

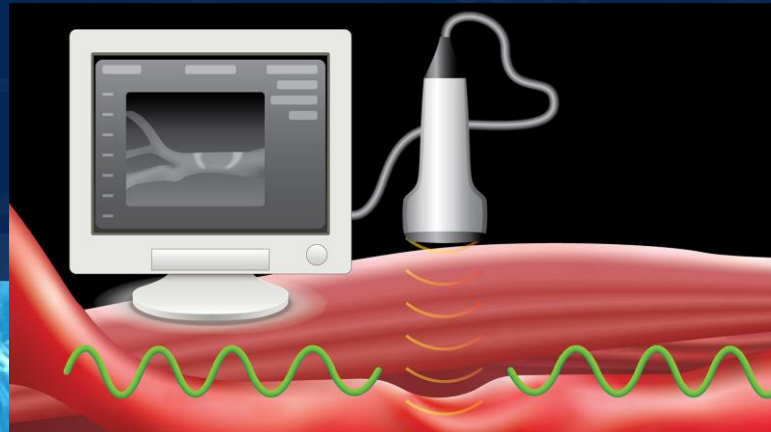
بسمه تعالی
وب نشست علوم صوتی (صوتیات) و کودکان و نوجوانان

کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان
استان تهران



دنیای شگفت‌انگیز صدا

کشف رازهای پنهان دنیای امواج صوتی



شهریور ۱۴۰۴



دکتر رضا حسین زاده اصل

پژوهشگر پسادکتری دانشگاه تهران

پژوهشگر شرکت دانش بنیان سنه آب فناوری فلیچ فارس

Tomography Solution Ltd.

rezahh200@yahoo.com

در این سفر دو ساعته چه خواهیم آموخت؟

🔊 صدا چیست و چگونه تولید می شود؟

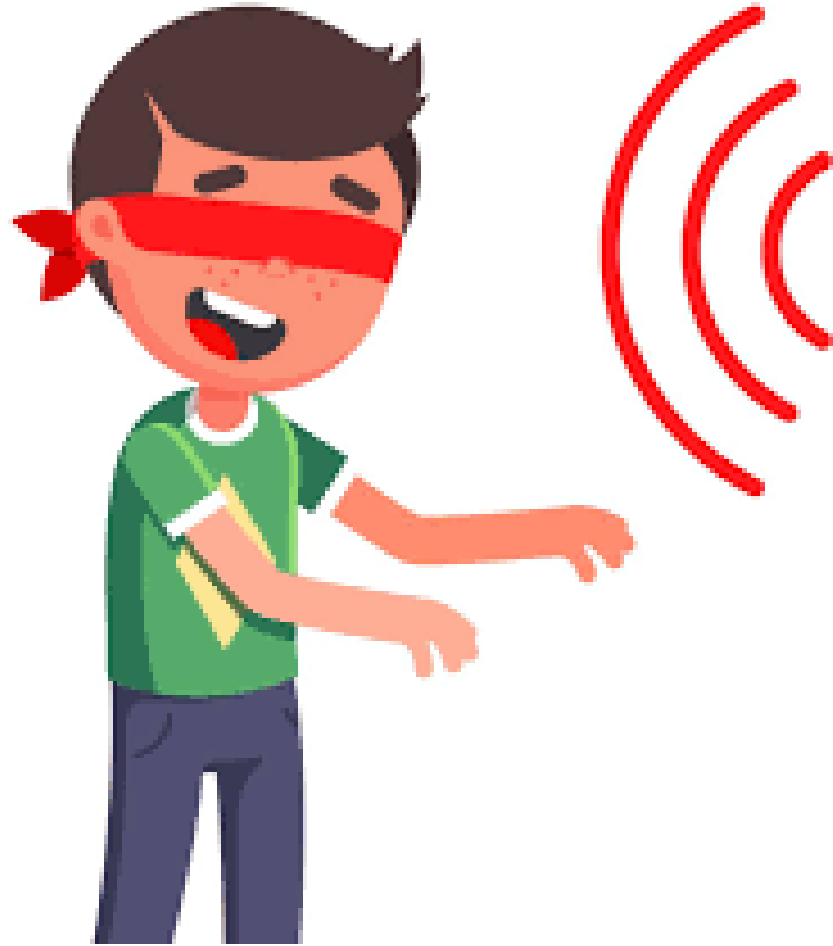
👂 چگونه صدا را می شنویم و درک می کنیم؟

🎵 کاربردهای جالب صدا در زندگی روزمره

🔧 سیستم های صوتی چگونه کار می کنند؟

🧠 تاثیر شگفت انگیز صدا بر مغز و یادگیری

🎮 بخش عملی: آزمایش های جالب با صدا



چشمانتان را برای چند ثانیه ببندید...
حالا به دقت گوش دهید. چه صداهایی میشنوید؟

صدا چیست؟

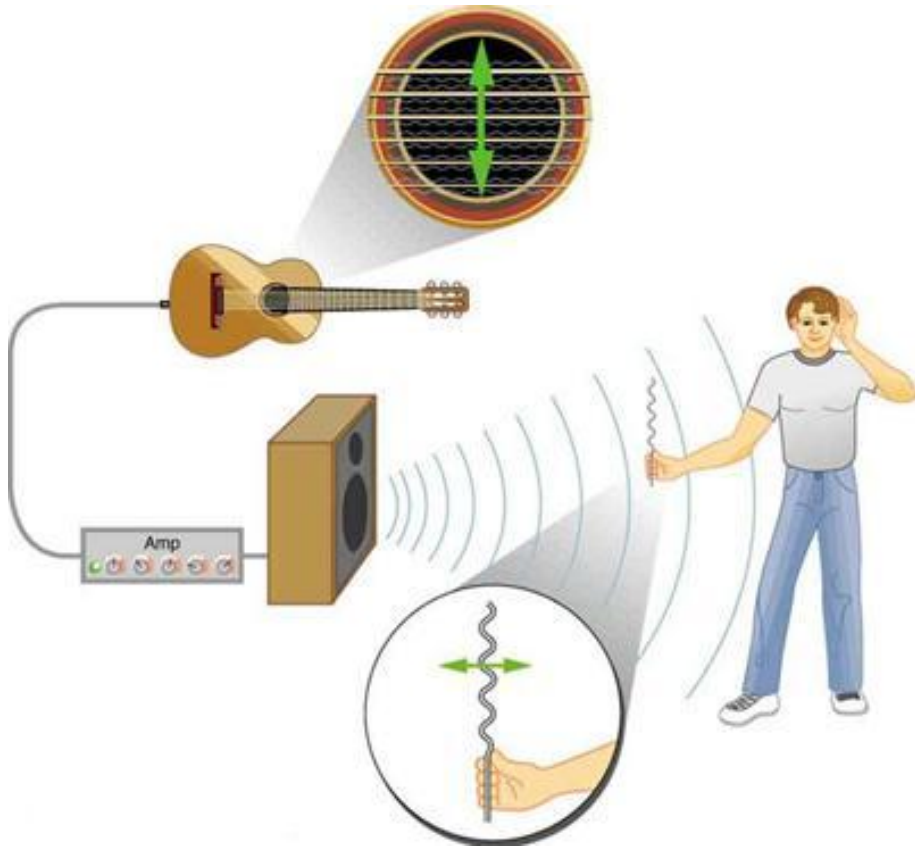
صدا چگونه به وجود می آید؟



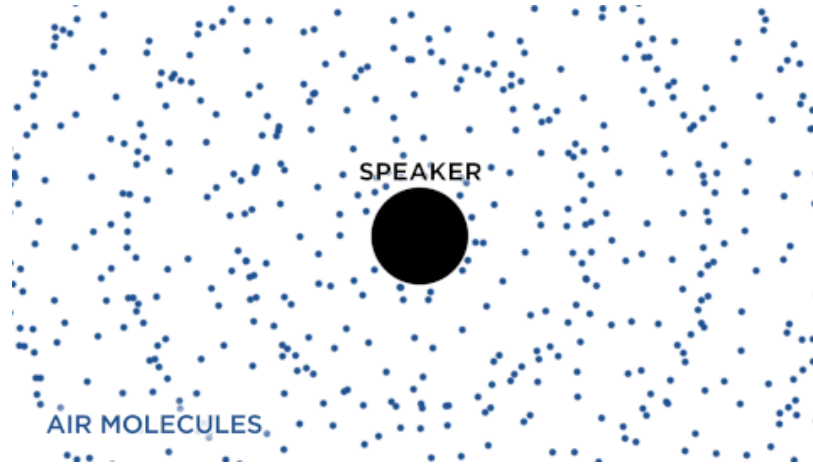
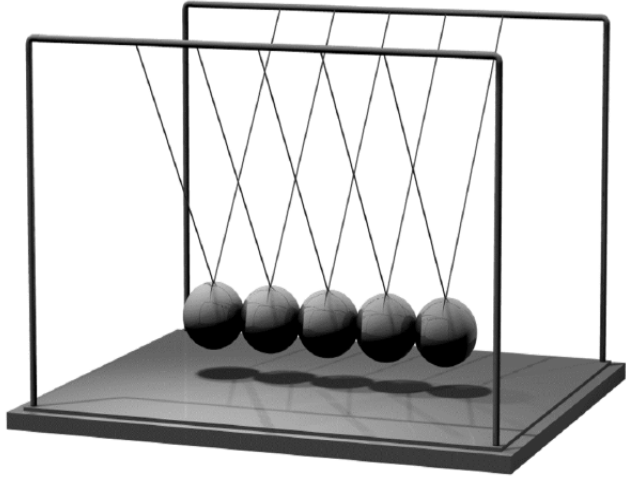
صدا چیست؟

راز آن در یک کلمه نهفته است: ارتعاش

همه صداها از لرزش یک چیز ساخته می‌شوند.



- لرزش تارهای گیتار
- لرزش تارهای صوتی در گلوی ما وقتی حرف می‌زنیم
- لرزش هوا وقتی رعد و برق می‌زند
- این لرزش‌ها مانند موج در هوا حرکت می‌کنند تا به گوش ما برسند.



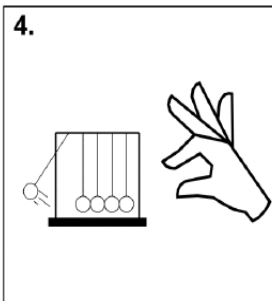
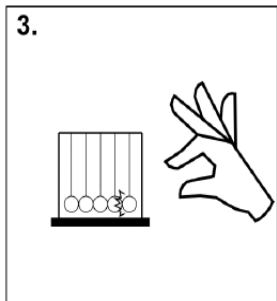
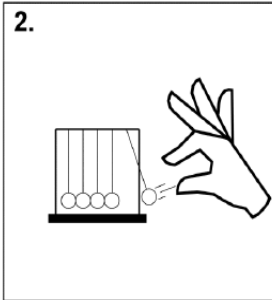
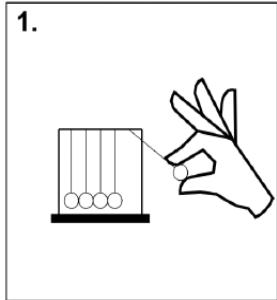
صدا چگونه سفر می کند؟

صدا چگونه مثل یک موج سفر میکند؟

بیایید با یک بازی نشان دهیم:

چندین تپله را در یک خط پشت سر هم بچینید.

به اولین تپله ضربه بزنید.



چه اتفاقی می افتد؟

ضربه به تپله های بعدی منتقل می شود تا به آخرین تپله می رسد.

ذرات هوا هم دقیقاً مثل این تپله ها هستند!

ارتعاش از ذره ای به ذره دیگر منتقل می شود و در نهایت به گوش ما می رسد.



آیا صدا در همه جا شنیده می‌شود؟

در خلأ، هیچ مولکولی برای ارتعاش و انتقال صدا از نقطه‌ای به نقطه دیگر وجود ندارد.

تبدیل امواج مکانیکی به سیگنال‌های الکتریکی در گوش داخلی
پردازش اطلاعات در مغز و درک معنی صدا



بلند / آهسته (مثل تفاوت فریاد زدن در زمین بازی با پیچ کردن در کتابخانه)

خوشایند / آزاردهنده (مثل تفاوت آهنگ مورد علاقه شما با صدای گچ روی تخته سیاه)

زیر / بم (مثل تفاوت صدای جیرجیرک (زیر) با غرش یک شیر (بم))

انواع مختلف صدا

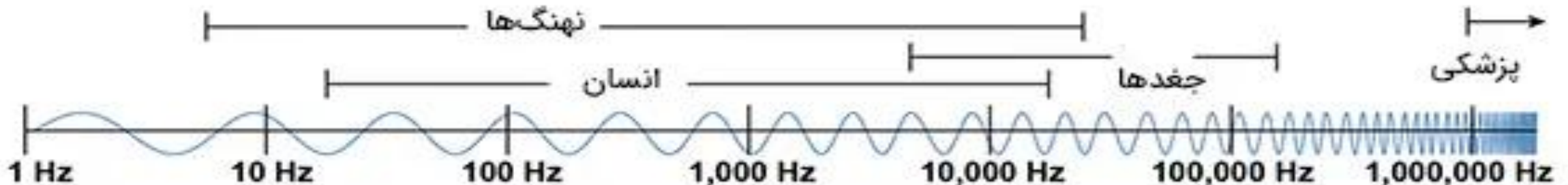
صداهایی که خارج از محدوده شنوایی ما هستند، دو گروه هستند:

امواج مادون صوت (Infrasound): بسامد خیلی کم (زیر ۲۰ هرتز)

ما نمی‌شنویم، ولی فیل‌ها و نهنگ‌ها با آن حرف می‌زنند!
دانشمندان از آن برای پیش‌بینی زلزله استفاده می‌کنند.

امواج فراصوت (Ultrasound): بسامد خیلی زیاد (بالای ۲۰,۰۰۰ هرتز)

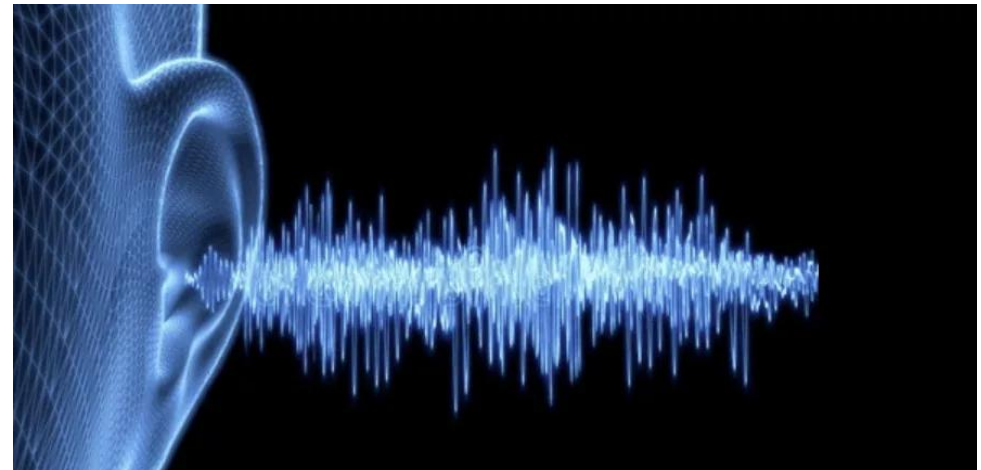
ما نمی‌شنویم، ولی خفاش‌ها و دلفین‌ها با آن جهت‌یابی می‌کنند!
دکترها از آن برای دیدن نوزاد در شکم مادر (سونوگرافی) استفاده می‌کنند.



تفاوت جادویی نور و صدا

آیا نور هم مثل صدا است؟ نه خیلی فرق دارد!

نور	صدا
می‌تواند در خلا (فضا) حرکت کند.	حتماً باید مولکول داشته باشد تا حرکت کند.
مثل نور خورشید که به زمین می‌رسد.	مثل صدایی که در هوا، آب یا دیوار حرکت می‌کند.



صدا در همه جا! حتی در آب و فلز

آیا صدا فقط در هوا حرکت می‌کند؟ هرگز!



آب: وقتی زیر آب هستی، می‌توانی صداهای مبهمی را بشنوی!

اجسام جامد: اگر گوشت را به دیوار بچسبانی، می‌توانی صداهای اتاق بغلی را واضح‌تر بشنوی!

نکته جالب: سرعت صدا در هر محیطی فرق می‌کند. صدا در فلزات سخت (مثل ریل قطار) خیلی سریع‌تر از هوا حرکت می‌کند.



معجزه هلیوم

چرا صدا بعد از آن عجیب می شود؟

دلیل علمی آن چیست؟

مولکول های هلیوم از مولکول های هوا سبک تر هستند.

صدا در این گاز سبک سریع تر حرکت می کند.

این سرعت بیشتر باعث می شود تارهای صوتی ما سریع تر بلرزند

و در نتیجه بسامد صدا بالاتر برود و صدای ما زیر شود!

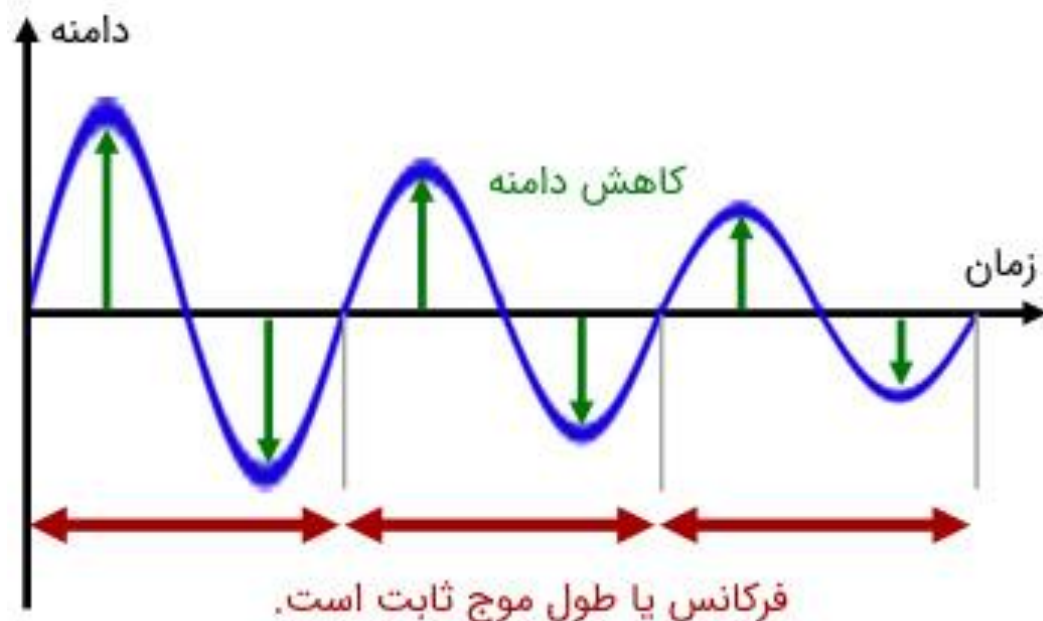


ویژگی‌های مهم صدا

بلندی (Amplitude): یعنی صدا چقدر بلند است (هر چه انرژی صدا بیشتر باشد، بلندتر است).

زیر یا بمی (Frequency): به تعداد لرزش‌ها در یک ثانیه بستگی دارد (هر چه لرزش‌ها تعداد بیشتری در ثانیه داشته باشند، صدا زیرتر است (مثل صدای پرندگان)).

طول موج (Wavelength): فاصله بین دو قله پشت سر هم از موج صوتی (صداها بم، طول موج بلندتری دارند).



رابطه جادویی: سرعت صوت = بسامد × طول موج
یعنی اگر بسامد زیاد شود، طول موج کم می‌شود و برعکس.

بسامد چیست؟

بسامد یعنی تعداد لرزش‌های یک جسم در یک ثانیه.

واحد آن هرتز (Hz) است.

مثال: اگر یک تار گیتار در یک ثانیه ۴۴۰ بار بلرزد، بسامد آن ۴۴۰ هرتز است.

(مثل ضربه زدن به لیوان بلور: ۴۴۰ لرزش در ثانیه!)

شمارش لرزش‌ها



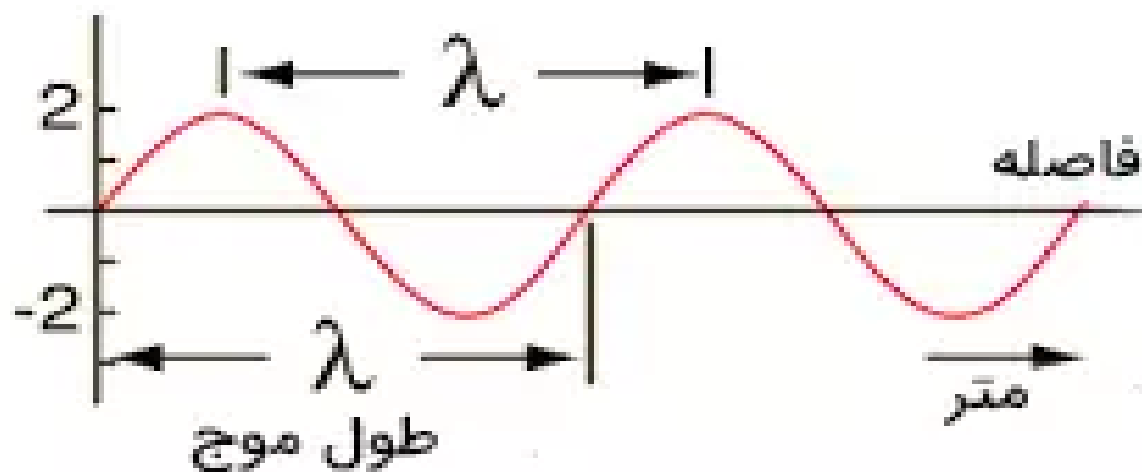
فرکانس بالا (مثلاً ۱۰۰۰۰ هرتز)	فرکانس پایین (مثلاً ۱۰۰ هرتز)
تعداد لرزش‌ها در ثانیه زیاد است.	تعداد لرزش‌ها در ثانیه کم است.
صدا زیر است.	صدا بم است.
مثل: صدای جیرجیرک	مثل: غرغش رعد



طول موج در صدا چیست ؟

ناحیه‌های تاریک، فشردگی هوا را نشان می‌دهند.

به فاصله بین یک ناحیه تاریک با ناحیه تاریک بعدی، طول موج گفته می‌شود.



کاربردهای جالب صدا

صدا فقط برای شنیدن نیست

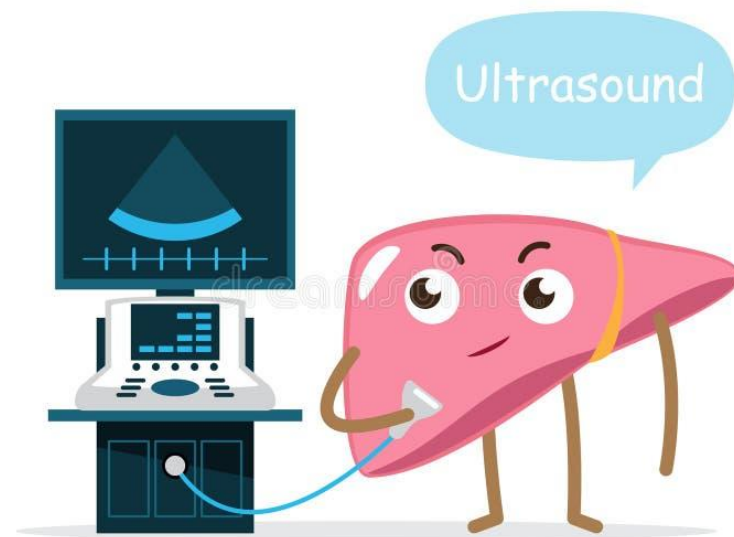
سرگرمی: موسیقی، پادکست، بازی‌های ویدئویی 🎧

پزشکی: سونوگرافی، درمان با امواج صوتی 🏥

هشدار: آژیرها، سیستم‌های اعلام خطر 🚨

طبیعت: ارتباط حیوانات (دلفین‌ها، خفاش‌ها) 🦇

علمی: سونار، اندازه‌گیری عمق دریاها 🔍



کاربردهای جالب صدا

۱. جو صوتیات - رعد و برق ⚡ (چرا صدا دیرتر می‌رسد؟)

۲. زیست صوتیات - خفاش و دلفین 🐬

۳. آو صوتیات و زمین صوتیات - صدای زلزله 🌍

۴. آواشیمی - آتش‌بازی 🔥

۵. آوافیزیک - گیتار و سازها 🎸

۶. گرماصوتیات - انتقال انرژی با صدا ☀️💧

۷. پردازش علائم صوتی - نرم‌افزار تغییر صدا 🎧

۸. سازه صوتیات - سالن کنسرت / آکوستیک 🎵

۹. روان صوتیات - موسیقی و احساسات 😊😞

۱۰. صوتیات برون جوی - صدای مریخ یا خورشید 🚀

۱۱. ارتباطات صوتی زیر آب - زیر دریایی‌ها / دلفین‌ها 🐬

۱۲. ریاضیات در صوتیات - موج سینوسی 📊

۱۳. جذب صوتی - عایق صوتی در سینما 🎬

۱۴. پردازش گفتار و تیکه‌نگاری صوتی - دستیار صوتی + تصویر زیر آب 🎧📺

کاربرد در پزشکی: دیدن با صدا

سونوگرافی (Ultrasound):

از امواج فراصوت (که ما نمی‌شنویم) استفاده می‌کنند.

این امواج به داخل بدن می‌روند و با برگشت، یک تصویر می‌سازند.

با این روش می‌توانند نوزاد در شکم مادر را ببینند یا سلامت اعضای داخلی بدن را بررسی کنند.

فیزیوتراپی:

از امواج صوتی برای درمان دردهای عضلانی و کمک به ترمیم بافت‌های آسیب‌دیده استفاده می‌شود.

شکستن سنگ کلیه با امواج صوتی





کاربرد در نظامی: شنیدن دشمن از دور

ردیابی و استتار:

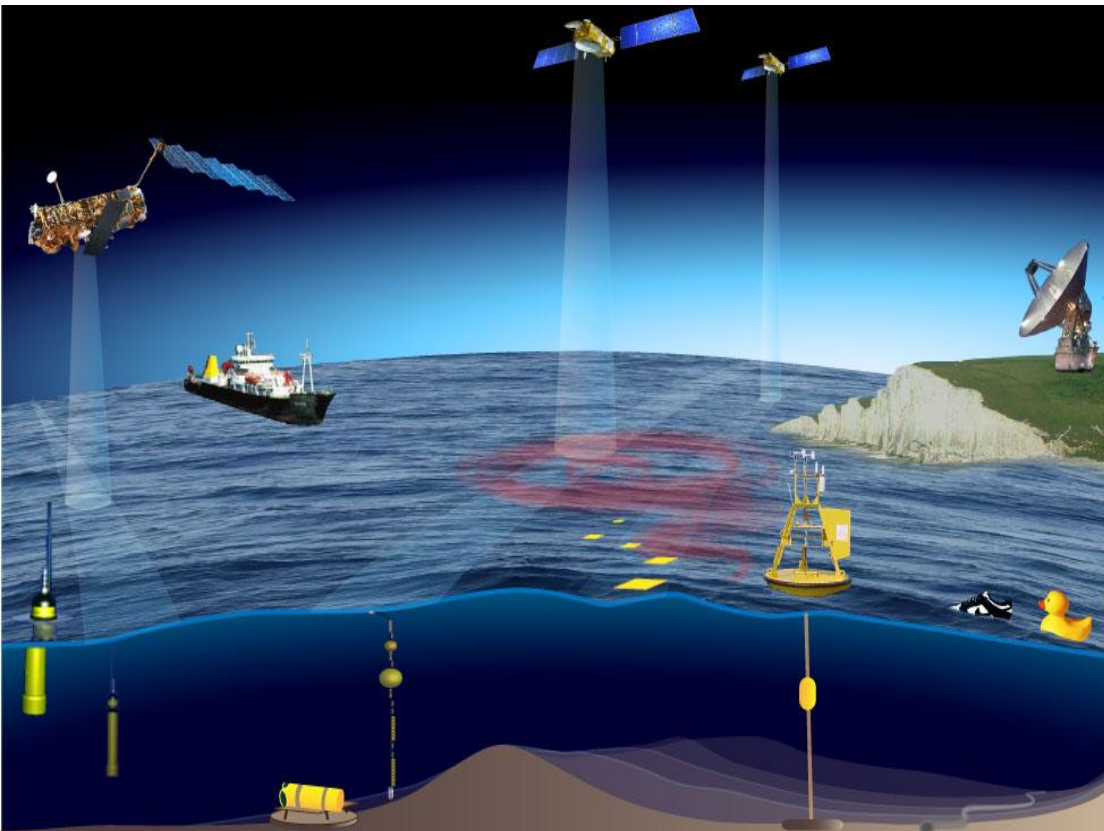
زیر دریایی‌ها با گوش دادن به صداهاى زیر آب (مثل صدای موتور کشتی‌های دیگر) می‌توانند دشمن را پیدا کنند.

آنها سعی می‌کنند کم صدا باشند تا کشف نشوند!

همچنین، برخی سیستم‌ها با تولید امواج صوتی خاص، سونار دشمن را گمراه می‌کنند.



اهمیت پایش سرعت صدا و دمای آب از دیدگاه دفاعی و نظامی



۰۱ عملیات زیر دریایی و ضد زیر دریایی

تأثیر لایه بندی دما و شوری بر عملکرد سونارها
نقش در عملیات ویژه و نیروهای ویژه دریایی

۰۲ امنیت ساحلی

سیستم های نظارتی ساحلی برای تشخیص تحرکات غیر عادی

۰۳ عملیات ناوگان دریایی

تأثیر جریان های قوی بر مانور کشتی ها و زیر دریایی ها
شناسایی و پیش بینی شرایط محیطی

۰۴ کاربرد در سیستم های نظارتی و شناسایی

شبکه های حسگر های زیر آبی
جنگ الکترونیک دریایی و اثر دما بر عملکرد سیستم های ارتباطی



اهمیت پایش سرعت صدا

در لایه‌های مختلف دریا
از دیدگاه نظامی و امنیتی



پنهان‌کاری

و کاهش شناسایی صوتی
Stealth & Acoustic Signature Reduction

زیردریایی‌ها با استفاده
از لایه‌های سرعت صدا،
از تشخیص سونار
دشمن فرار می‌کنند
Wang et al. (2024)



مقابله با مین‌های دریایی

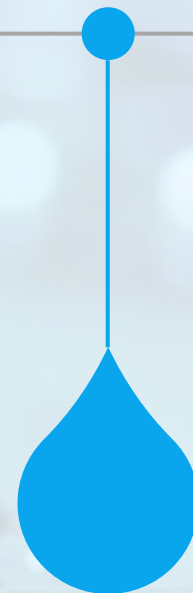
Mine Countermeasures (MCM)
سونارهای بسامد بالا برای
تشخیص مین‌ها نیاز به داده‌های
دقیق سرعت صدا دارند
US Navy (2020)



ارتباطات زیرآبی

Underwater Communication
استفاده از امواج صوتی که
وابسته به سرعت صدا
هستند، برای ارتباط
زیردریایی‌ها و پهپادهای
زیرآبی

Zhang et al. (2024) سیستم‌های هدایت اژدرها برای اصابت
دقیق به سرعت صدا وابسته‌اند
US Navy (2017)



جنگ ضدزیردریایی

Anti-Submarine Warfare (ASW)

بهینه‌سازی عملکرد سونار

(Sonar Performance Optimization)

افزایش دقت سونار در
تشخیص زیر دریایی‌ها و
تهدیدات زیر آب با پروفیل
دقیق سرعت صدا
Zhang et al. (2024)

اهمیت پایش سرعت جریان

در لایه‌های عمق مختلف



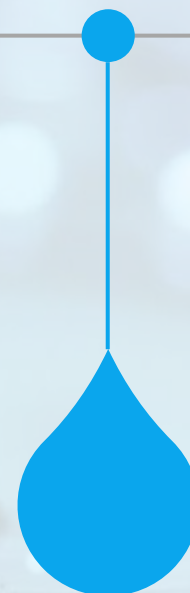
**انرژی دریایی
و منابع تجدیدپذیر
توربین‌های آبی
بررسی پتانسیل انرژی موج**



**مدیریت سکوهای نفتی
آلودگی و پاک‌سازی
محیط زیست
پیش‌بینی گسترش آلودگی‌های نفتی
مدیریت پسماندهای صنعتی**



**اکوسیستم‌های دریایی
و تنوع زیستی
جابجایی و مهاجرت
آبزیان و ماهی‌ها**



**مدیریت کشتیرانی
و حمل‌ونقل دریایی
بهینه‌سازی مسیر کشتی‌ها
پیشگیری از تصادفات دریایی
تاثیر شناسایی مسیر جریان موافق و مخالف
برای مصرف سوخت کشتی‌ها**



**پیش‌بینی آب‌وهوا
و اقلیم
جریان‌های اقیانوسی
سرعت جریان‌های عمیق
پیش‌بینی طوفان‌های دریایی**

کاربرد در تحقیقات و محیط زیست: گوش دادن به زمین

مطالعه حیوانات:

دانشمندان با ضبط و تحلیل صداهای حیوانات (مثل نهنگ‌ها و دلفین‌ها) به رازهای زبان و رفتار آن‌ها پی می‌برند.

هواشناسی:

با ردیابی صدای رعد و برق و انفجارهای آتشفشانی می‌توان طوفان‌ها و فوران‌ها را مطالعه و پیش‌بینی کرد.

اکتشاف نفت:

با فرستادن امواج صوتی به اعماق زمین و تحلیل آن، می‌توانند منابع نفت و گاز را پیدا کنند.





کاربرد در مهندسی و صنعت: پیدا کردن ترک با صدا

آزمایش غیرمخرب:

مهندسان با فرستادن امواج صوتی به داخل مصالح (مثل بدنه هواپیما یا پل)، به دنبال ترک‌های ریز می‌گردند.

اگر صدا به طور غیرعادی برگردد، یعنی یک ترک یا مشکل داخلی وجود دارد.

پاکسازی با صدا!

از امواج فراصوت برای تمیز کردن دقیق وسایل حساس مانند جواهرات و قطعات الکترونیکی استفاده می‌شود.

کاربرد در فناوری روز: کنترل صدا با صدا

دستیارهای صوتی: (پردازش گفتار)

Siri، Google Assistant و... با تشخیص صدای شما، دستوراتتان را اجرا می کنند.

حذف نویز فعال:

هدفون های هوشمند با تولید یک صدای مقابل، صداهای مزاحم محیط را خنثی می کنند تا شما فقط موسیقی خودتان را بشنوید.





کاربرد در هنر و سرگرمی: ساختن دنیاهای جدید

صنعت فیلم و بازی:

مهندسان صدا با ضبط و ترکیب صداهاى مختلف (مثل صدای شکستن چوب برای صدای شکستن استخوان!) فضا سازی می کنند.

در واقعیت مجازی (VR)، صدا از جهت های مختلف می آید تا حس واقعی تری به کاربر بدهد.

چرا در سالن ها، صدا متفاوت است؟
عایق کاری صوتی و طراحی استودیو



سونار (Sonar):

کشتی‌ها و زیردریایی‌ها امواج صوتی را به کف دریا می‌فرستند.

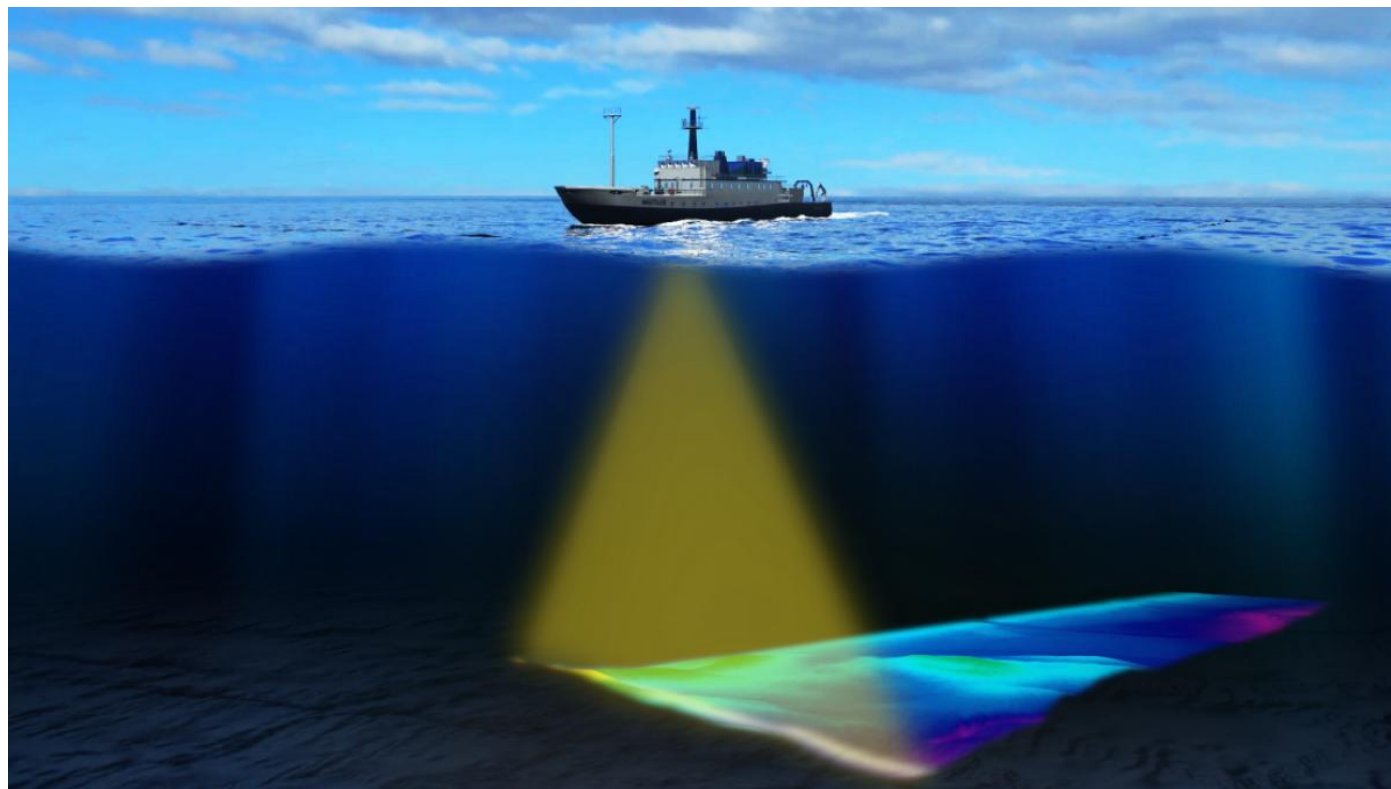
با اندازه‌گیری زمان بازگشت (پژواک)، عمق آب و نقشه کف دریا را رسم می‌کنند.

این فناوری به ماهیگیران کمک می‌کند محل تجمع ماهی‌ها را پیدا کنند.

به کمک امواج صوتی و تیکه‌نگاری صوتی دما، سرعت صدا و سرعت جریان اندازه‌گیری می‌شود.

ارتباطات زیر آب، ارتباط زیردریایی‌ها، پیدا کردن لاشه‌ها

کاربرد در دریا و ناوبری: چشم زیر آب



اهمیت پایش دمای آب

در لایه‌های مختلف عمق

تأثیر بر اقلیم جهانی

گرمایش اقیانوس‌ها
پدیده‌های النینو و لانینا
ذوب یخ‌های قطبی

اکوسیستم‌های دریایی و مرجان‌ها

تغییر در مناطق
تخم‌گذاری ماهی‌ها
اسیدی شدن آب دریا

امنیت ساحلی و بلایای طبیعی

طوفان‌های گرمسیری
تغییر در الگوهای امواج سونامی

ماهی‌گیری و صنایع غذایی

پیش‌بینی مناطق تجمع
ماهی‌ها
پرورش آبزیان

تیکه‌نگاری صوتی یک فناوری برای اندازه‌گیری **سرعت جریان** و **دما** در محیط‌های آبی



زمان‌بر
و هزینه‌بر

ابزارهای مختلفی نظیر CTD

دمای آب میانگین در عمق (با آرایه‌هایی از حسگرها در اعماق مختلف)

اندازه‌گیری

دمای مخزن سد در
لایه‌های مختلف عمق

کم‌تر از یک کیلوهرتز
(فواصل چند هزار کیلومتری)

۱۰ تا ۶۰ کیلوهرتز
(۱۰۰ تا ۷۰۰ متر)

۱ تا ۱۰ کیلوهرتز
(فواصل کم‌تر از ۱۰۰ کیلومتر)

اقیانوسی OAT

رودخانه‌ای FAT

ساحلی CAT

امواج صوتی

دانش
سنجش از دور

نوری

عدم امکان پایش
توزیع تغییرات داده‌های
اعماق آب

امواج الکترومغناطیسی
(رادییوی)

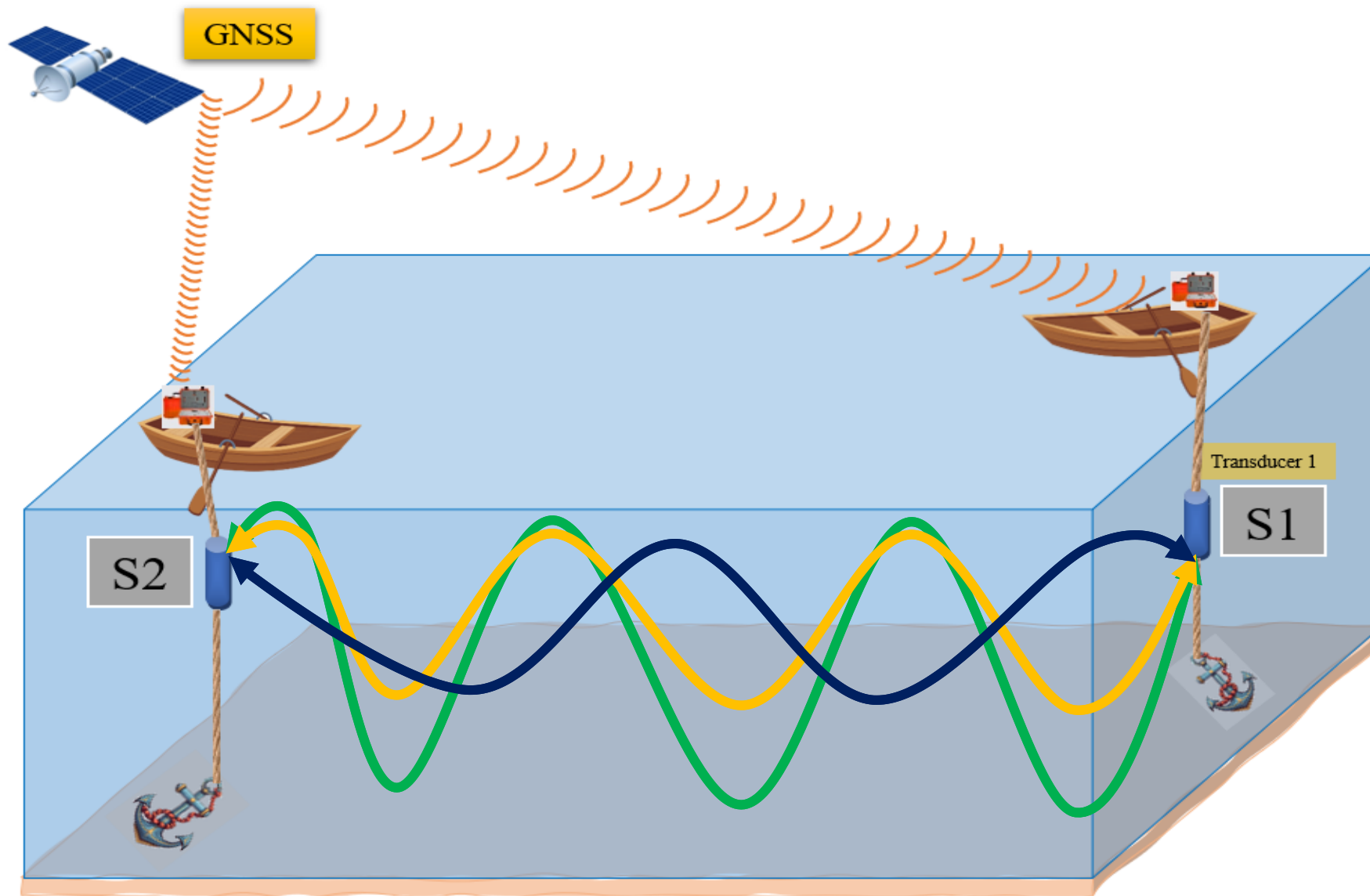
❑ ارسال امواج از بخش تراگذار در دو طرف و انتشار امواج در **کل عمق** به علت وجود دو **مرز مهم بستر و سطح آب**

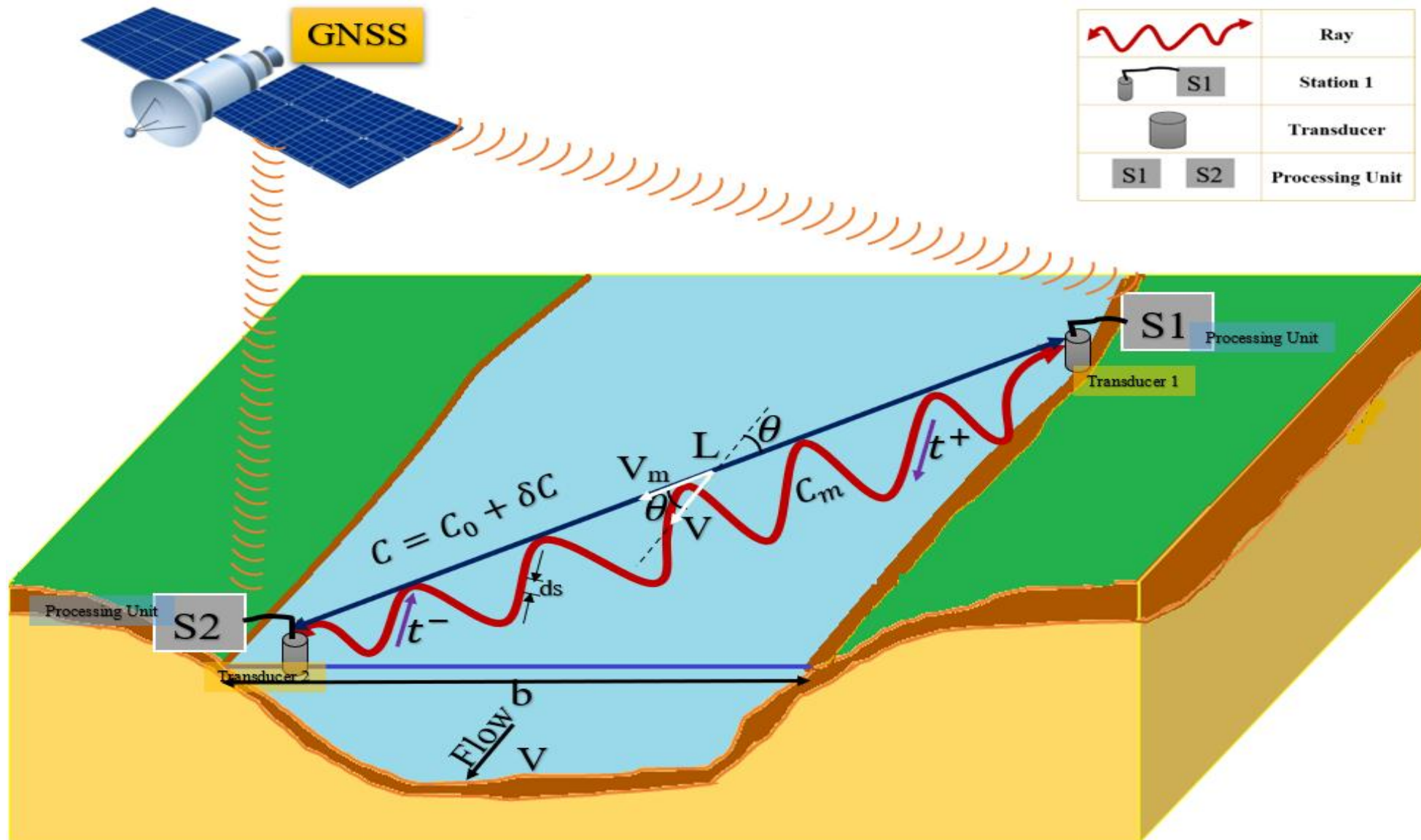
❑ دریافت امواج رسیده و **ثبت زمان رسیدن امواج** در بخش پردازنده

❑ محاسبه **سرعت صدا متوسط برای لایه‌های مختلف** و **پایش روند تغییرات دما و سرعت جریان** به عنوان تابعی از عمق

تفاوت اصلی سه نوع دستگاه
در بسامد امواجی ارسالی











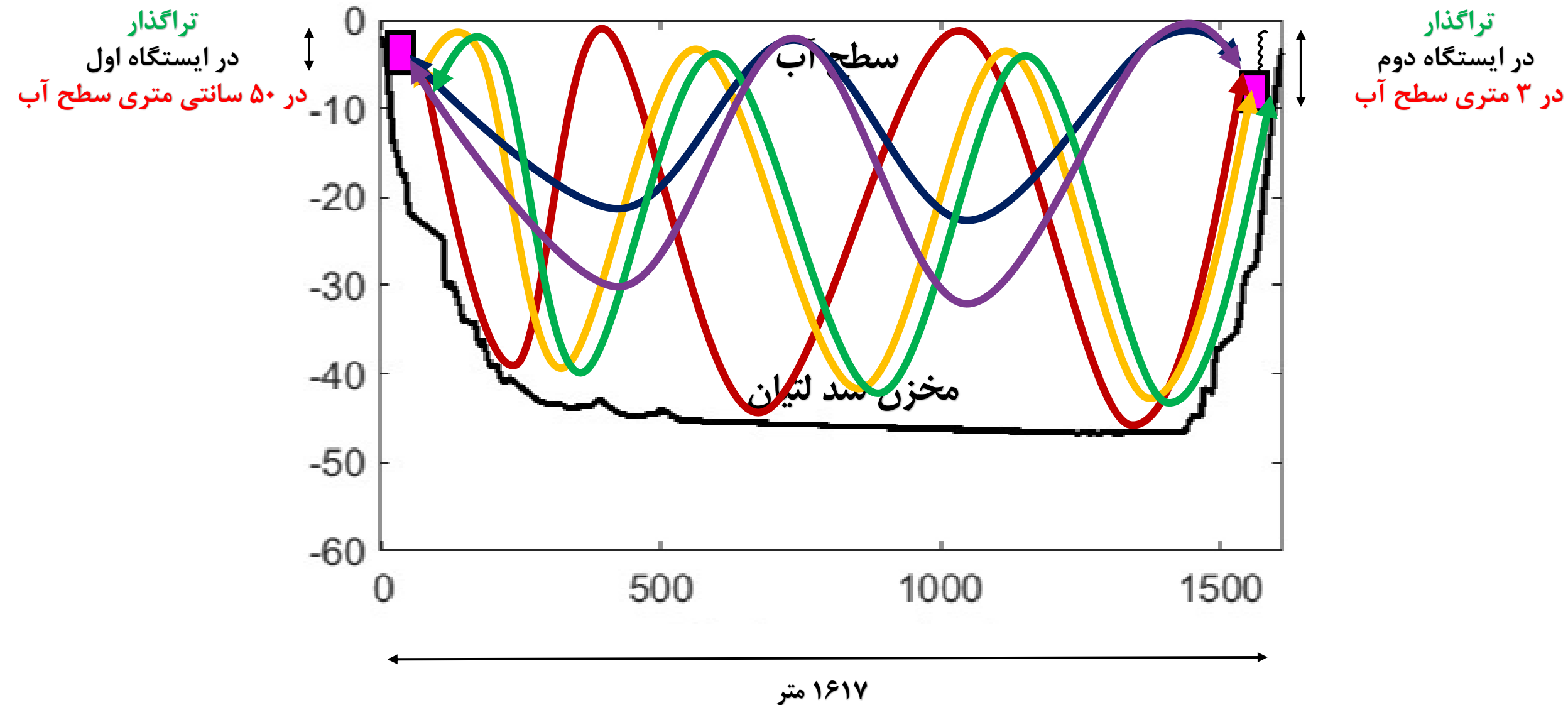
اجزا دستگاه پرتونگاری مقطعی صوتی



قرار دادن تراگذار داخل کانال آب موسسه تحقیقات آب



انجام آزمایش یا دستگاه ۱۰ کیلوهرتز



مدل مفهومی نحوه ارسال امواج بین دو ایستگاه پرتونگاری مقطعی صوتی و اجزای آن



نمایش محل قرار گیری دو ایستگاه پرتونگاری مقطعی صوتی در مخزن سد لیتیان

محل آزمایش: سد لیتیان

□ سد لیتیان: بر روی رودخانه جاجرود

□ ۱۰ کیلومتری شمال شرقی تهران و در جنوب شهر لواسان

□ سد بتنی پایه دار

□ ساخت: سال ۱۳۴۲ بهره برداری: سال ۱۳۴۶

□ ارتفاع از پی: ۱۰۷ متر

□ ارتفاع از کف رودخانه: ۸۰ متر

□ طول تاج: ۴۵۰ متر

□ عرض تاج: ۹ متر

□ تعداد دریچه های تخلیه آب: ۲ عدد

□ حجم کل مخزن: ۹۵ میلیون متر مکعب

□ ارسال صوت در فواصل ۳۰ ثانیه ای

□ برداشت داده های CTD و عمق سنجی و پرتونگاری مقطعی صوتی

□ زمان داده برداری اول و دوم آبان ۱۳۹۹

بازدید از سد لتیان



تاج سد لتیان و وجود زباله در روی سطح آب



بازدید از تاج سد لتیان



بالادست سد لتیان از سمت شهر لواسان
محل ورود رودخانه به مخزن سد



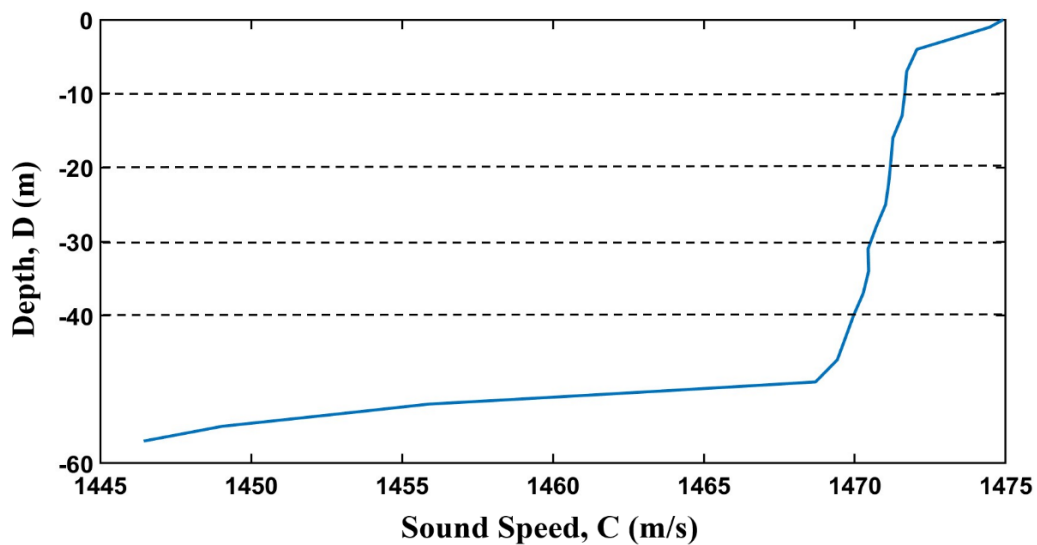
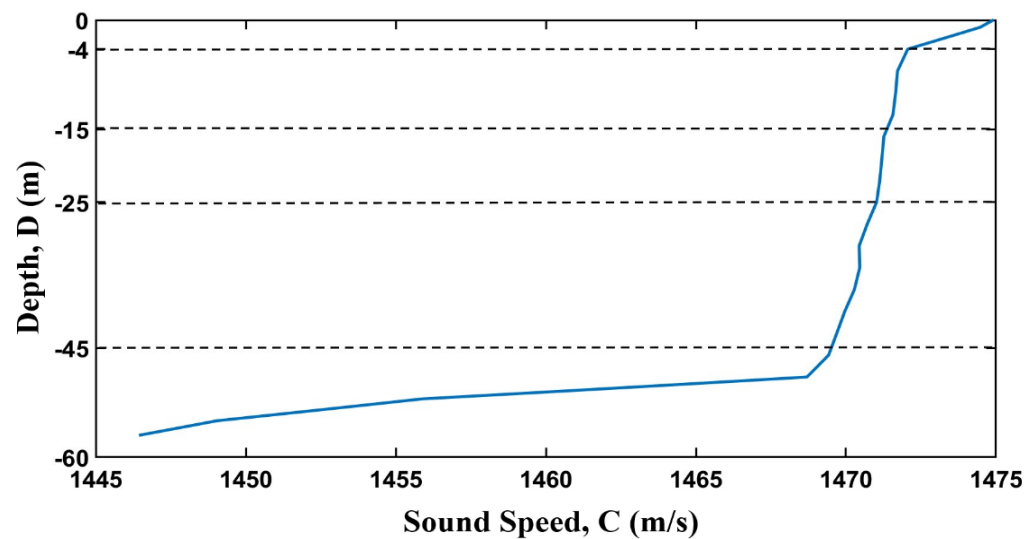
پایین دست سد لتیان



محل قرار گیری ایستگاه شماره یک

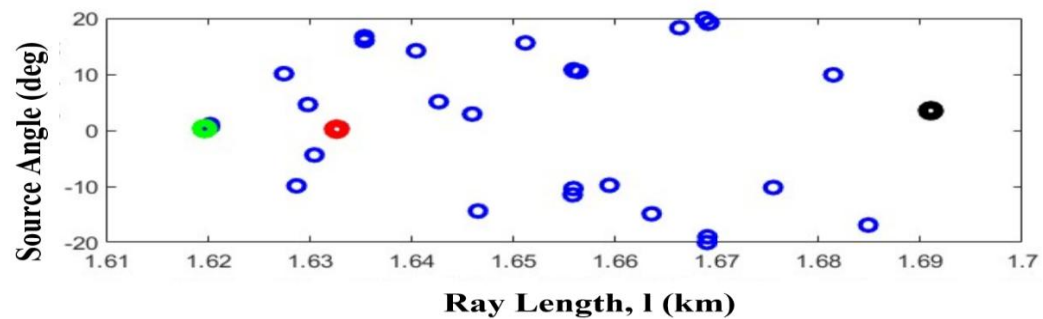
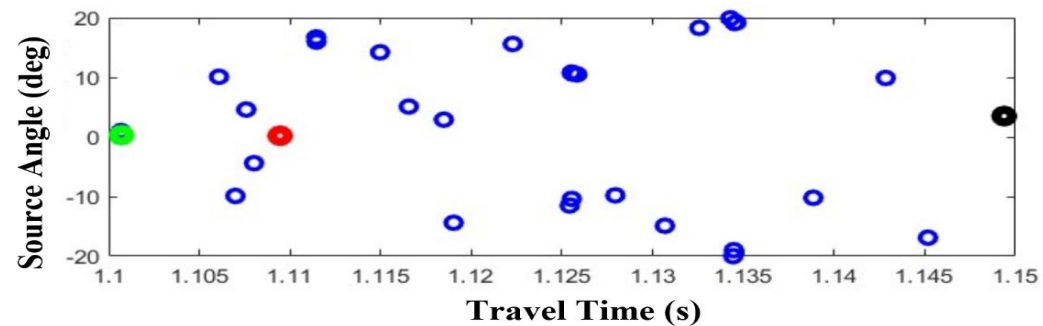
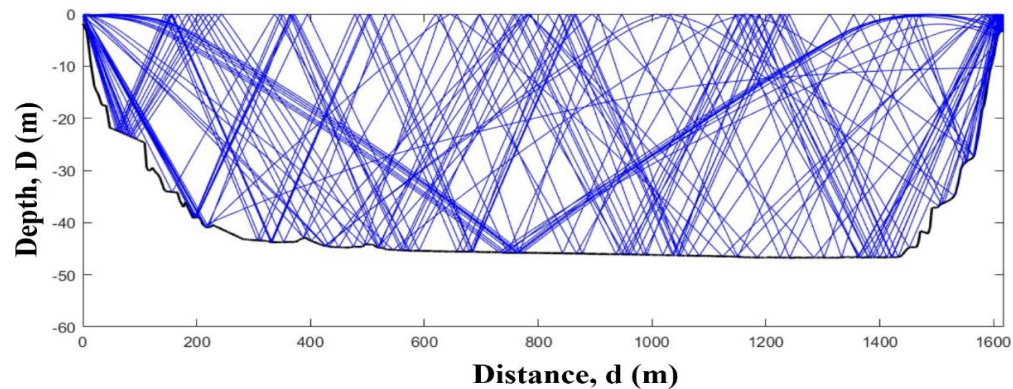




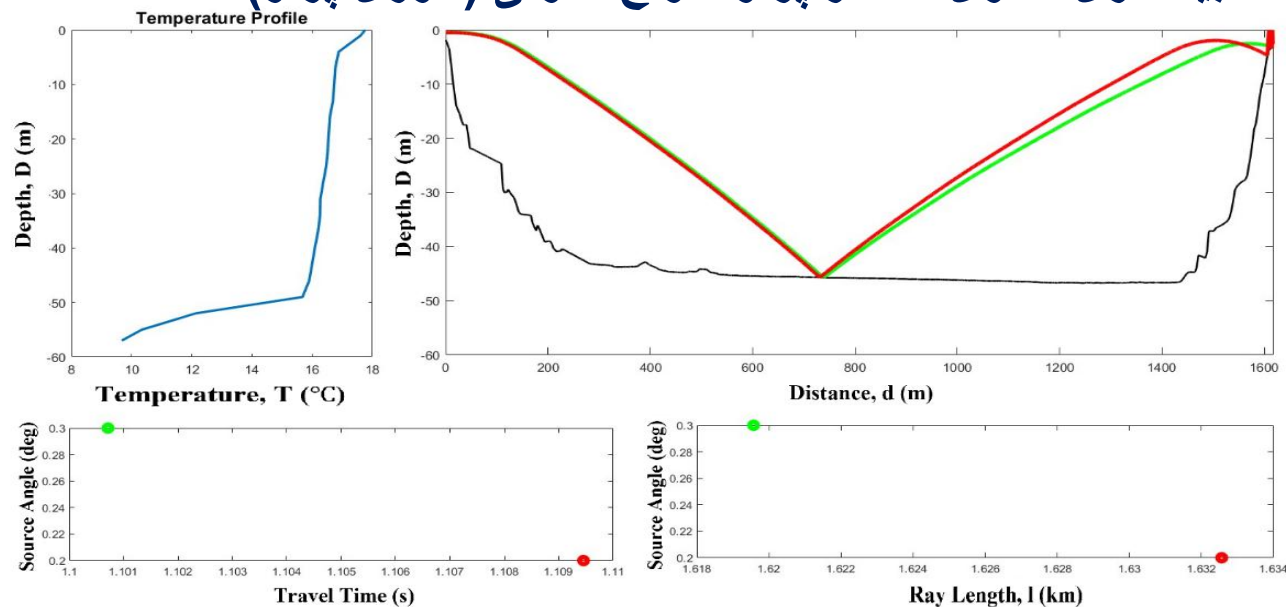


نیمرخ سرعت صوت مرجع و انتخاب لایه‌بندی

شماره لایه	شماره سناریو	عمق از سطح آب	سرعت صوت مرجع
(j)		D (m)	C_{0j} (m/s)
لایه اول	سناریوی اول	صفر تا ۴	۱۴۷۳/۶۶
	سناریوی دوم	صفر تا ۱۰	۱۴۷۲/۵۴
لایه دوم	سناریوی اول	۴ تا ۱۵	۱۴۷۱/۶۸
	سناریوی دوم	۱۰ تا ۲۰	۱۴۷۱/۴۰
لایه سوم	سناریوی اول	۱۵ تا ۲۵	۱۴۷۱/۱۷
	سناریوی دوم	۲۰ تا ۳۰	۱۴۷۰/۹۴
لایه چهارم	سناریوی اول	۲۵ تا ۴۵	۱۴۷۰/۲۹
	سناریوی دوم	۳۰ تا ۴۰	۱۴۷۰/۳۳
لایه پنجم	سناریوی اول	۴۵ تا ۵۷	۱۴۵۹/۷۲
	سناریوی دوم	۴۰ تا ۵۷	۱۴۶۲/۶۵



شبیه‌سازی الگوی انتشار پرتو امواج صوتی (تئوری پرتو)

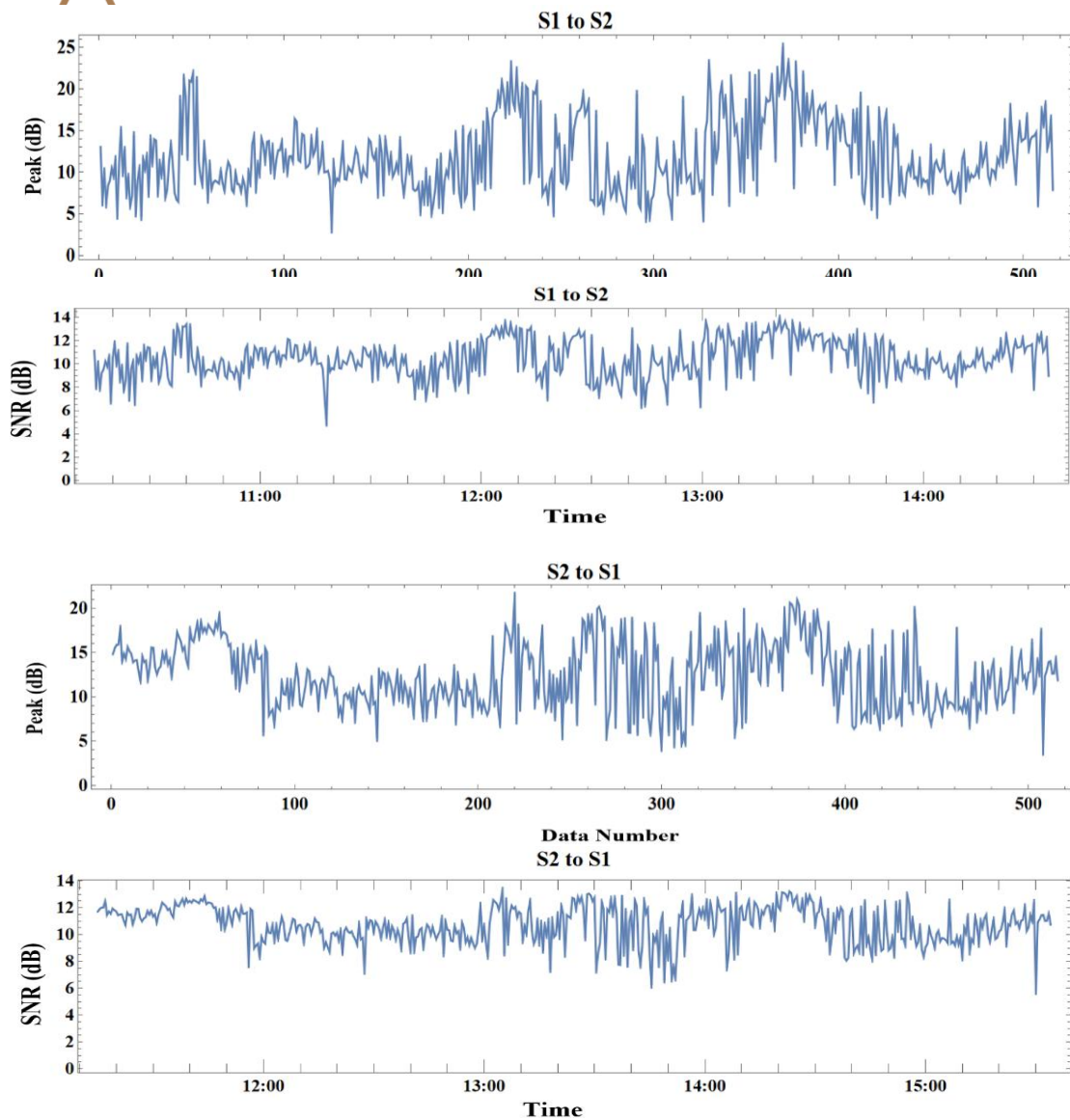


☐ همگی به ایستگاه دوم نخواهند رسید. به دنبال پرتو ویژه هستیم.

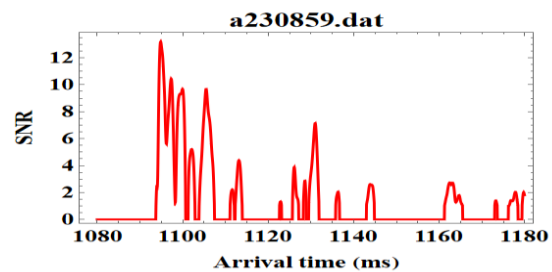
☐ از تعداد 400 پرتو رهگیری شده 36 پرتو به ایستگاه دوم رسیدند.

☐ تعداد گام‌های انتگرال‌گیری شده 8040 بار و مقدار افزایش گام‌های افقی 0/2 متر در نظر گرفته شد.

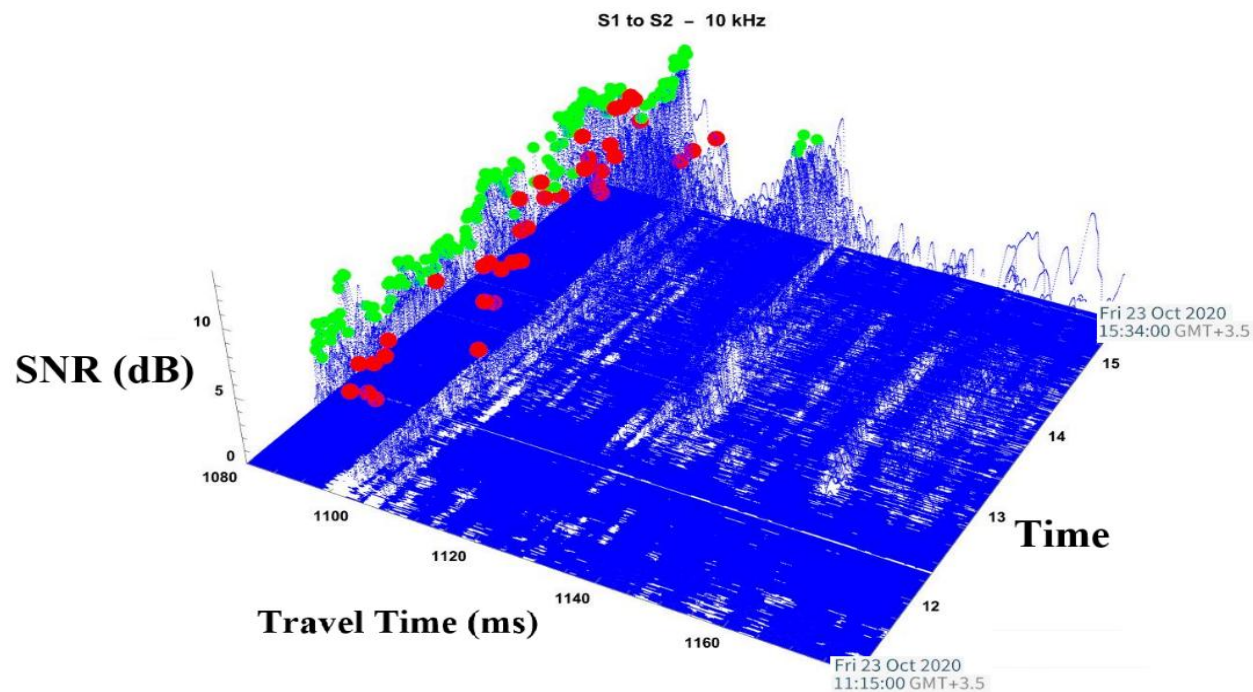
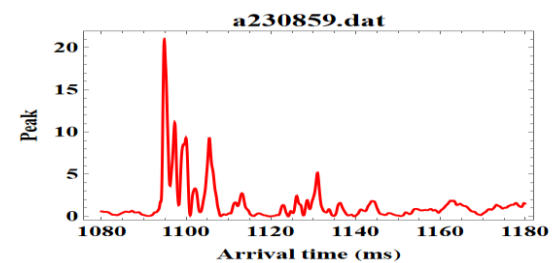
☐ پرتو صوتی با زاویه پرتاب 0/3 درجه نسبت به افق با زمان پیمایش معادل 1/1007 ثانیه به عنوان پرتو ویژه اول انتخاب شد. پرتو صوتی با زاویه پرتاب 0/2 درجه و زمان پیمایش 1/1095 ثانیه به عنوان پرتو ویژه دوم انتخاب شد.

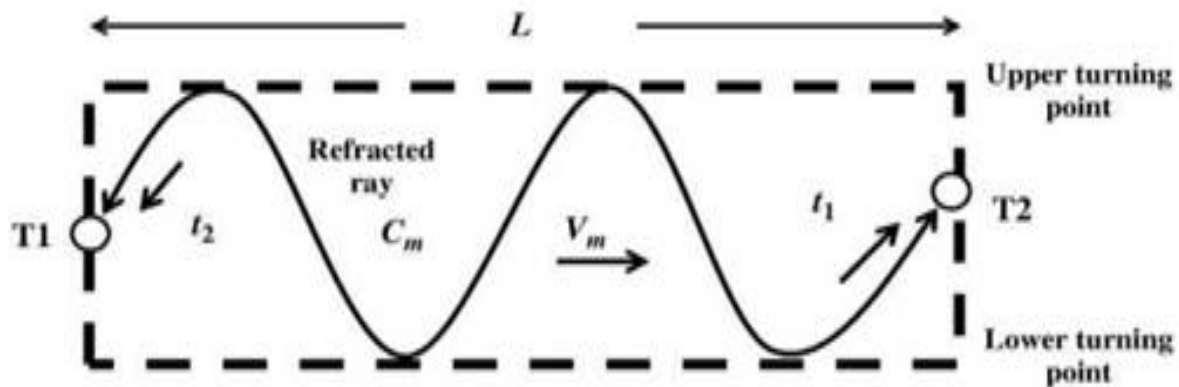


بسامد 10 کیلوهرتز



استخراج اوج‌های اول و دوم





حل مسئله معکوس عمودی (لایه‌ای)

$$t_1 = \int_{T+} \frac{ds}{C + v} \approx \frac{L}{C_m + V_m}$$

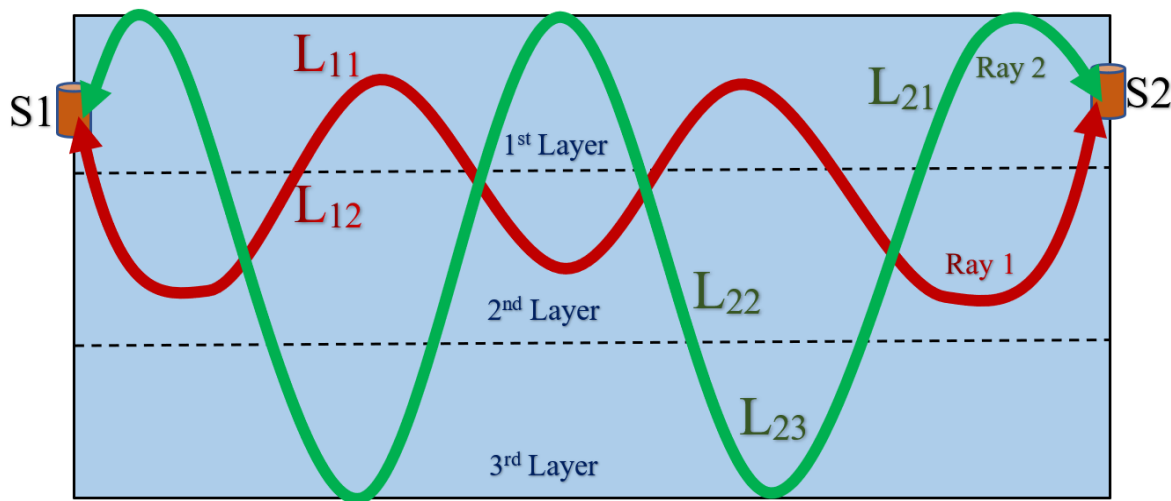
$$t_2 = \int_{T-} \frac{ds}{C - v} \approx \frac{L}{C_m - V_m}$$

طرح‌واره‌ای از انتقال صوت متقابل در یک برش عمودی

$$\begin{cases} C_m + V_m = \frac{L}{t_1} \\ C_m - V_m = \frac{L}{t_2} \end{cases} \rightarrow C_m = L \left(\frac{t_m}{t_m^2} \right)$$

$$C_m = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right) \approx \frac{L}{t_m}$$

$$V_m = \frac{L}{2} \left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2} \right) \approx \frac{C_0}{2L} \Delta t = \frac{L}{2t_0^2} \Delta t$$



$$\frac{l_{11}}{C_{01} + \delta C_1} + \frac{l_{12}}{C_{02} + \delta C_2} = t_{01} + \delta t_1$$

$$\frac{l_{21}}{C_{01} + \delta C_1} + \frac{l_{22}}{C_{02} + \delta C_2} + \frac{l_{23}}{C_{03} + \delta C_3} = t_{02} + \delta t_2$$

$$\frac{l_{11}}{C_{01} + \delta C_1} + \frac{l_{12}}{C_{02} + \delta C_2} = \frac{l_{11}}{C_{01}} + \frac{l_{12}}{C_{02}} + \delta t_1$$

$$\frac{l_{21}}{C_{01} + \delta C_1} + \frac{l_{22}}{C_{02} + \delta C_2} + \frac{l_{23}}{C_{03} + \delta C_3} = \frac{l_{21}}{C_{01}} + \frac{l_{22}}{C_{02}} + \frac{l_{23}}{C_{03}} + \delta t_2$$

$$\sum_{j=1}^N \frac{l_{ij}}{C_{0j} + \delta C_j} = t_{0i} + \delta t_i$$

δC_j تغییرات سرعت صدا در لایه j ,

t_{0i} برابر زمان پیمایش مرجع پرتو i ,

l_{ij} برابر طولی که پرتو i در لایه j طی می کند

C_{0j} برابر سرعت صدای مرجع در لایه j

محاسبه زمان پیمایش مرجع و سرعت صدای مرجع

$$\frac{l_{11}}{C_{01}} + \frac{l_{12}}{C_{02}} = t_{01}$$

$$\frac{l_{21}}{C_{01}} + \frac{l_{22}}{C_{02}} + \frac{l_{23}}{C_{03}} = t_{02}$$

تغییرات زمانی سرعت صوت در هر لایه نسبت به سرعت صوت مرجع در همان لایه



☐ نتایج با خطای کمتر از 0/0001 پذیرفته شد.

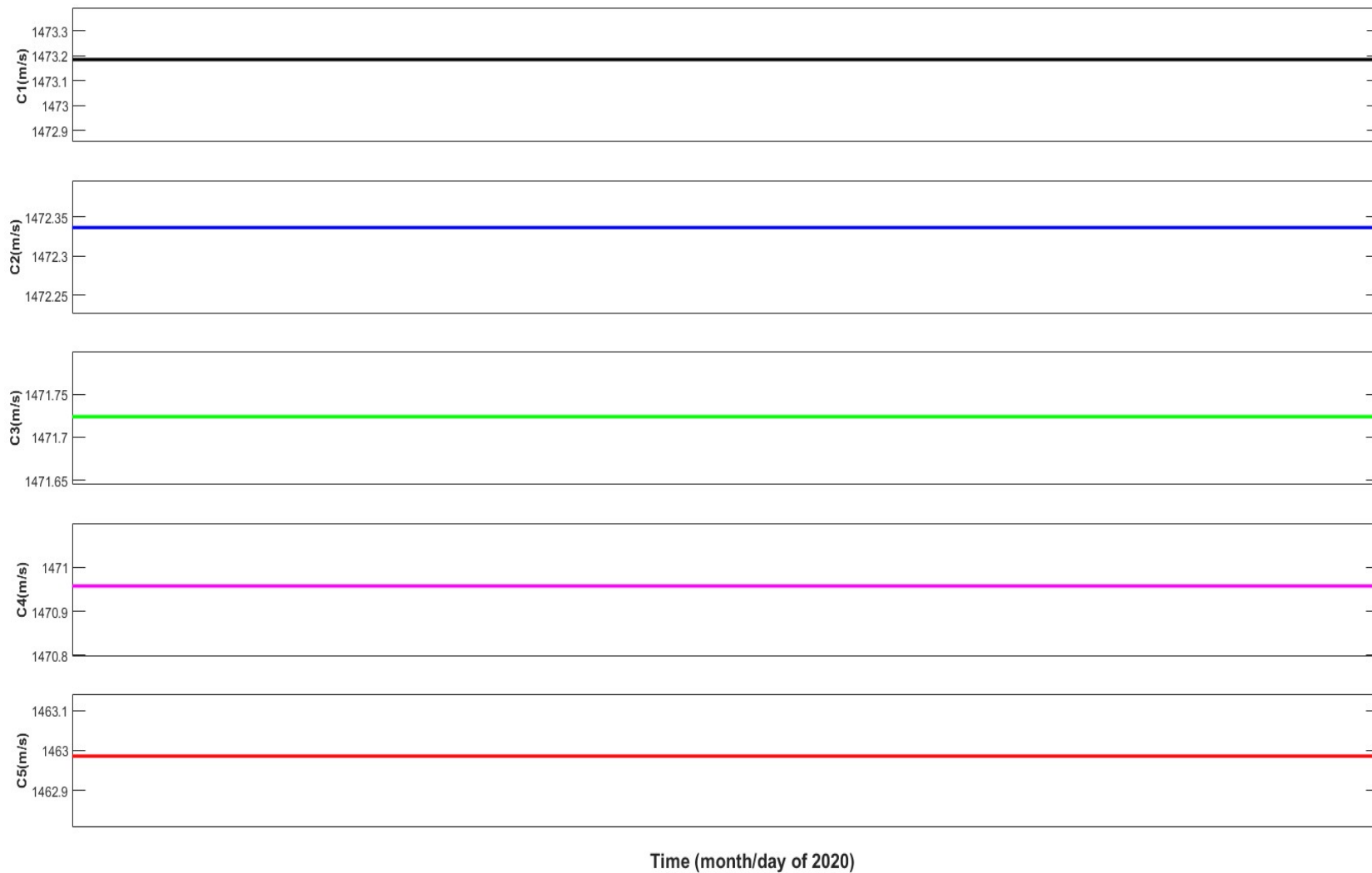
☐ اختلاف سرعت صوت (دلتا) نسبت به سرعت صوت مرجع محاسبه شد.

☐ لایه اول، کمترین اختلاف نسبت به سایر لایه‌ها از سرعت صوت مرجع وجود دارد.

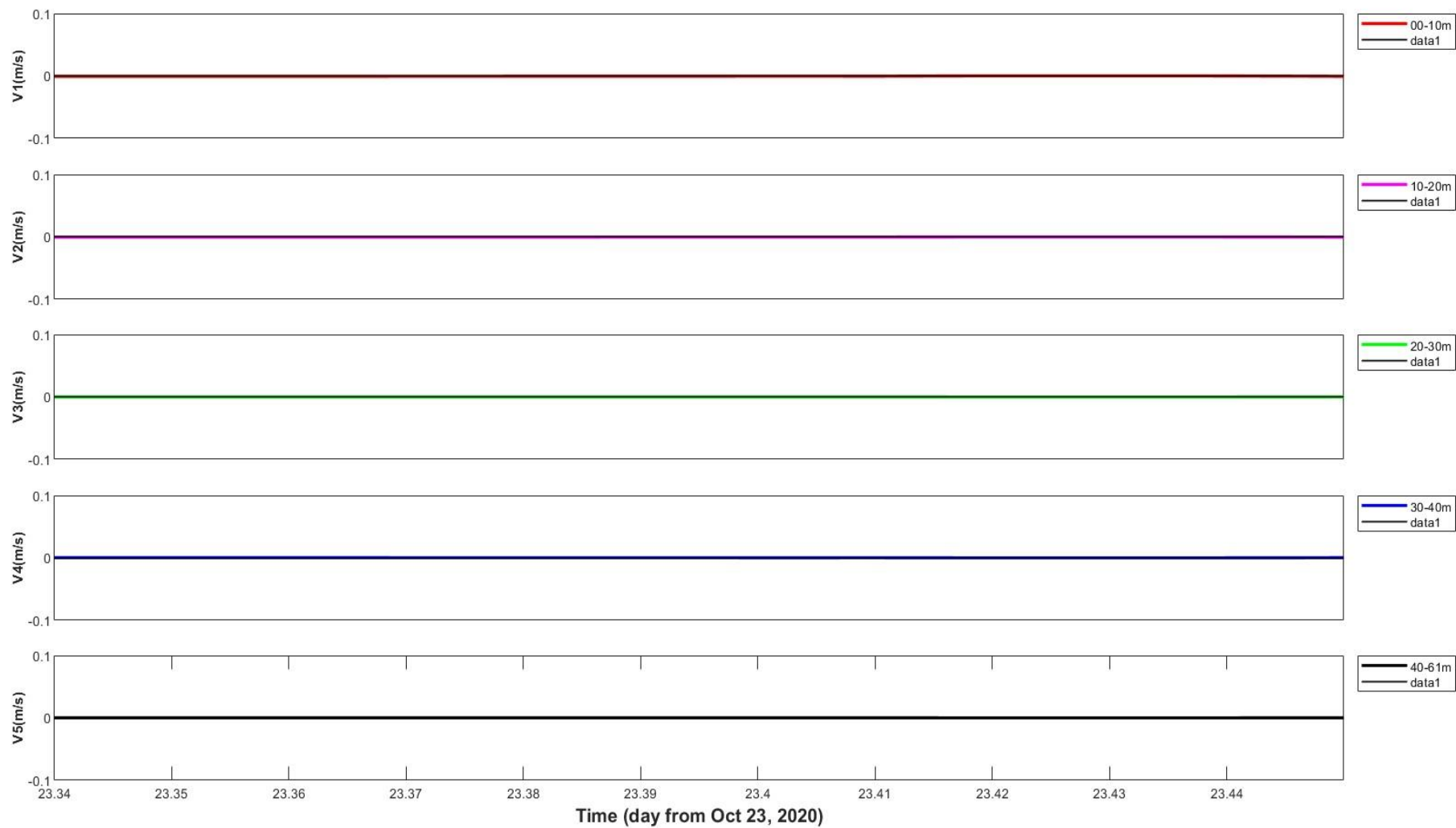
☐ بیشترین اختلاف نیز مربوط به لایه چهارم می‌باشد.

☐ در طول داده‌برداری این تغییرات در هر لایه ثابت بوده و نوسان ندارد.

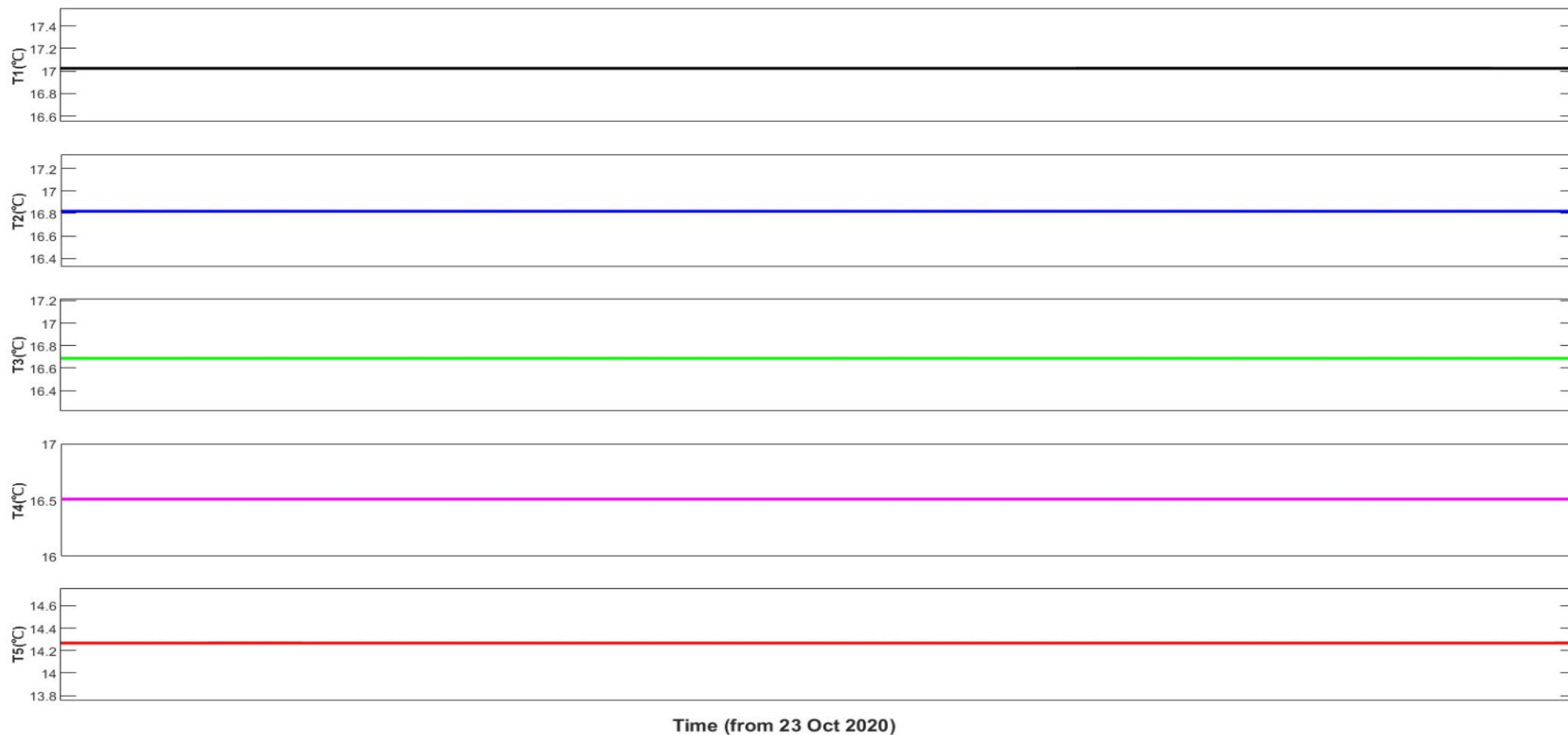
تغییرات زمانی سرعت صوت
در هر یک از پنج لایه
در مخزن سد لتیان



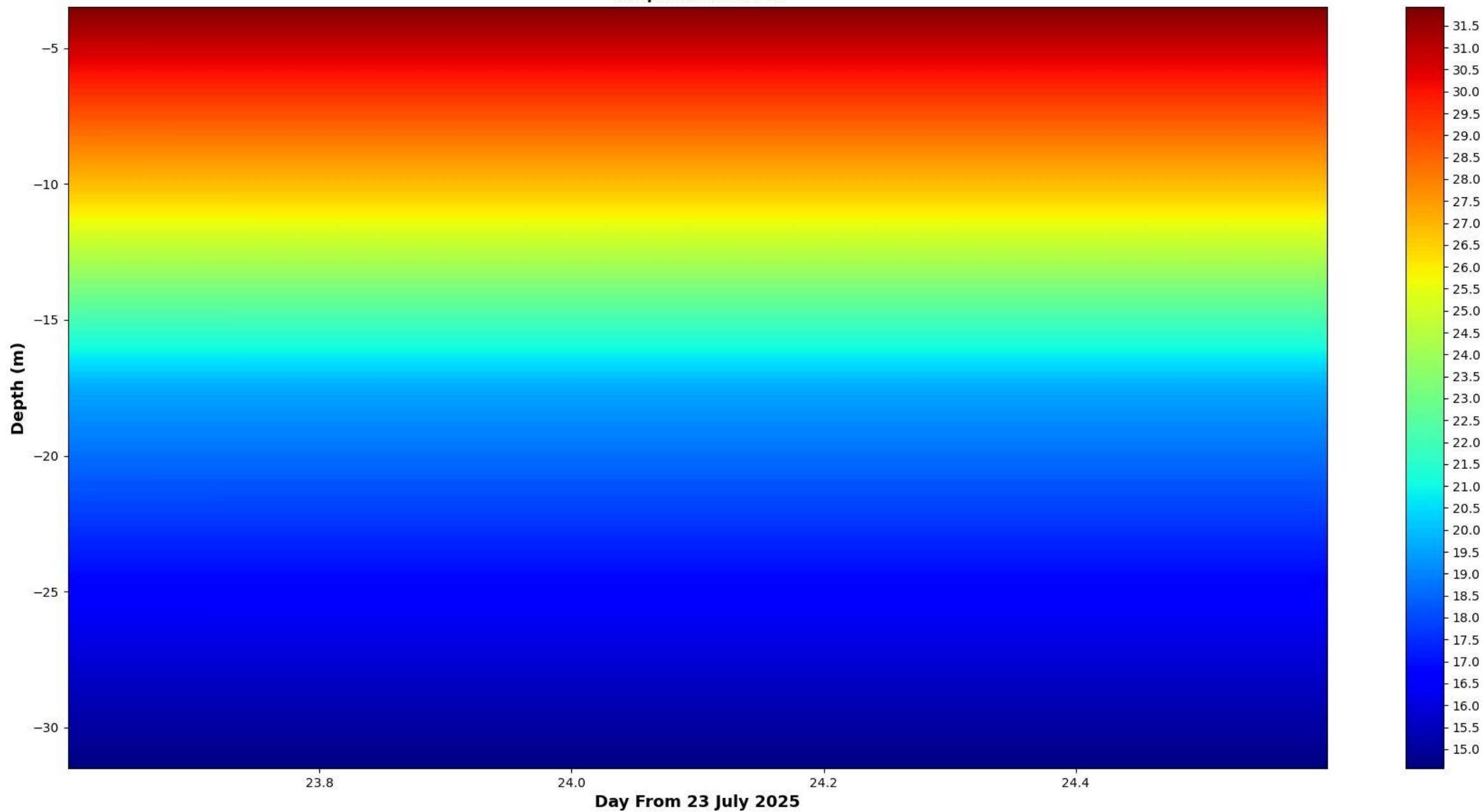
تغییرات زمانی سرعت جریان در هر یک از پنج لایه نیمرخ عرضی مخزن سد لتیان



تغییرات زمانی دمای متوسط در هر یک از پنج لایه در مخزن سد لتیان



Temperature Profile



حالا نوبت سوالات شماست

دنیای بی‌کران علوم صوتی

همانطور که دیدید، علوم صوتی فقط مربوط به موسیقی نیست!
از کف اقیانوس تا اعماق فضا، از بدن انسان تا صنایع بزرگ، امواج
صوتی به ما کمک می‌کنند تا ببینیم، کشف کنیم و دنیای بهتری
بسازیم.

شاید روزی شما هم با استفاده از قدرت صدا، اختراع بزرگی کنید!



با سپاس از توجه شما