ابزارهای اندازه‌گیری در فیزیک دریا

Measurement Instruments in Physical Oceanography

مقدمه
شناورها و سکوها
۱- شناورهای اقیانوس‌شناسی
- بالابر
۲- سکوهای ثابت
۳- زیردریایی تحقیقاتی
۴- وسیله یدک شده
۵- شناورهای ردیاب
اندازه‌گیری ویژگی‌های آب دریا و خصوصیات هیدروگرافی
۱- دماسنج‌ها
۲- نمونه‌بردارهای نانسن و نیسکین
۳- دستگاه اندازه‌گیری رسانندگی، دما و ژرفا (CTD)
۴- ماهواره‌ها
۵- ژرفایاب و فشارسنج
اندازه‌گیری خصوصیات دینامیکی دریا
۱- جریان‌سنج‌ها
- جریان‌سنج الکترومغناطیسی
- جریان‌سنج فراصوتی
- جریان‌سنج پروانه‌ای
۲- دستگاه‌های موج نگار
۳- جزر و مدسنج
- جزر و مد سنج حبابی
- جزر و مد سنج دارای شناور
۴- کدورت‌سنج
۵- حسگر اکسیژن

مقدمه

فیزیک دریا علم مطالعه اقیانوس‌ها و دریاها بر پایه‌ی دانش فیزکی است و هدف آن به‌دست آوردن توصیفی دقیق از ویژگی‌های مربوط به آب اقیانوس‌ها، دریاها و سایر حوضه‌های آبی و حرکات مربوط به آنها است.

ابزارها و روش‌های دیده‌بانی پدیده‌های دریایی طی چند دهه‌ی اخیر دچار تغییرا چشمگیری شده است. با پیشرفت‌های حاصله در نظریه‌های اقیانوس‌شناسی و علم الکترونیک، ابزارآلات اقیانوس‌شناسی و از جمله فیزیک دریا کاملاً متحول شده‌اند.

جمع‌آوری و تحلیل داده‌های دریایی از اهمیت ویژه‌ای در انجام طرح‌های مهندسی و پژوهشی برخوردار است و معمولاً اجرای مدل‌های عددی و فیزیکی و انجام محاسبات مربوط به طرح‌های ساحلی و دور از ساحل بدون تهیه و تحلیل داده‌های میدانی امکان‌پذیر نیست.

شناورها و سکوها

۱- شناورهای اقیانوس‌شناسی

شناورهای تحقیقاتی نقش‌های مختلفی در دریا ایفا می‌کنند. برای مثال با استفاده از شناورهای اقیانوس‌شناسی می‌توان درباره خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی آب، جو و اقلیم تحقیق کرد. بدین منظور این شناورها به تجهیزاتی برای جمع‌آوری نمونه‌های آب از عمق‌های مختلف، عمق‌یابی و حسگرهای محیطی گوناگون مجهز می‌شوند.

شناورهای هیدروگرافی، شناورهایی هستند که برای انجام برداشت‌های هیدروگرافی، و مطالعات لرزه‌خیزی بستر دریا و خصوصیات زمین‌شناختی زیر آن به کار برده می‌شوند. از اطلاعات جمع‌آوری شده توسط این شناورها می‌توان در تهیه نمودارهای کشتیرانی و شناسایی منابع زیردریایی مانند گاز و نفت بهره‌برداری کرد.

نمونه‌هایی از شناورهای اقیانوس‌شناسی در شکل (۱) نشان داده شده است.

- **بالابر**

یکی از مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده در اندازه‌گیری‌های دریایی که بر روی شناورهای اقیانوس‌شناسی نصب می‌شود، بالابر است. این ابزار از یک قرقره استوانه‌ای و کابل ساخته شده و توسط یک موتور به حرکت درمی‌آید.

برای پایین بردن عمق‌یاب‌ها و سایر ابزارهای کوچک، به‌کارگیری بالابری با قابلیت حمل اجسام سبک با کابلی به طول ۵۰۰ متر و قطر ۲ تا ۳ میلیمتر و موتوری با قدرت ۲ کیلووات کافی است. برای نمونه‌برداری از آب دریا و اندازه‌گیری دما، استفاده از بالابری با قابلیت متوسط و کابلی به طول ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ متر و قطر ۴ میلیمتر و موتوری با

شکل (۱- الف)

شکل (۱- پ)

شکل (۱- ب)

شکل (۱- ت)

شکل ۱- نمونه‌هایی از شناورهای اقیانوس‌شناسی

قدرت ۷ تا ۱۵ کیلووات کفایت می‌کند. در حالی که برای انجام کارهای سنگین‌تر، مانند لایروبی و مغزه‌گیری رسوب، استفاده از بالابرهایی با طول کابل تا ۱۵۰۰۰ متر و قطر ۱۰ تا ۲۰ میلیمتر و موتوری با قدرت ۷۵ تا ۱۵۰ کیلووات مناسب است.

کابل بالابر از جنس فولاد ضدزنگ یا گالوانیزه است تا در مقابل زنگ‌زدگی مقاومت کند. بالابرها باید قادر به حرکت درآوردن کابل با سرعت تا ۱۰۰ متر در دقیقه باشند و البته آنها باید قابل کنترل نیز باشند تا امکان آوردن دقیق ابزار به موقعیت مورد نظر فراهم شود.

۲- سکوهای ثابت

افزایش تدریجی هزینه‌های عملیاتی شناورهای مورد استفاده در اقیانوس‌شناسی و پیشرفت سریع فناوری موجب شده است که گزینه‌های جدیدی برای اندازه‌گیری ویژگی‌های اقیانوس به جای شناورها مطرح گردد. یکی از این گزینه‌ها استفاده از سکوهای ثابت است. برای مثال با استفاده از موقعیت سکوهای نفتی می‌توان از آنها به عنوان یک شناور ثابت برای اندازه‌گیری پارامترهای دریا مانند امواج، جریان‌ها، شوری، دما و چگالی آب استفاده کرد.

۳- زیردریایی تحقیقاتی

زیردریایی تحقیقاتی برای انجام پژوهش‌های اقیانوس‌شناختی در آب‌های ژرف مورد استفاده قرار می‌گیرد، زیرا امکان استقرار آن برای مدت زمانی معیّن بر روی بستر دریا وجود دارد. این قابلیت موجب می‌شود که به هنگام وقوع توفان‌های شدید و موّاج شدن سطح دریا، زیردریایی مجبور به ترک منطقه‌ی مورد مطالعه و پناه بردن به بندر نباشد.

این زیردریایی‌ها معمولاً با شناورهای تحقیقاتی روسطحی در ارتباط هستند. نمونه‌ای از یک زیردریایی تحقیقاتی شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۲- نمونه‌ای از یک زیردریایی تحقیقاتی

۴- وسیله یدک شده

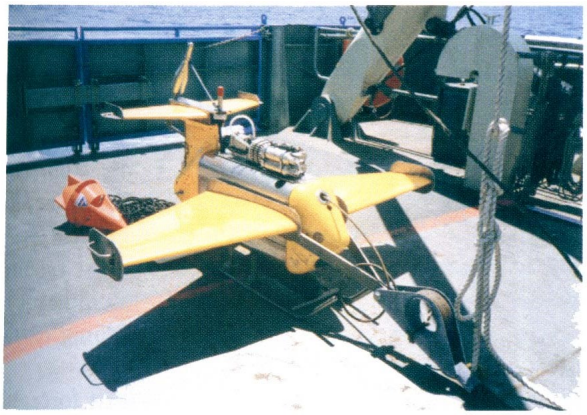
با استفاده از وسیله‌ی یدک شده می‌توان داده‌های سطحی و عمقی آب دریا را جمع‌آوری کرد. سامانه‌ی این دستگاه از سه قسمت اصلی: وسیله، کابل یدک‌کش و بالابر تشکیل شده است. وسیله‌های یدک شده دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول دارای وسیله‌ای برای کنترل عمق فعال هستند و دسته دوم فاقد آن می‌باشند.

وسیله‌ی نوع اول می‌تواند به‌طور قائم در ستونی از آب حرکت کند، در حالی که به صورت افقی توسط یک کشتی یدک می‌شود. مزیت اصلی این وسیله نسبت به ابزارهایی که با پایین بردن از کشتی، خواص اقیانوسی را اندازه‌گیری کنند آن است که وسیله‌های یدک شده به سرعت و با واکافت (تفکیک‌پذیری) افقی بالا می‌توانند این خواص را اندازه‌گیری کنند.

از سوی دیگر عیب اصلی این وسیله آن است که امکان دست‌یابی آنها به اعماق بیش از هزار متر، در حالی که با سرعت مفیدی یدک شود، دشوار است. شایان ذکر است که کاربرد سامانه‌های موجود معمولاً به عمق‌های تا ۵۰۰ متر محدود می‌شود.

وسیله‌ی نوع دوم از طریق وزن یا باله‌های ثابت خود و یا هر دو عامل، موجب تولید یک نیروی کاهش یافته می‌شوند. این وسیله به ازای کابل یدک‌کش با طول ثابت و سرعت یدک‌کشی ثابت، در ژرفای ثابتی باقی می‌مانند. این وسیله را می‌توان با استفاده از یک کابل معمولی و یا کابل الکترومکانیکی به کشتی متصل کرد. در حالت دوم، داده‌ها به صورت بلادرنگ به کشتی منتقل می‌شود.

نمونه‌ای از وسیله‌ی یدک شده در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳- وسیله‌ی یدک شده بر روی عرشه‌ی یک شناور اقیانوس‌شناسی

۵- شناورهای ردیاب

ساده‌ترین نشانگر جریان لاگرانژی، اشیای شناور در آب است. برای این منظور، اغلب از یک دیرک چوبی با طول چند متر و وزنی بین ۰/۵ تا یک کیلوگرم برای تعیین جریان‌های سطحی استفاده می‌شود.

این دیرک به‌راحتی با آب حرکت می‌کند و موقعیت آن در فواصل معینی از ساحل یا با استفاده از یک قایق کوچک در حال حرکت تعیین می‌شود.

ردیابی شبه‌لاگرانژی به دو نوع اساسی تقسیم می‌شوند:

الف- ردیاب‌های سطحی که دارای یک بویه‌ی سطحی هستند که به یک لنگر چتری زیرسطحی در عمق معینی (معمولاً کمتر از ۳۰۰ متر) متصل می‌شوند.

ب- شناورهای خنثی که برای ماندن بر روی سطوح زیرسطحی با چگالی ثابت طراحی می‌شوند. ردیاب‌های سطحی نوین دارای یک فرستنده با فرکانس رادیویی هستند تا امکان ارتباط با یک گوشی گیرنده را فراهم کنند، در حالی که ردیاب‌های زیرسطحی به عنوان منبع یا دریافت‌کننده سیگنال‌های صوتی عمل می‌کنند.

اندازه‌گیری ویژگی‌های آب دریا و خصوصیات هیدروگرافی

۱- دماسنج‌ها

اندازه‌گیری دما در اقیانوس به استثنای نواحی عمیق با استفاده از روش‌های معمولی صورت می‌گیرد. برای مثال برای اندازه‌گیری دمای آب سطحی می‌توان از یک دماسنج جیوه‌ای شیشه‌ای که درون آب برداشت شده توسط یک سطل قرار داده می‌شود، استفاده کرد. البته باید توجه داشت که آب موجود در سطل در معرض نور خورشید یا وزش باد قرار نگیرد. برای اندازه‌گیری دمای آب زیرسطحی می‌توان از دماسنج معکوس‌شونده استفاده کرد. این ابزار از یک دماسنج جیوه‌ای شیشه‌ای که به یک بطری نمونه‌بردار آب متصل می‌باشد، تشکیل شده است. دماسنج مزبور در واقع یک دماسنج جیوه‌ای است که ساختار لوله‌ی خلاء آن به گونه‌ای است که وقتی واژگون می‌شود، رشته‌ی جیوه‌ای آن بریده شده و جیوه در لوله به دام می‌افتد. در نتیجه، قرائت دما در دماسنج ثابت باقی می‌ماند. از آنجا که فشار آب در زیرآب موجب فشرده شدن دیواره‌های دماسنج می‌شود و در نتیجه بر روی دمای نشان داده شده تأثیر می‌گذارد، لذا دماسنج به‌وسیله یک قاب صلب حفاظت می‌شود.

به‌طور کلّی دمای آب اقیانوس (دریا) را می‌توان به طریقه‌های زیر اندازه‌گیری کرد:

الف- انبساط مایع یا فلز
ب- انبساط تفاضلی دو نوع فلز
ج- فشار بخار یک مایع
د- ترموکوپل
هـ- تغییر در مقاومت الکتریکی
و- تشعشع فروسرخ از سطح دریا

برخی از ابزارهای مورد استفاده برای اندازه‌گیری دمای آب اقیانوس عبارتند از:

الف- دماسنج جیوه‌ای
ب- دماسنج و عمق‌یاب مکانیکی
ج- دماسنج مقاومتی
د- دستگاه CTD
هـ- دماسنج رقومی مدرن

۲- نمونه‌بردارهای نانسن و نیسکین

به‌منظور تعیین خواص نمونه‌ای از آب دریا، نخست باید نمونه‌ای از آن را به‌دست آورد. برای نمونه‌گیری سطحی از آب می‌توان از سطل متصل به طناب استفاده کرد. برای نمونه‌گیری از آب زیرسطحی باید از بطری‌های خاص نمونه‌بردار استفاده کرد. بطری‌هایی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند بنام نیسکین معروف هستند و در واقع از یک لوله‌ی فلزی یا پلاستیکی تشکیل شده‌اند که دارای دو دریچه در دو طرف خود می‌باشند. این بطری‌ها پس از پر شدن به‌وسیله مسنجر[1] بسته می‌شوند.

نمونه‌بردار آب اقیانوس نخستین بار توسط یک اقیانوس‌شناس نروژی به‌نام نانسن در سال ۱۹۱۰ میلادی ابداع شد. البته این وسیله‌ی اندازه‌گیری بعداً توسط سازندگان مختلف اصلاح شد.

[1] Messenger

ظرفیت بطری نانسن استاندارد برابر با ۱/۲۵ لیتر است. بطری نانسن یک بطری فلزی است که از یک طرف بسته است. این بطری در حال حاضر تولید نمی‌شود و بطری نیسکین جایگزین آن شده است.

نمونه‌ای از نمونه‌بردار نانسن در شکل (۴) نشان داده شده است.

شکل ۴- بطری نمونه‌بردار نانسن

بطری نیسکین توسط شِیل نیسکین[1] در سال ۱۹۶۶ میلادی ابداع شد. ظرفیت این بطری در محدوده ۱/۲ تا ۳۰ لیتر متغیر است. نمونه‌ای از بطری نیسکین در شکل (۵) نشان داده شده است.

شکل ۵- بطری نمونه‌بردار نیسکین

[1] Shale Niskin

۳- دستگاه اندازه‌گیری رسانندگی، دما و ژرفا (CTD)

دما و شوری به دلیل خصوصیات پایسته‌ی خود، مهم‌ترین پارامترهای فیزیک دریا هستند. به‌وسیله این دو پارامتر می‌توان آب‌توده‌ها، تحولات و انتشار آنها و حتی سایر پارامترهای شیمیایی، زیست‌شناختی و رسوب‌شناختی آب اقیانوس/ دریا را تعیین کرد.

گردش آب اقیانوس تا حدّ زیادی با توجه به میدان چگالی تعیین می‌گردد که این پارامتر نیز به میدان‌های دما و شوری بستگی دارد. بنابراین باید در اندازه‌گیری این دو پارامتر، خصوصاً شوری، بسیار دقت کرد. شایان ذکر است که تغییرات شوری در دمای پایین تأثیر بیشتری در تعیین چگالی دارد.

برای اندازه‌گیری رسانندگی و دمای آب دریا می‌توان از دستگاه CTD استفاده کرد. این دستگاه علاوه بر این دو پارامتر عمق را نیز از طریق اندازه‌گیری فشار تعیین می‌کند. شایان ذکر است که با استفاده از رسانندگی می‌توان شوری آب دریا را نیز محاسبه کرد.

جاکوبسن[2] در سال ۱۹۴۸ میلادی یک سامانه‌ی نیمرخ‌برداری الکترونیکی برای اندازه‌گیری دما و شوری را ابداع کرد. این سامانه تا ژرفای ۴۰۰ متر قابل استفاده بود و در آن از کابل‌هایی برای انتقال داده‌ها استفاده می‌شد. سپس سامانه‌ی دیگری به نام نیمرخ‌بردار STD[3] توسط هَمُن[4] و براون[5] در اواسط دهه ۱۹۵۰ میلادی طراحی شد. بعدها محققین دریافتند که با دانستن رسانندگی آب می‌توان شوری آن را تعیین کرد. این پیشرفت علمی موجب اختراع دستگاه CTD شد.

سرعت جمع‌آوری داده‌ها در CTD معمولاً برابر با ۲۴ هرتز است، یعنی در هر ثانیه ۲۴ نمونه از هر یک از پارامترهای سه‌گانه برداشت می‌شود. دقت اندازه‌گیری شوری توسط

[2] Jacobsen
[3] Salinity- Temperature- Depth
[4] Hamon
[5] Brown

CTD برابر با ± 0.005 PSU و دما برابر با $\pm 0.004^{\circ}$ C است.

برای استفاده از CTD نخست باید این دستگاه را چند متر به زیر آب برد و حداقل دو دقیقه قبل از شروع اندازه‌گیری در آنجا نگاه داشت. این عمل خصوصاً برای استفاده از حسگر اکسیژن دستگاه مهم است. دستگاه بعد از چند دقیقه به نزدیکی سطح آب آورده شده و سپس اندازه‌گیری آغاز می‌شود.

شایان ذکر است که حسگرهای اندازه‌گیری دما، رسانندگی و فشار دستگاه CTD را باید قبل و بعد از انجام عملیات میدانی و یا حداقل یک بار در سال کالیبره کرد. نمونه‌ای از یک دستگاه CTD در شکل (۶) نشان داده شده است.

شکل ۶- نمونه‌ای از یک دستگاه CTD

یکی دیگر از راه‌های تعیین شوری آب دریا، بردن نمونه‌ای از آب به آزمایشگاه و تعیین شوری آن به‌وسیله یک شوری‌سنج آزمایشگاهی است. شوری آب دریا با مقیاس عملی شوری (PSS) سنجیده می‌شود.

شایان ذکر است که چگالی آب دریا با داشتن مقادیر شوری، دما و فشار از معادله حالت قابل محاسبه است.

۴- ماهواره‌ها

امروزه کاربرد ماهواره‌ها و علم سنجش از دور فراوان است که از جمله آنها می‌توان به مطالعه و بررسی پدیده‌های فیزیک دریا و ویژگی‌های آب اقیانوس (دریا) اشاره کرد. با استفاده از داده‌ها و تصاویر به‌دست آمده از برخی ماهواره‌ها می‌توان به مطالعه پدیده‌هایی مانند جریان‌های دریایی و گردش آب، امواج داخلی، امواج ناشی از باد و حالات دریا، و آلودگی دریا پرداخت و ژرفای آب و دمای سطحی آن را تعیین کرد.

کاربرد ماهواره‌ها در مطالعات فیزیک دریا به تفصیل در فصل "کاربرد ماهواره در مطالعات فیزیک دریا" در این مجلّد ارائه گردیده است.

۵- ژرفایاب و فشارسنج

ژرفایاب (اکوساندر) دستگاهی است که برای تعیین ژرفای آب به‌کار برده می‌شود. این دستگاه که به ماهی‌یاب و نشانگر ژرفا نیز معروف است، معمولاً به عنوان یک ابزار استاندارد بر روی همه کشتی‌ها با هر کلاس و اندازه‌ای نصب می‌شود. ژرفایاب، عمق آب را با توجه به زمان رفت و برگشت یک تپ صوتی از منبع تا سطح بازتابنده‌ی صورت (مانند کف دریا) محاسبه می‌کند.

برای تعیین ژرفای آب از دو روش دیگر نیز می‌توان استفاده کرد. یکی از این روش‌ها، تعیین ژرفا با توجه به طول کابلی است که ابزار اندازه‌گیری به‌وسیله آن پایین فرستاده می‌شود. البته استفاده از این روش همیشه آسان نیست. زیرا اگر چه تعداد دورهای چرخش قرقره بالابری که کابل به آن متصل است مشخص می‌باشد و با دانستن آن می‌توان ژرفا را تعیین کرد، اما باید به خاطر داشت که دریا همواره آرام نیست و گاهی به دلیل وجود جریان‌ها، کابل به صورت قائم قرار نمی‌گیرد. بنابراین گاهی ژرفای واقعی به این دلیل کمتر از مقداری است که به صورت فوق تعیین می‌شود.

روش دوم، تعیین ژرفا با استفاده از مقدار فشار هیدروستاتیکی در همان تراز است. این فشار با تراز متناسب است. رابطه بین ژرفا بر حسب متر و فشار بر حسب دسی‌بار در جدول (۱) ارائه

شده است.

به‌طور کلّی رابطه بین فشار هیدروستاتیکی در ژرفای z و ژرفا عبارت است از:

$$\rho(z) = -g\int_{z}^{o}\rho(z)\,dz$$

که در آن g شتاب جاذبه برابر با ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه و ρ چگالی میانگین آب دریا (تقریباً برابر با $۱/۰۲۵ \times ۱۰^{۳}$ کیلوگرم بر مترمکعب) است.

جدول ۱- مقایسه فشار (dbar) و عمق (m) در عمق‌های اقیانوسی استاندارد با استفاده از الگاریتم‌های یونسکو. تفاوت درصد برابر است با:
۱۰۰٪ × فشار / (فشار - عمق)

فشار (dbar)	عمق (m)	تفاوت (٪)
۰	۰	۰
۱۰۰	۹۹	۱
۲۰۰	۱۹۸	۱
۳۰۰	۲۹۷	۱
۵۰۰	۴۹۵	۱
۱۰۰۰	۹۹۰	۱
۱۵۰۰	۱۴۸۳	۱/۱
۲۰۰۰	۱۹۷۵	۱/۳
۳۰۰۰	۲۹۵۶	۱/۵
۴۰۰۰	۳۹۳۲	۱/۷
۵۰۰۰	۴۹۰۴	۱/۹
۶۰۰۰	۵۸۷۲	۲/۱

یکی از ابزارهایی که برای تعیین ژرفا به‌کار برده می‌شود، فشارسنج الکتریکی است که بر پایه‌ی تغییر کرنش (تغییر طول نسبی) عمل می‌کند. این ابزار با توجه به تغییر مقاومت الکتریکی فلزات با کشش مکانیکی آنها، فشار را اندازه‌گیری می‌کند.

اندازه‌گیری خصوصیات دینامیکی دریا

۱- جریان‌سنج‌ها

جریان‌های اقیانوسی (دریایی)، جریان‌های آب در جهات معیّنی از اقیانوس (دریا) هستند که برخی از آنها دوره‌ای بوده و برخی به صورت یک جریان پیوسته در یک مسیر خاص مشاده می‌شوند. به‌طور کلّی سه نوع جریان اقیانوسی را می‌توان از یکدیگر تفکیک کرد:

الف- جریان‌های شیوی (گرادیانی)
ب- جریان‌های بادرانده یعنی جریان‌هایی که مستقیماً به‌وسیله تنش اعمال شده به‌وسیله باد بر روی سطح اقیانوس تولید می‌شوند.
پ- جریان‌های تولید شده به‌وسیله حرکات موج بلند که شامل جریان‌های کشندی هستند و شاید جریان‌های ناشی از امواج داخلی، سونامی و خیزاب‌های واکنشی در خلیج‌های کوچک را نیز دربر می‌گیرند.

جریان‌های اصلی اقیانوس دارای خصوصیت یک جریان پیوسته بوده و از مرتبه اول اهمیت در نگهداری تعادل ترمودینامیکی زمین برخوردار هستند.

تعیین جهت و سرعت جریان‌های دریایی در بررسی پدیده‌ی انتقال رسوب، شکل‌گیری سواحل، طراحی و ساخت سازه‌های دریایی، بررسی مهاجرت آبزیان، انتقال آلودگی، و بررسی تأثیر آنها در تغییر اقلیم منطقه‌ای و جهانی اهمیت دارد.

به‌طور کلّی جریان‌های دریایی را می‌توان به دو روش اولری و لاگرانژی تعیین کرد.

جریان در روش اولری از دید یک ناظر ثابت مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای مثال، اندازه‌گیری جریان با استفاده از یک جریان‌سنج در نقطه‌ای ثابت، یک روش اولری محسوب می‌شود.

سرعت جریان در روش لاگرانژی با ردیابی مواد طبیعی، باکتری‌ها، ردیاب‌های مصنوعی، مواد رنگی، مواد رادیواکتیو، بطری‌های شناور، بویه‌های شناور و یا بویه‌های مرتبط با ماهواره تعیین می‌شود.

جریان‌سنج‌های مورد استفاده در روش اولری شامل جریان‌سنج‌های الکترومغناطیسی، فراصوتی و پروانه‌ای

می‌باشند. انتخاب نوع جریان‌سنج به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- شرایط محیطی
۲- محل نصب دستگاه از نظر ژرفای آب و سایر عوامل

- **جریان‌سنج الکترومغناطیسی**

اصول عملکرد این جریان‌سنج بر اساس قانون دوم فارادی استوار است. دو جفت الکترود در سطح حسگر این جریان‌سنج قرار گرفته است. هنگامی که آب دریا در اطراف حسگر جریان می‌یابد، میدان مغناطیسی در آب اطراف حسگر تغییر کرده و در نتیجه میزان جریان القایی در داخل حسگر تغییر می‌کند، به‌طوری که این تغییر موجب تغییر ولتاژ می‌شود. میزان تغییر ولتاژ با سرعت آب دریا متناسب است و به این ترتیب می‌توان سرعت جریان را به‌دست آورد.

جریان‌سنج‌های الکترومغناطیسی سرعت‌های در محدوده ۱ تا ۳ متر بر ثانیه را با دقت ۰/۰۲ ± متر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌کنند و از آنها در مناطق کم‌ژرفا و محل‌هایی که دارای موج هستند، استفاده می‌شود.

- **جریان‌سنج فراصوتی**

این جریان‌سنج معمولاً در مناطق نزدیک ساحل و دور از ساحل قابل استفاده است. این دستگاه دارای یک فرستنده پیزو الکتریک و یک گیرنده است و با ارسال و دریافت امواج صوتی کار می‌کند.

- **جریان‌سنج پروانه‌ای**

این جریان‌سنج دارای پروانه‌ای است که به یک صفحه‌ی رقومی متصل است. پروانه‌ی دستگاه در اثر جریان آب به حرکت درآمده و شروع به چرخش می‌کند. این چرخش موجب تغییر رقم صفحه می‌شود. جریان‌سنج پروانه‌ای قادر به ثبت سرعت‌های در محدوده‌ی ۰/۰۳ تا ۵ متر بر ثانیه است و خطای آن حدود ۰/۰۰۴ ± متر بر ثانیه می‌باشد.

نمونه‌هایی از جریان‌سنج‌های پروانه‌ای دریایی و رودخانه‌ای در شکل (۷) نشان داده شده است.

شکل ۷- نمونه‌هایی از جریان‌سنج‌های پروانه‌ای دریایی و رودخانه‌ای

۲- دستگاه‌های موج نگار

ابزارهای مختلفی برای اندازه‌گیری مشخصات امواج ناشی از باد طراحی و ساخته شده است. انتخاب هر یک از این ابزارها به تعداد پارامترهای مورد نیاز، پریُد نمونه‌گیری، شرایط جوی و جغرافیایی، بودجه و امکانات موجود بستگی دارد.

یکی از مهم‌ترین مشخصات موج، ارتفاع آن است که تا قبل از توسعه ابزارهای پیشرفته به صورت مشاهداتی ثبت می‌شد. دیگر مشخصات مهم امواج شامل دوره‌ی تناوب موج و جهت آن می‌باشد.

ارتفاع و دوره‌ی تناوب موج، انرژی موج را تعیین می‌کنند و از جمله مهم‌ترین پارامترها در طراحی سازه‌های ساحلی و دور از ساحل و محاسبات رسوب محسوب می‌شوند. به علاوه، دانستن جهت امواج در طراحی حوضچه‌ی بنادر و جهت قرارگیری موج‌شکن‌ها، بررسی جریان‌های ساحلی و پدیده‌ی انتقال رسوب، مانور کشتی‌ها در نزدیکی بندر، و طراحی برخی سازه‌های خاص ساحلی مانند موج‌شکن‌های شکل‌پذیر ضرورت دارد.

دوره‌ی ثبت مشخصات امواج باید به اندازه‌ی کافی طولانی باشد تا زمینه‌ی لازم برای تحلیل آماری آن فراهم شود. در نواحی با شرایط آب و هوایی متعادل، حداقل دوره‌ی اندازه‌گیری یک ساله (شامل فصل‌های تابستان و زمستان) است. در نواحی با تغییرات آب و هوایی شدید، ثبت موج باید طی یک دوره‌ی چند ساله انجام شود.

به‌طور کلّی، روش‌های اندازه‌گیری موج را می‌توان به دو دسته: مستقیم و غیرمستقیم تقسیم‌بندی کرد. روش‌های مستقیم شامل دیده‌بانی، استفاده از میله مدرج (اشل)، میله مدرج با نشانگر الکتریکی پله‌ای، میله موج از نوع مقاومتی، میله مدرج از نوع خازنی، میله مدرج از نوع الکترومغناطیسی، حسگرهای فشاری، و حسگرهای التراسونیک می‌باشد.

روش‌های غیرمستقیم خود به دو نوع: الف) استفاده از امواج نوری (عکس‌برداری و فیلم‌برداری)، و ب) بهره‌گیری از امواج رادیویی و رادار (سونار و رادار، سنجش از دور، و سامانه‌ی لیزر) تقسیم می‌شوند.

در نوع دیگر دسته‌بندی روش‌های اندازه‌گیری موج، این روش‌ها به سه دسته‌ی زیر تقسیم می‌شوند:

الف- زیرسطحی (مانند حسگرهای فشاری)
ب- سطحی (مانند بویه‌های موج نگار)
ج- فوق سطحی (مانند ماهواره)

یکی از روش‌های متداول اندازه‌گیری مشخصات امواج ناشی از باد، استفاده از بویه‌های موج نگاز است. این روش نخستین بار در سال ۱۹۶۳ میلادی توسط لانگوئت- هیگینز[1]، کارت رایت[2] و اسمیت[3] در بویه‌های کلاورلیف[4] به‌کار برده شد.

در بویه‌ی موج نگار، حرکات نوسانی بالا و پایین[5] به‌وسیله حسگر شتاب‌سنج عمودی، شیب موج با ثبت حرکات غلتشی[6] (نوسان پهلو به پهلوی) و الاکلنگی سینه و پاشنه‌ی[7] بویه، و جهت موج به‌وسیله یک قطب‌نما ثبت و تعیین می‌شود.

نمونه‌هایی از بویه‌های موج نگار در شکل (۸) نشان داده شده است.

شکل (۸- الف)

شکل (۸- ب)

شکل (۸- پ)

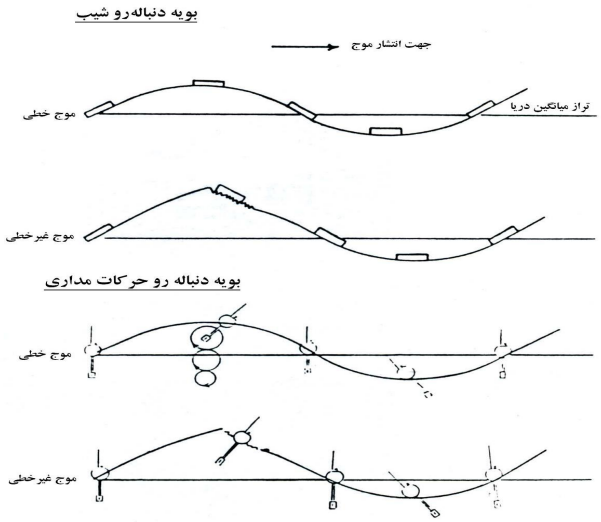
شکل ۸- نمونه‌هایی از بویه‌های موج‌نگار

[1] Longuet- Higgins
[2] Cartwright
[3] Smith
[4] Clover Leaf
[5] Heave
[6] Roll
[7] Pitch

به‌طور کلّی دو نوع ساز و کار (مکانیسم) برای تعیین مشخصات ارتفاع و دوره‌ی تناوب موج در این بویه‌ها وجود دارد که عبارتند از:

الف- دنباله‌روی از شیب
ب- دنباله‌روی از حرکات مداری

مطابق شکل (۹)، بویه‌ی موج نگار در این دو نوع مکانیسم به ترتیب شیب و حرکات مداری ذرات آب را دنبال می‌کند. شایان ذکر است که با حرکت سطحی موج، ذرات آب در زیر آن به حرکت درمی‌آیند که این حرکات بر طبق نظریه‌ی خطی موج به صورت مدارهای بیضوی یا دایره‌ای شکل است.



شکل ۹- مکانیسم تعیین ارتفاع و دوره‌ی تناوب امواج توسط بویه‌ی موج‌نگار

۳- جزر و مدسنج

اندازه‌گیری تراز دریا یکی از قدیمی‌ترین شکل‌های دیده‌بانی اقیانوسی است که برای مثال سابقه آن در کشور انگلستان به ۳۲۰ سال پیش از میلاد مسیح برمی‌گردد.

کاربردهای اندازه‌گیری تراز دریا شامل تجزیه مؤلفه‌های جزر و مدی برای پیش‌بینی ارتفاع جزر و مد، کمک به پیش‌بینی رویدادهای ال- نینو[1] و لانینا[2] در اقیانوس آرام، پیش‌بینی خیزاب توفان و تغییرات درازمدت سطح دریا به دلیل پدیده‌ی اثر گلخانه‌ای و ذوب شدن یخ‌های مناطق قطبی می‌باشد.

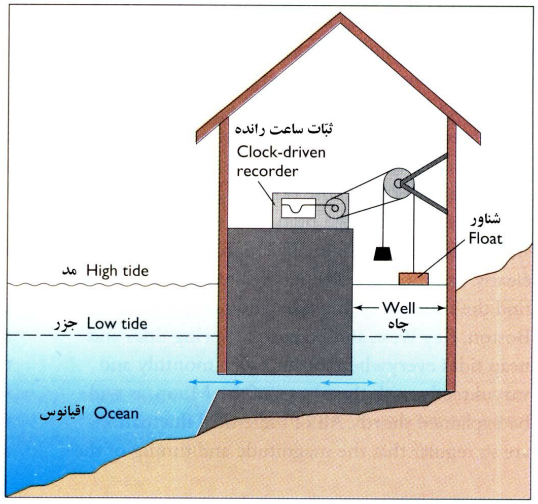
تراز دریا را می‌توان با وسایلی نظیر جزر و مدنگار، فشارسنج و یا ابزار ساده‌ای مانند میله‌ی مدرج (اشل) اندازه‌گیری کرد.

- **جزر و مد سنج حبابی**

این دستگاه از یک فشارسنج جیوه‌ای تشکیل شده است که فشار هوای متراکمی که از لوله‌ای مستقر در کف آب به صورت حباب خارج می‌شود را اندازه‌گیری می‌کند. این لوله به لوله‌ی دیگری که در ساحل به یک بطری هوای متراکم متصل است، مربوط می‌شود. فشارسنج، فشار را به صورت منحنی ثبت می‌کند. نتایج حاصل از این دستگاه را باید بر حسب تغییرات فشار جو تصحیح کرد.

- **جزر و مد سنج دارای شناور**

این دستگاه دارای شناوری است که در کنار دریا و یا در یک لوله‌ی قائم که سطح آب در آب بالا و پایین می‌رود، قرار داده می‌شود (شکل ۱۰). حرکت شناور با یک ساز و کار ساده به دستگاه ثبات منتقل و بر روی استوانه‌ای ثبت می‌شود.



شکل ۱۰- شکل نمایشی یک ایستگاه کشندسنجی

[1] El Niño

[2] La Niña

نصب صحیح سنجه‌های تراز دریا مستلزم دانستن تراز نشان سکویی قانونی محل نصب دستگاه است، زیرا همه ترازهای اندازه‌گیری شده دستگاه نسبت به آن سنجیده می‌شوند.

طی سال‌های اخیر حسگرهای فشاری حساس و دقیقی ساخته شده‌اند که از آنها می‌توان برای اندازه‌گیری جزر و مد در دریای عمیق استفاده کرد. شایان ذکر است که در چنین شرایطی باید نوساناتی در حدّ یک میلیمتر را در عمق‌های چند هزار متری تعیین کرد. لذا دقت حسگرها باید بسیاربالا باشد.

حسگرهای مورد استفاده در جزر و مدسنج‌های مدرن در واقع ترانسدیوسرهایی از جنس کریستال کوارتز است که دارای حساسیت ۱×۱۰^{-۴} دسی‌بار برای کاربرد در آب‌های کم‌عمق (کمتر از ۵۰۰ متر) و حساسیت ۱×۱۰^{-۳} دسی‌بار برای کاربرد در آب‌های عمیق است.

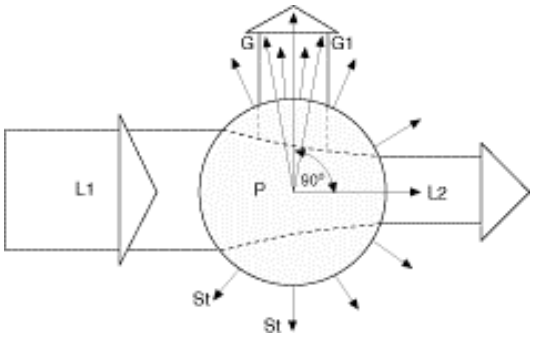
نمونه‌ای از یک جزر و مدنگار خودکار در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

شکل ۱۱- نمونه‌ای از یک جزر و مد نگار خودکار

۴- کدورت‌سنج

کدورت به معنی کاهش شفافیت مایع به دلیل وجود ذرات معلّق در آن است. این ویژگی را می‌توان با عبور یک دسته پرتو نوری از میان نمونه‌ای از مایع مورد نظر اندازه‌گیری کرد. کدورت با اندازه‌گیری نوری که به‌وسیله ذرات معلّق پخش می‌شود، تعیین می‌گردد.

شکل (۱۲) برهمکنش یک دسته پرتو نوری و ذرات معلّق در یک مایع را نشان می‌دهد. هنگامی که نور با ذرات معلّق برخورد می‌کند (L_1)، بخشی از آن از نمونه (P) عبور می‌کند (L_2) و بخش دیگری به‌وسیله نمونه پراکنده می‌شود (S_t). علائم G، G_1 در شکل (۱۳) پرتوهای پیرامونی نور متفرق شده هستند که برای اندازه‌گیری کدورت مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۱۲- برهمکنش یک دسته پرتو نوری و ذرات معلّق در یک مایع

نمونه‌ای از یک دستگاه کدورت‌سنج در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

شکل ۱۳- نمونه‌ای از یک دستگاه کدورت‌سنج

یکی دیگر از راه‌های تعیین کدورت در اقیانوس (دریا)، استفاده از زلال‌سنج آب دریا است. این دیسک سیاه و سفید در آب فرو برده می‌شود تا جایی که دیگر دیده نشود. آنگاه عمق زلال‌سنج به عنوان شفافیت آب (که به‌طور معکوس به کدورت مربوط است) ثبت می‌شود. استفاده از این وسیله آسان بودن و هزینه‌ی آن کم است. البته از زلال‌سنج نمی‌توان در آب‌های کم‌ژرفا استفاده کرد، زیرا در چنین شرایطی دیسک در کف دریا قابل رؤیت است.

۵- حسگر اکسیژن

روش اساسی برای تعیین غلظت اکسیژن در آب، روش وینکلر است که در سال ۱۹۸۳ میلادی پیشنهاد گردیده است. بدین‌منظور می‌توان از حسگرهای اکسیژن استفاده کرد. البته مؤکداً توصیه می‌شود که نمونه‌ها از نواحی با غلظت اکسیژن کم (زیر) برداشته شوند.

نمونه‌های آب برای تعیین غلظت اکسیژن را باید با استفاده از نمونه‌برداری‌های آب جمع‌آوری کرد. هنگامی که آب از نزدیکی کف دریا برداشته می‌شود باید حداقل به اندازه یک متر از آن فاصله داشته باشد.

منابع:

[۱] Pickard, G. L. and Emery, W. J. (1993). *Descriptive Physical Oceanography: An Introduction*. Pergamon Press. Fifth Edition.

[۲] Helmond. (2001). *Towed Vehicles*, *Encyclopedia of Ocean Sciences*. (J. H. Steele, K. K. Turekian and S. A. Thorpe, Editors). Vol. 6. Academic Press. pp 2994-3003.

[۳] Emery, W. J. and Thomson, R. E. (1998). *Data Analysis Methods in Physical Oceanogarphy*. Pergamon Press.

[۴] جاویدی، حسین. (۱۳۸۰). *اندازه‌گیری جریانات دریایی و اقیانوسی به روش لاگرانژ*. سمینار ۱. دوره کارشناسی‌ارشد فیزیک دریا. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد تهران شمال. دانشکده علوم و فنون دریایی.

[۵] محرک، مهدی. (۱۳۸۰). *بررسی جریانات اویلری*. سمینار ۱. دوره کارشناسی‌ارشد فیزیک دریا. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد تهران شمال. دانشکده علوم و فنون دریایی.

[۶] رحیمی‌پور انارکی، حمید. (۱۳۷۸). *روش‌های اندازه‌گیری مشخصه‌های موج*. مجموعه مقالات کارگاه آموزشی- تخصصی "پیش‌بینی مشخصه‌ها و الگوی انتشار امواج با نگرشی کاربردی بر طراحی سازه‌های دریایی و ساحلی". انجمن هیدرولیک ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

[۷] بهنیا، کامبیز. (۱۳۶۹). *کارهای دریایی*. تهران. انتشارات دانشگاه تهران. جلد اول. چاپ دوم.

/ وحید چگینی /

هیدروگرافی (آب‌نگاری)

hydrography

۱) عملی که با اندازه‌گیری و تشریح ویژگی‌های فیزیکی اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و سایر مناطق ساحلی آنها سر و کار دارد.

۲) اندازه‌گیری کشندها و جریان‌ها به عنوان وسیله‌ای کمکی برای دریانوردی

۳) علم مشخص کردن مکان نقاط پشتیبانی و خطرات ناوبری

ارتفاع موج

wave height

فاصله‌ی عمودی بین ستیغ و ناوه‌ی موج ارتفاع موج که با نماد H نشان داده می‌شود. ارتفاع هر موج در رشته‌های ساده موج ثابت است، ولی در نوسانات پیچیده‌تر ارتفاع برای امواج متوالی تغییر می‌کند.

دوره‌ی تناوب موج

wave period

فاصله زمانی بین عبور دو نقطه ستیغ متوالی از یک ایستگاه ثابت که با نماد T نشان داده می‌شود.

موج‌شکن شکل‌پذیر

reshaping breakwater

نوعی موج‌شکن که از محدوده‌ی وسیعی از سنگ‌های بـا ابعـاد مختلف تشکیل شده است. این سازه در اثر بـرهمکُنش مـوج و سازه دچار تغییر شکل می‌شود.

در اثر این تغییر شکل، یک نیمـرخ پایـدار بـه شـکل حـرف S به‌وجود می‌آید. موج‌شکن سکویی و موج‌شکن زره‌دار توده‌ای از انواع موج‌شکن شکل‌پذیر محسوب می‌شوند.

منبع:

[۱] چگینی، وحید. (۱۳۸۵). *فرهنگ تشریحی مهندسی ساحل و فیزیک دریا*. تهران. مرکز ملّی اقیانوس‌شناسی.