار صوتی و c سرعت صوت است
برای حل این معادله با دو مشکل رو به روییم

محیط مورد نیاز برای جواب این مسئله بسیار بزرگ تر از طول موج است و 1.
روش های مستقیم حل همچون
finite difference و finite element

ray tracing



Alt text



Alt text

a: sound speed profile, Modeled received SPL as a function of range and depth at a depth of 50 m emitting a 20-Hz tone with a source level of 189 dB re 1 μ Pa m. The magenta line is the seafloor