

حل مسائل نمونه صوت در دریا

۴۶- الف) سرعت ذره عبارت است از: $v = p / \rho c$ m/s که در آن p فشار آکوستیک بر حسب N/m^2 و ρc امپدانس ویژه محیط بر حسب ریل است بنابراین:

$$\frac{v_{\text{air}}}{v_{\text{water}}} = \frac{p / (\rho c)_{\text{air}}}{p / (\rho c)_{\text{water}}} = \frac{(\rho c)_{\text{water}}}{(\rho c)_{\text{air}}} = \frac{1480000}{415} = 3570$$

ب) شدت آکوستیک عبارت است از: $I = \frac{p^2}{2\rho c}$ W/m² بنابراین $p = \sqrt{2I\rho c}$ و:

$$\frac{v_{\text{air}}}{v_{\text{water}}} = \frac{(\sqrt{2I\rho c} / \rho c)_{\text{air}}}{(\sqrt{2I\rho c} / \rho c)_{\text{water}}} = \sqrt{\frac{(\rho c)_{\text{water}}}{(\rho c)_{\text{air}}}} = \sqrt{\frac{1480000}{415}} = 59.8$$

$$g = \frac{(c_2 - c_1)}{d} = \frac{1450 - 1500}{100} = -0.5 \text{ m/s/m} \quad (۴۷- الف)$$

$$x = \sqrt{2c_1 d / g} = \sqrt{2(1500)(-100)(-0.5)} = 775 \text{ m} \quad (ب)$$

$$\theta_1 = 0 \Rightarrow \theta_2 = \cos^{-1}\left(\frac{c_2}{c_1}\right) = \cos^{-1}\left(\frac{1450}{1500}\right) = 10^\circ \quad (پ)$$

۴۸- الف) فرض می کنیم سرعت صوت در آب دریا در این دما 1500 m/s باشد. چون دما ثابت است ولی فشار ثابت نیست لذا سرعت صوت بصورت 0.17 m/s بر ثانیه بر متر با عمق تغییر می کند. عبارت دیگر گرادیان سرعت ناشی از فشار هیدروستاتیک بوده و تقریباً برابر است با $g = 0.017 \text{ m/s/m}$ و لذا:

$$x = \sqrt{2c_0 d / g} = \sqrt{2(1500)(17)(10) / 0.017} = 1330 \text{ m}$$

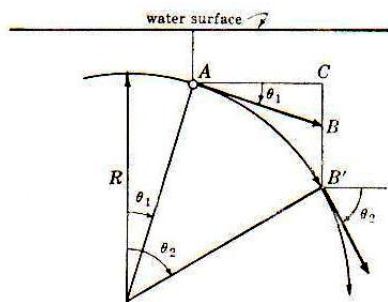
$$\cos\theta_1 = 1, \quad c_1 = 1500 + 50(0.017) \Rightarrow \theta_0 = \cos^{-1}(c_0 / c_1) = \quad (ب)$$

$$\cos^{-1}(1500.17 / 1500.85) = 1.5^\circ$$

$$x = \sqrt{2c_1 d / g} = \sqrt{2(1500)(85)(40) / 0.017} = 2660 \text{ m}$$

۴۹- با استفاده از شکل زیر، عمق ظاهری CB زیردریایی از سونار عبارت است از: $800 \tan 10^\circ = 141 \text{ m}$ بنابراین عمق ظاهری برابر $141 + 10 = 151 \text{ m}$ زیر سطح دریا است. بدلیل گرادیان منفی ثابت آب، تابه صوتی سونار AB بسمت پایین بصورت کمائی از یک دایره به شعاع زیر خم می گردد:

$$R = c_0 / (-g) = 1500 / 0.1 = 15000 \text{ m}$$



انحراف تابه صوتی در نقطه B' ، θ_2 است که بدلیل شکست در آب، بزرگتر از θ_1 می باشد لذا:
 $AC = R \sin \theta_2 - R \sin \theta_1 = 800$

$$\sin \theta_2 = \frac{800 + R \sin \theta_1}{R} = \frac{800 + 15000 \sin 10^\circ}{15000} \Rightarrow \theta_2 = 13.2^\circ$$

عمق بین تراگذار سونار و زیردریایی عبارت است از:

$$CB' = R \cos \theta_1 - R \cos \theta_2 = 15000 (0.985 - 0.973) = 180 \text{ m}$$

بنابراین عمق حقیقی زیردریایی زیر سطح دریا برابر است با $180 + 10 = 190 \text{ m}$ که این مقدار کاملا از مقدار بدست آمده قبلی بدون در نظر گرفتن انکسار متفاوت است. از طرف دیگر اگر گرادیان ثابت سرعت، مثبت باشد، تابه صوتی به سمت بالا خم می شود و لذا عمق واقعی زیردریایی کمتر از عمق ظاهری آن خواهد بود.

۵۰- الف) گرادیان ثابت سرعت در کانال بالایی عبارت است از: $g' = (1480 - 1500) / 20 = -1 \text{ m/s/m}$

و در کانال پایینی نیز عبارت است از: $g' = (1500 - 1480) / 80 = -0.25 \text{ m/s/m}$

در آبی که دارای گرادیان ثابت سرعت است، مسافت سیر افقی یک پرتو صوتی برای رسیدن به عمق d ، عبارت است از: $x = \sqrt{2c_0 d / g}$ بنابراین برای کانالهای بالایی و پایینی، بترتیب خواهیم داشت:

$$x_0 = \sqrt{2c_0 d_0 / g'} = \sqrt{2(1500)(20)/1} = 246 \text{ m}, \quad x_1 = \sqrt{2c_1 d_1 / g''} = \sqrt{2(1500)(80)/0.25} = 980 \text{ m}$$

شعاع R کمان دایره مسیر پیموده شده توسط پرتو صوتی عبارت است از: $R_0 = c_0 / g' = 1500 \text{ m}$ ، $R_1 = c_1 / g'' = 6000 \text{ m}$ و پایینی بترتیب خواهیم داشت:

اما $\sin \theta_1 = x_1 / R_1 = 980 / 1500 \Rightarrow \theta_0 = 9.4^\circ$ و $\sin \theta_0 = x_0 / R_0 = 246 / 1500 \Rightarrow \theta_0 = 9.4^\circ$ بنابراین حداکثر زاویه ای که تحت آن یک پرتو صوتی می تواند محور کانال را در هر جهت قطع کند و همچنان در داخل کانال باقی بماند یکسان بوده و معادل 9.4° است. بعبارت دیگر پرتوی که یکبار محور کانال را تحت 9.4° قطع نموده است، مجددا این محور را تحت همین زاویه قطع می کند.

ب) فواصل افقی در اولین و دومین برخورد پرتو با محور کانال عبارتند از:

$$x_1 = 2R_0 \sin \theta_0 = 492 \text{ m}, \quad x_2 = 2R_1 \sin \theta_0 = 1960 \text{ m}$$

پ) سرعت صوت در امتداد محور کانال دارای حداقل مقدار خود یعنی 1480 m/s است بنابراین زمان لازم برای برخورد دوم خواهد بود: $t_1 = x / c_m = (492 + 1960) / 1480 = 1.66 \text{ s}$.

ت) سرعت افقی متوسط پرتو صوتی در برخورد با محور کانال تحت زاویه θ_0 عبارت است از:

$$c_x = c_m (1 + \theta_0^2 / 6) = 1480 (1 + (0.164)^2 / 6) = 1486.67 \text{ m/s}$$

که در آن: $\theta_0 = 9.4^\circ = 0.164 \text{ Rad}$ بنابراین: $t_2 = (492 + 1960) / 1486.67 = 1.65 \text{ s}$

ث) اختلاف زمان برای چنین فاصله کوتاهی خواهد بود: $t_1 - t_2 = 0.01 \text{ s}$. واضح است که برای فواصل طولانی این اختلاف، قابل توجه خواهد بود. علاوه بر این، به اندازه 26.7 m پایین محور کانال و 6.67 m بالای محور کانال، سرعت صوت برابر سرعت متوسط افقی پرتو صوتی است که محور را تحت زاویه 9.4° قطع می کند.

۵۱- فرض کنید که موج صوتی ابتدا در سطح دریا افقی باشد. در لایه اول یعنی از سطح تا عمق ۲۰۰ متر، سرعت صوت بطور خطی با عمق کاهش می یابد. گرادینان سرعت عبارت است از:

$$g_1 = (1450 - 1500) / 200 = -0.25 \text{ m/s/m}$$

شعاع مسیر نیز برابر است با: $R_1 = c_0 / (-g_1) = 1500 / 0.25 = 6000 \text{ m}$

از آنجائیکه $\theta_0 = 0$ ، زاویه θ_1 که پرتو صوتی در عمق ۲۰۰ متر با افق می سازد خواهد بود: $\theta_1 = \cos^{-1}(1450 / 1500) = 15^\circ$ و مسافت افقی که طی می کند تا به لایه دوم برسد خواهد بود:

$$x_1 = R_1 \sin \theta_1 = 6000 \sin 15^\circ = 1550 \text{ m}$$

بطور مشابه برای لایه دوم نیز داریم:

$$g_2 = (1400 - 1450) / 800 = -0.625 \text{ m/s/m}$$

$$R_2 = c_0 / (-g_2) = 1500 / 0.625 = 24000 \text{ m}$$

$$\theta_2 = \cos^{-1}(c_2 / c_0) = \cos^{-1}(1400 / 1500) = 21^\circ$$

$$x_2 = R_2 (\sin 21^\circ - \sin 15^\circ) = 2400 \text{ m}$$

زیر عمق ۱۰۰۰ متر، دما ثابت است و سرعت صوت با نرخ ثابت 0.017 m/s/m با عمق افزایش می یابد.

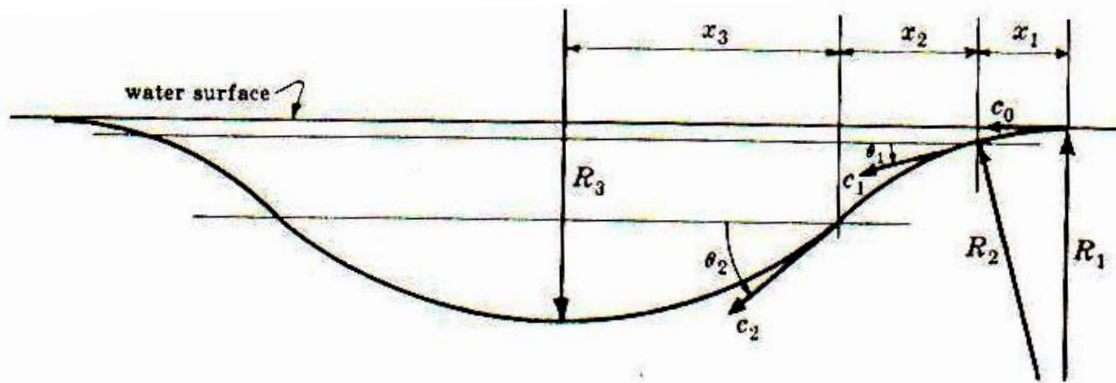
بنابراین پرتو صوتی در امتداد شعاع خم می شود: $R_3 = c_0 / (-g_3) = 1500 / 0.017 = -88200 \text{ m}$

و لذا پرتو صوتی در عمق $6890 \text{ m} = (1500 - 1400) / 0.017 + 1000$ افقی می شود و:

$$x_3 = R_3 \sin \theta_2 = 88200 \sin 21^\circ = 31800 \text{ m}$$

با رسیدن به عمق حداکثری ۶۸۹۰ متر و سرعت ۱۵۰۰ متر بر ثانیه، پرتو صوتی همانند حرکت رو به پایین، همانند شکل زیر، شروع به حرکت رو بالا می کند. مسافت افقی کلی که توسط این پرتو پیموده شده است خواهد بود:

$$x = 2(x_1 + x_2 + x_3) = 1(1550 + 2400 + 31800) = 72000 \text{ m}$$



در محور کانال صوتی، سرعت صوت حداقل است یعنی: $c = c_m$ و در نقاط دیگر کانال، سرعت صوت با توجه به قانون اسنل برابر است با: $c = (c_m \cos \theta) / (\cos \theta_0)$ و مولفه افقی آن نیز خواهد بود: $c_x = c \cos \theta$. بنابراین مقدار متوسط آن می شود:

$$\bar{c}_x = \frac{c_m}{\cos \theta_0} \int_0^{\theta_0} \frac{1}{\theta_0} \cos^2 \theta d\theta = \frac{c_m}{\theta_0 \cos \theta_0} \left[\frac{1}{2} \theta + \frac{1}{2} \sin \theta \cos \theta \right]_0^{\theta_0} = \frac{c_m}{2} \left(\frac{1}{\cos \theta_0} + \frac{\sin \theta_0}{\theta_0} \right)$$

با استفاده از بسط سری: $\cos \theta_0 = 1 - \frac{\theta_0^2}{2}$ ، $\sin \theta_0 = \theta_0 - \frac{\theta_0^3}{6}$ و بنابراین: $\bar{c}_x = c_m \left(1 + \frac{\theta_0^2}{6} \right)$ که در آن θ_0 بر حسب رادیان است. و لذا سرعت متوسط افقی پرتوهای صوتی که محور کانال را قطع می کنند همیشه بزرگتر از سرعت حداقل صوت در محور کانال است.

۵۳- بدلیل جذب و واگرایی، دامنه فشارهای صوتی در فواصل r_1 و r_2 از منبع صوتی بصورت زیر نوشته می شوند:

$$p_1 = \frac{P}{r_1} e^{-\alpha r_1}, \quad p_2 = \frac{P}{r_2} e^{-\alpha r_2}$$

که P ، دامنه فشار در منبع صوتی است و α ثابت جذب بر حسب نپر بر متر است. تراز فشار صوتی در این دو

$$(SPL)_1 = 20 \log \frac{p_1}{p_0} \text{ dB}, \quad (SPL)_2 = 20 \log \frac{p_2}{p_0} \text{ dB} \quad \text{نقطه عبارت است از:}$$

که p_0 فشار صوتی مرجع است. اختلاف تراز فشار صوتی بین این دو نقطه برابر است با:

$$\begin{aligned} (SPL)_1 - (SPL)_2 &= 20 \log \frac{P}{r_1 p_0} e^{-\alpha r_1} - 20 \log \frac{P}{r_2 p_0} e^{-\alpha r_2} = 20 \log \frac{r_2}{r_1} + 20 \log e^{\alpha(r_2 - r_1)} \\ &= 20 \log \frac{r_2}{r_1} + 8.7 \alpha (r_2 - r_1) \text{ dB} \end{aligned}$$

اگر $r_1 = 1 \text{ m}$ آنگاه اتلاف تراگسیل از r_1 تا r_2 یا بطور ساده تر فاصله r بر حسب متر می شود:

$$(SPL)_1 - (SPL)_2 = 20 \log r_2 + 8.7 \alpha (r_2 - r_1) \text{ dB}$$

$$H = 20 \log r + a \text{ dB}$$

که در آن a ، ثابت جذب امواج صوتی در آب دریا بر حسب دسی بل بر متر است.

$$\frac{dH}{dr} = \frac{20}{2.3} \frac{d(\ln r)}{dr} + a = \frac{8.7}{r} + a \quad \text{نرخ مکانی اتلاف تراگسیل عبارت است از:}$$

وقتی نرخ اتلاف تراگسیل ناشی از واگرایی با نرخ اتلاف تراگسیل ناشی از جذب برابر باشد، خواهیم داشت:

$$\frac{dH}{dr} = 0 \quad \text{یا} \quad r = r_c = \frac{8.7}{a} \quad \text{که در آن } r_c \text{ را فاصله تقاطع (Crossover range) گویند.}$$

۵۴- در فاصله ۱ متری از منبع، $I = \frac{W}{4\pi} = \frac{p^2}{\rho c} \text{ W/m}^2$ که در آن p فشار موثر صوت بر حسب N/m^2 است.

W توان صوتی کل خروجی بر حسب وات و $\rho c = 1480000 \text{ rayl}$ که امپدانس ویژه آب است.

بنابراین:

$$p = \sqrt{\rho c W / 4\pi} = 344 W^{1/2} \text{ N/m}^2$$

و:

$$\text{SPL} = 20 \log 10p = 20 \log 344 W^{1/2} = 71 + 10 \log W \text{ dB} \Rightarrow W = 794 \text{ W}$$

$$r = 4000 \text{ m} \Rightarrow I = \frac{W}{4\pi r^2} = 3.95 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$$

$$p = \sqrt{\rho c I} = 2.41 \text{ N/m}^2$$

$$\text{SPL} = 20 \log 24.1 = 27.6 \text{ dB re 1 microbar}$$

اگر از دیگر اتلافها صرفنظر گردد در آنصورت اتلاف تراگسیل ناشی از واگرایی خواهد شد:

$$H = 20 \log r = 20 \log 4000 = 72 \text{ dB}, \text{ SPL} = 100 - 72 = 28 \text{ dB at } r = 4000 \text{ m}$$

۵۵- تراز بازآوایش حاصل از پراکنده کننده ها در آب دریا عبارت است از:

$$I_R = I_s + 10 \log n\sigma + 10 \log \frac{1}{2} c\Delta t - d - 20 \log r - 2ar = -11.3 \text{ dB re 1 microbar}$$

که در آن:

$$I_s = 125 \text{ dB}, 10 \log n\sigma = -50 \text{ dB}, 10 \log \frac{1}{2} c\Delta t = 10 \log \frac{1}{2} (1480)(0.05) = 15.7 \text{ dB}$$

$$d = 20 \text{ dB}, 20 \log r = 20 \log 2000, 2ar = 2(0.004)(2000) = 16 \text{ dB}$$

۵۶- اگر بی هنجاری تراگسیل $A = 0$ باشد آنگاه اتلاف تراگسیل ناشی از واگرایی کروی و جذب در آب دریا

$$H = 20 \log r + ar \text{ dB} \quad \text{خواهد بود:}$$

$$H = 20 \log 1000 + 0.01(1000) = 70 \text{ dB} \quad \text{در فاصله ۱۰۰۰ متری داریم:}$$

که در آن: $a = 0.01 \text{ dB/m}$ ثابت جذب است. بنابراین:

$$(\text{SPL})_1 = 70 + 50 = 120 \text{ dB re 1 microbar}$$

$$H = 20 \log 2000 + 0.01(2000) = 86 \text{ dB} \quad \text{در ۲۰۰۰ متری:}$$

$$(\text{SPL})_{2000} = 120 - 86 = 34 \text{ dB re 1 microbar} \quad \text{و:}$$

وقتی تراز فشار صوتی محوری صفر است، اتلاف تراگسیل کل برابر ۱۲۰ دسی بل است، یعنی:

$$120 = 20 \log r + 0.01r \Rightarrow r = 4700 \text{ m}$$

اتلاف تراگسیل ناشی از واگرایی کروی برابر $20 \log r$ است درحالیکه اتلاف تراگسیل ناشی از جذب برابر ar

$$20 \log r = 0.01r \Rightarrow r = 7800 \text{ m} \quad \text{می باشد. اگر این دو با هم برابر باشند آنگاه:}$$

وقتی نرخ اتلاف تراگسیل ناشی از واگرایی کروی برابر نرخ اتلاف تراگسیل ناشی از جذب باشد خواهیم داشت:

$$r_c = \frac{8.7}{a} = \frac{8.7}{0.01} = 870 \text{ m} \quad \text{بنابراین:} \quad \frac{dH}{dr} = \frac{20}{2.3} \frac{d(\ln r)}{dr} + a = \frac{8.7}{r} + a = 0$$

۵۷- الف) رابطه عمومی برای تراز پژواک بازگشتی عبارت است از: $I_e = I_s + T - 2H \text{ dB}$

که در آن I_s توان منبع، T توان هدف و $H = 20 \log r + ar$ اتلاف ناشی از واگرایی و جذب است. برای ۴۰۰۰

متر ابتدایی:

$$I_e = I_s + T - 2[20 \log 4000 + 0.00373(4000)] = I_s + T - 2(86.9) \text{ dB}$$

که در آن $a = 0.00373 \text{ dB/m}$ ثابت جذب در 20 kc/s است.
حال، توان منبع به اندازه 30 dB افزایش می یابد درحالیکه توان پژواک و هدف همانند باقی می مانند آنگاه:
 $2H = 2(86.9) + 30$ و $H = 20 \log r + 0.00373 r = 86.9 + 15 = 101.9$ یا: $r = 6700 \text{ m}$.
ب) در 10 kc/s ، ثابت جذب برابر $a = 0.001 \text{ dB/m}$ است آنگاه:
 $r = 8100 \text{ m}$ یا: $H = 20 \log r + 0.001 r = 86.9$