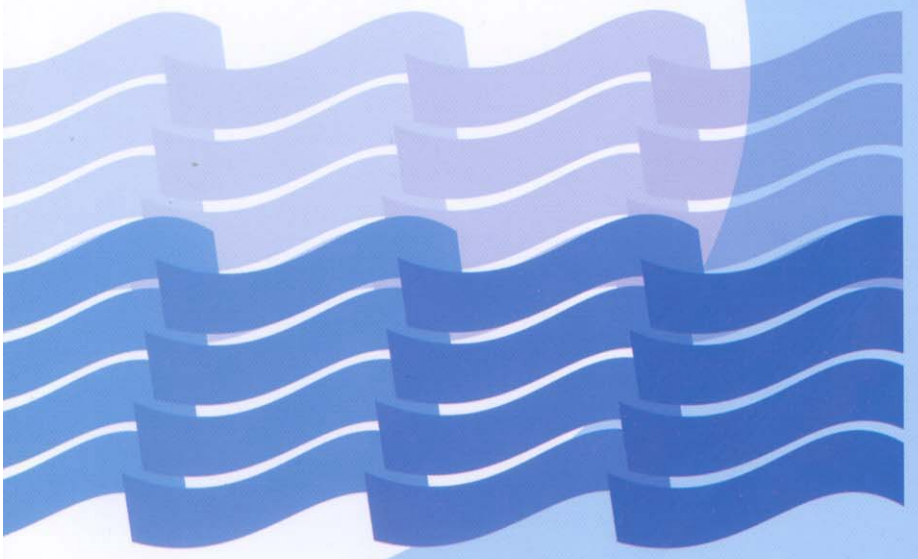
وزارت نیرو

شرکت سهامی مدیریت منابع آب ایران

# راهنمای ادوات نمونه‌برداری بار رسوبی رودخانه‌ها



نشریه شماره ۱۴۶- ن

اسفند ماه ۱۳۸۳

## پیش‌گفتار

**امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آنها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آنها را ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. نظر به وسعت دامنه علوم و فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی - تخصصی واگذار شده است.**

**با در نظر گرفتن مراتب فوق و با توجه به شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، تهیه استاندارد در بخش آب از اهمیت ویژه ای برخوردار بوده و از این رو دفتر استانداردها و معیارهای فنی شرکت مدیریت منابع آب ایران در جهت نیل به این هدف، با مشخص نمودن رسته های اصلی مهندسی آب اقدام به تشکیل گروه‌های علمی – تخصصی با عنوان کمیته‌های تخصصی نموده که نظارت بر تهیه این استانداردها را به عهده دارند.**

**استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین می گردد :**

- **استفاده از تخصص و تجارب کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی**
- **استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین المللی**
- **بهره گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت**
- **ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره برداری و ارزشیابی طرح‌ها**
- **پرهیز از دوباره کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور**
- **توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه کننده استاندارد**

**آگاهی از نظرات کارشناسان و صاحب‌نظرانی که فعالیت آنها به نوعی در ارتباط با تهیه استانداردهای مهندسی آب می باشد موجب امتنان خواهد بود.**

## ترکیب اعضای کمیته

اسامی اعضای کمیته فنی شماره ۱۴-۱ (رسوب) که در تهیه نشریه حاضر مشارکت داشته اند به ترتیب حروف الفباء به شرح زیر می باشد :

| | | |
|---|---|---|
| خانم زهرا ایزدپناه | دانشگاه شهید چمران | فوق لیسانس آبیاری و آبادانی |
| آقای فیروز بهادری | دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی | فوق لیسانس منابع آب |
| آقای سید جمال الدین پرورده | سازمان آب تهران | فوق لیسانس هیدرولوژی |
| خانم کیاندخت کباری | طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور | لیسانس راه و ساختمان |
| آقای جمال محمدولی سامانی | دانشگاه تربیت مدرس | دکترای هیدرولیک |

# فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| مقدمه | ۱ |
| ۱- کلیات | ۲ |
| ۲- مروری بر نحوه انتقال مواد رسوبی در رودخانه‌ها | ۳ |
| ۲-۱ حرکت چرخشی و لغزشی | ۳ |
| ۲-۲ حرکت جهشی | ۳ |
| ۲-۳ حرکت ذرات به شکل معلق | ۳ |
| ۲-۴ بار کل | ۴ |
| ۳- نمونه‌برداری مواد معلق | ۴ |
| ۳-۱ تجهیزات نمونه‌برداری | ۴ |
| ۳-۱-۱ نمونه‌بردارهای تجمعی | ۴ |
| ۳-۱-۲ نمونه‌بردارهای لحظه‌ای یا چنگکی | ۵ |
| ۳-۱-۳ نمونه‌بردارهای پمپی | ۵ |
| ۳-۱-۴ نمونه‌بردارهای ویژه | ۵ |
| ۳-۲ طبقه‌بندی USGS | ۵ |
| ۳-۳ روش‌های نمونه‌برداری | ۱۳ |
| ۳-۳-۱ روش عرض مساوی | ۱۴ |
| ۳-۳-۲ روش دبی مساوی | ۱۴ |
| ۳-۳-۳ روش نقطه ثابت | ۱۴ |
| ۳-۴ مقایسه ادوات نمونه‌برداری و محدودیت‌های آنها | ۱۵ |
| ۳-۴-۱ مقایسه نمونه‌بردارهای تجمعی | ۱۵ |
| ۳-۴-۲ مقایسه روش‌های مستقیم نمونه برداری | ۱۷ |
| ۳-۴-۳ مقایسه روش‌های غیرمستقیم نمونه برداری | ۱۷ |
| ۳-۴-۴ مقایسه نمونه‌بردار پمپی فیلتردار و پمپی بطری دار | ۲۱ |
| ۳-۴-۵ مقایسه نمونه‌بردار پمپی ترسیبی و نمونه‌بردار پمپی فیلتردار | ۲۱ |
| ۳-۵ ایستگاههای اندازه‌گیری رسوب | ۲۷ |
| ۳-۶ دقت تجهیزات نمونه برداری بار معلق | ۲۸ |
| ۳-۶-۱ تجهیزات نمونه‌برداری از رودخانه‌ها | ۲۸ |
| ۳-۶-۲ تجهیزات نمونه‌برداری از مصب‌ها | ۲۹ |

# فهرست مطالب


| عنوان | صفحه |
|---|---|
| ۳-۷ زمان نمونه‌برداری | ۲۹ |
| ۳-۷-۱ حداقل زمان یک سیکل نمونه‌برداری | ۲۹ |
| ۳-۸ دقت نمونه‌برداری | ۳۰ |
| ۴- نمونه‌برداری بار بستر رودخانه‌ها | ۳۲ |
| ۴-۱ انواع نمونه‌بردارهای بار بستر | ۳۲ |
| ۴-۱-۱ نمونه‌بردار نوع سبدی | ۳۳ |
| ۴-۱-۲ نمونه‌بردار تفاضلی | ۳۴ |
| ۴-۱-۲-۱ دستگاه نمونه‌بردار تله‌ای آرنم | ۳۴ |
| ۴-۱-۳ نمونه‌بردار هلی اسمیت | ۳۵ |
| ۴-۱-۴ نمونه‌بردار طشتکی | ۳۵ |
| ۴-۱-۵ نوع شکاف دار یا چاله ای | ۳۵ |
| ۴-۲ انواع جدید نمونه‌بردارهای اندازه‌گیری مستقیم بار بستر | ۳۸ |
| ۴-۲-۱ نمونه‌بردار اسپینکس | ۳۸ |
| ۴-۲-۲ نمونه‌بردار کارلویی | ۳۹ |
| ۴-۲-۳ نمونه‌بردار VUV | ۳۹ |
| ۴-۳ روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری بار بستر | ۴۰ |
| ۴-۳-۱ تجهیزات (ادوات) صوتی | ۴۰ |
| ۴-۳-۲ روش‌های ماوراء صوت | ۴۱ |
| ۴-۳-۳ تعیین مقدار بار بستر از پروفیل دیون و تغییرات فرم بستر | ۴۱ |
| ۴-۴ روش‌های نمونه‌برداری بار بستر | ۴۳ |
| ۵- نمونه‌برداری بار کل رودخانه‌ها | ۴۴ |
| ۶- نمونه‌برداری از مواد رسوبی در بستر رودخانه‌ها | ۴۴ |
| ۶-۱ نمونه‌برداری از رسوبات سطحی از مواد بستر | ۴۴ |
| ۶-۲ نمونه‌برداری از رسوبات عمقی (مغزه‌گیری) | ۴۷ |
| ۶-۳ نمونه‌های ذرات – درشت | ۴۷ |
| ۷- منابع و مآخذ | ۵۰ |

## مقدمه

آگاهی از میزان انتقال رسوب در رودخانه‌ها برای حل عملی کلیه مسائل مربوط به جریان در مجاری آبرفتی ضروری است. تئوریهای موجود و معادلات تجربی برای محاسبه میزان انتقال رسوبات فقط مقادیری تقریبی را به‌دست می‌دهد و مهندسین هیدرولیک به‌دلیل اینکه زمان و هزینه‌های مربوط به اندازه‌گیری واقعی بار رسوب را مجاز نمی‌شمارد، از این روش‌های محاسباتی استفاده می‌کنند. ولی استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده میزان رسوب انتقال یافته در صورت امکان، ارجح‌تر است. اندازه‌گیری بار رسوب در رودخانه‌ها و کانالهای مصنوعی از شروع قرن نوزدهم مرسوم شده است [۱] و در آینده نیز ادامه خواهد داشت.

هیدرومتری رودخانه‌های ایران از سال ۱۳۲۴ – ۱۳۲۵ (از جمله رودخانه گلپایگان در ایستگاه اخته خوان در سال ۱۳۲۵) رسماً شروع شده و متعاقباً با توسعه آن نمونه‌برداری از رسوبات معلق رودخانه‌ها به منظور محاسبه و برآورد مقادیر حجم سالانه رسوب پس از حدود ۱۵ سال ابتدا از رودخانه زاینده رود در ایستگاه زمان خان در سال ۱۳۴۰ آغاز گردیده است. اهمیت روزافزون آماربرداری مطمئن از مقادیر کل رسوبات حمل شده، تعداد ایستگاههای رسوب سنجی شبکه هیدرومتری را تاکنون به ۷۴۷ ایستگاه رسانده است. که از بین آنها در ۴۷۶ ایستگاه با داشتن پل تلفریک می توان مقادیر حجم رسوبات انتقالی را از طریق نمونه‌برداری از جریان رودخانه‌ها حتی با دبیهای بزرگ و استثنایی محاسبه و برآورد نمود. بدیهی است متناسب با توسعه ایستگاههای رسوب سنجی که در آنها فقط بار معلق اندازه‌گیری می‌شود لازم است در زمینه کنترل صحت و دقت این اندازه‌گیریها و برآوردها نیز اقدامات جدی به‌عمل آید. اکنون با استفاده از نتایج حاصل از عملیات عمق یابی مخازن سدهای ذخیره ای کشور که از سال ۱۳۵۰ رایج شده است، محاسبات و برآوردها از حجم و مقادیر رسوب در ایستگاههای هیدرومتری ورودی به دریاچه سدها نیز بهتر از پیش مورد بررسی و کنترل قرار می‌گیرد.

انتظار دست اندرکاران هیدرومتری کشور این است که با روش‌های مشخص علمی – تجربی بتوان به سهولت و با یک مکانیسم ساده اجرایی نسبت به اندازه‌گیری مواد معلق و بار بستر رودخانه‌ها متناسب با شرایط فیزیوگرافی و آب و هوایی حوضه‌ها، اقدام مستمر و پیگیر انجام گیرد.

در این نشریه ادوات و دستگاههای نمونه‌برداری بار معلق و بار بستر مورد بررسی قرار گرفته و علاوه بر معرفی کلی، نتایج بررسیهای مقایسه‌ای به صورت تفصیلی با درج مشخصات کامل آنها ارائه شده است.

## ۱- کلیات

مقدار رسوب انتقال یافته از یک مقطع را می‌توان با روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تعیین نمود. روش‌های مستقیم شامل تعیین وزن رسوبات عبوری از یک مقطع در یک زمان معین است. روش‌های غیرمستقیم به اندازه‌گیری غلظت، مساحت سطح مقطع و سرعت ذرات در حال حرکت نیاز دارد.

اندازه‌گیری بار بستر رودخانه‌ها به صورت مستقیم انجام می‌شود. روش‌های غیرمستقیم برای اندازه‌گیری بار بستر، به علت مشکل بودن اندازه‌گیری سرعت ذرات در حال حرکت به صورت بار بستر مناسب نیستند. روش‌های غیرمستقیم برای اندازه‌گیری بار معلق بسیار مناسب بوده زیرا مواد معلق با سرعت جریان حرکت می‌کنند.

از اطلاعات اساسی مورد نیاز در مطالعات رسوب، تعیین دانه‌بندی مواد بستر می‌باشد. برای دستیابی به این هدف نمونه‌های رسوب باید با استفاده از نمونه‌برداریهای مواد بستر تهیه شود.

پس از نمونه‌برداری، آزمایش‌هایی برای تعیین غلظت و نیز دانه‌بندی رسوبات صورت می‌گیرد و در مرحله نهایی بر روی نتایج حاصل از آزمایش‌ها تحلیل‌های ضروری انجام می‌پذیرد. مراحل مختلف نمونه‌برداری آزمایش و محاسبات هرکدام دارای خطاهایی بوده که خطای ناشی از آزمایش‌ها و دقت دستگاههای اندازه‌گیری برای تعیین غلظت و دانه‌بندی در پیش‌نویس مربوط به آن آزمایش‌ها بررسی شده و خطاهای حاصله از نمونه‌برداری در نشریه‌ای تحت عنوان اندازه‌گیری و بررسی خطاها در نمونه‌برداری بار معلق ارائه خواهد شد.

چگونگی و نوع ادوات مورد استفاده در اندازه‌گیری رسوب رودخانه‌ها نشان می‌دهد که تاکنون روش پایه‌ای که بتواند به صورت استاندارد در اغلب رودخانه‌ها مورد استفاده قرار گیرد، تهیه و تدوین نشده است. گرچه در بسیاری از کشورها استفاده از دستورالعملهای استاندارد از مدتها پیش شروع شده است و روش‌های بهینه استفاده از ادوات برای آنها بعضاً به شکل تثبیت شده‌ای درآمده است. در کشور ما نیز از یک طرف به لحاظ شرایط بسیار متنوع و مختلف حاکم بر حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها و از سوی دیگر عدم توسعه مطالعات و تحقیقات پایه منابع آب، تهیه چنین دستورالعمل‌های استانداردی ضروری به‌نظر می‌رسد.

در این دستورالعمل اندازه‌گیری بار در حال انتقال رودخانه‌ها با استفاده از انواع نمونه‌بردارهای مکانیکی ساده تا پیشرفته[1] صوتی[2] و نوری مورد بحث و معرفی قرار گرفته است. بسیاری از نمونه‌بردارها به صورت پیوسته نقطه‌ای[3] مورد استفاده قرار می‌گیرند و در آن پارامترها به عنوان تابعی از زمان در یک نقطه مشخص در بالای بستر رودخانه نمونه‌برداری و اندازه‌گیری می‌شوند. در بعضی ادوات نمونه‌برداری، نمونه‌ها را به شکل پیوسته عمقی[4] با پایین و بالا بردن در عمق آب با یک سرعت ثابت، برداشت می‌نمایند.

---

1 - Sophisticated Optical Samplers

2 - Acoustical Samplers

3 - Point Integrating Samplers

4 - Depth Integratings Samplers

در زمینه اندازه‌گیری بار بستر[1] در حال انتقال در مرحله اول و به شکل وسیع تر، از نمونه‌بردارهای مکانیکی ساده[2] که مواد رسوبی در حال انتقال نزدیک بستر را جمع آوری و نمونه‌برداری می‌نماید استفاده می‌شود. روش دیگر ثبت مقطع بستر برحسب زمان است که در این مورد با استفاده از مقاطع اندازه‌گیری شده شکل بستر در بازه‌های زمانی مناسب و در شرایط جریان مشابه، بار بستر در حال انتقال محاسبه می‌شود.

## ۲- مروری بر نحوه انتقال مواد رسوبی در رودخانه‌ها

در بستر مجاری آبرفتی، هنگامی که متوسط تنش برشی از تنش کششی بحرانی مواد بستر بیشتر شود، ذرات ساکن روی بستر، براساس شرایط جریان، غلظت سیال و رسوب و نیز اندازه ذرات رسوب ممکن است به شکلهای مختلفی چرخشی به شرح زیر حرکت کنند :

### ۲-۱ حرکت چرخشی[3] و لغزشی[4]

زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار سرعت برشی بستر از مقدار سرعت بحرانی آستانه حرکت بیشتر شود. در این صورت ذرات رسوبی[5] بستر ضمن تماس پیوسته با بستر در حالت چرخش و لغزش به طرف جلو حرکت می‌کنند. ذراتی که به این شکل حرکت می‌کنند با عنوان بار تماسی نیز شناخته می‌شود.

### ۲-۲ حرکت جهشی[6]

چنانچه سرعت برشی باز هم بیشتر شود، حرکت ذرات در طول بستر به جهش‌های کم و بیش متناوب تبدیل می‌شود. ذراتی که به این شکل حرکت می‌کند به عنوان بار جهشی نامیده می‌شود.

### ۲-۳ حرکت ذرات به شکل معلق[7]

با افزایش تنش برشی نسبت به حرکت جهشی بخشی از ذرات به حالت معلق درمی‌آیند. در این حالت به علت نوسانات، آشفتگی ذرات به شکل معلق توسط جریان انتقال می‌یابند. مواد انتقال یافته به این شکل را بار معلق می‌نامند [۲].ذرات وقتی به صورت چرخش، لغزش و جهش حرکت کرده و انتقال می‌یابند بار بستر انتقالی می‌باشد که معمولاً بار بستر نامیده می‌شود. علاوه بر بار بستر و بار معلق، ممکن است ذرات لای معلق از سطح حوضه آبریز آورده شود که بار شسته نامیده می‌شود. معمولاً اندازه ۵۰ میکرومیلی‌متر و گاهی ۶۳ میکرومیلی‌متر جهت تمایز بین مواد شسته و مواد حاصل از بستر استفاده می‌شود.

---

1 - Bed Load
2 - Simple Mechanical Trap Type Samplers
3 - Rolling
4 - Sliding
5 - Bed Material
6 - Saltating
7 - Suspended

## ۲-۴ بار کل

بار کل مجموع بار بستر، بار معلق و بار شسته می‌باشد. [۲] اما تجارب عملی در فلوم‌های آزمایشگاهی (به جز در موارد خاص) نشان می‌دهد بار شسته وجود نداشته و بار کل بار مواد بستر می‌باشد. به عبارت دیگر، در جریانهای طبیعی بار شسته به‌طور یکنواخت (ثابت) وجود داشته و بار کل شامل بار مواد بستر (بار معلق و بار بستر) و بار شسته می‌باشد. به علاوه تفکیک بار شسته از بار کل اندازه‌گیری شده مشکل است. بنابراین با توجه به اختلاف در طبیعت داده‌های صحرایی و فلومهای آزمایشگاهی، یکسان درنظر گرفتن داده‌های جمع‌آوری شده بار کل در آزمایشگاه و صحرا مشکل می‌باشد. ولی اکثر روابط مربوط به بار کل عمدتاً براساس داده‌های فلومها و داده‌های رودخانه‌های که در آنها بار شسته برآورده شده و از بار کل اندازه‌گیری شده کسر شده است، می‌باشد. بنابراین از روابط موجود می‌توان انتظار داشت که بار مواد بستر (بار بستر و بار معلق) را تعیین نماید.

# ۳- نمونه‌برداری مواد معلق

اندازه‌گیری بار معلق عموماً ساده‌تر از بار بستر می‌باشد. نمونه‌برداری مواد معلق با استفاده از روش‌های غیرمستقیم می‌باشد. در مواردی که اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای سرعت و غلظت انجام می‌شود اندازه‌گیری‌های سرعت و غلظت ترکیب شده تا بار معلق تعیین شود.

## ۳-۱ تجهیزات نمونه‌برداری

### ۳-۱-۱ نمونه‌بردارهای تجمعی

این نوع نمونه‌بردار مخلوط آب و رسوب را از یک جریان محدود و از طریق یک نازل نسبتاً کوچک نمونه‌برداری می‌کند و خود شامل :

۳-۱-۱-۱ نمونه‌برداری تجمعی عمقی DI : نمونه‌برداری که در آنها با بالا یا پایین‌رفتن نمونه‌بردار در امتداد عمق آب با سرعت ثابتی نمونه‌برداری می‌شود.

۳-۱-۱-۲ نمونه‌برداری تجمعی نقطه‌ای PI : نمونه‌برداری که در یک نقطه معین از عمق آب در یک فاصله زمانی مشخص ثابت شده و نمونه‌برداری می‌کند.

به منظور نمونه‌برداری از رسوبات توسط این نوع نمونه‌بردار، محدوده جریان به صورت افقی به اجزایی (همانند روش اندازه‌گیری دبی) تقسیم شده و نمونه‌ها در ارتفاع‌های مختلف درطول یک قائم درهریک از اجزا جمع‌آوری می‌شود. عرض تقسیمات و فواصل قائم به نحوی انتخاب می‌شود که غلظت و تفاوت سرعت بین نقاط مجاور به حدی اندک باشد که دقت مطلوب حاصل شود. نمونه‌بردارهای تجمعی نقطه‌ای به دلیل تهیه نمونه‌های تجمعی زمانی نسبت به نمونه‌بردارهای چنگکی[1] برتری داشته و توسط USGS توصیه شده‌اند. در صورتی که نمونه‌ها برای تعیین شدت انتقال رسوب مورد استفاده باشند. سرعت باید در هر نقطه نمونه‌برداری اندازه‌گیری شود.

1 - Grab

### ۳-۱-۲ نمونه‌بردارهای لحظه‌ای یا چنگکی

این نمونه‌بردار حجمی از سوسپانسیون را با بستن ناگهانی دو انتهای محفظه‌ای که جریان از آن عبور می‌کند تله‌اندازی می‌نماید.

### ۳-۱-۳ نمونه‌بردارهای پمپی

این نوع نمونه‌بردار که مخلوطی از سوسپانسیون را با عمل پمپاژ از یک آبگیر برداشت می‌کند.

### ۳-۱-۴ نمونه‌بردارهای ویژه

این نوع نمونه‌بردارها طوری طراحی شده‌اند که هر بار با رسیدن تراز سطح آب به یک ارتفاع از پیش تعیین شده به طور اتوماتیک یک نمونه تهیه می‌کنند. این نمونه‌بردار برای نمونه‌برداری از سیلاب کاربرد دارد.
طبقه‌بندی و مشخصات نمونه‌بردارهای بار معلق در جدول‌های (۳-۱) و (۳-۲) ارائه شده است.

## ۳-۲ طبقه‌بندی USGS [1]

مؤسسه USGS نمونه‌بردارهای مواد معلق را بدون توجه به نوع آنها، برحسب جهت ورود مواد به آنها و نسبت به درجه دقت‌شان به صورت نزولی به شرح زیر طبقه‌بندی نموده است.

۳-۲-۱ نمونه‌بردارهایی که ورودی‌شان در جهت جریان رودخانه و موازی با جریان‌اند :

۳-۲-۱-۱ ظرف نمونه و نازل ورودی آن به صورت یک واحد کامل نصب شده که اتصال این دو توسط یک مجرای کوتاه انجام شده است (نمونه‌بردارهای سری US –)

۳-۲-۱-۲ ظرف نمونه و دهانه ورودی به صورت یک واحد کامل است (نمونه‌بردارهای نوع چنگلکی)

۳-۲-۱-۳ ظرف نمونه و دهانه ورودی با یک مجرای چند فوتی از هم جدا شده‌اند (نمونه‌بردارهای پمپی)

۳-۲-۲ نمونه‌بردارهایی با دهانه ورودی واقع در زوایای راست جریان :

۳-۲-۲-۱ ظرف نمونه و روزنه دهانه ورودی به صورت یک واحد رویهم، سوار شده و اتصال آنها توسط یک مجرای کوتاه انجام می‌شود (نمونه‌بردارهای پمپی)

۳-۲-۲-۲ ظرف نمونه‌بردار و دهانه ورودی با یک مجرای چند فوتی از هم جدا شده‌اند (نمونه‌بردارهای پمپی)

۳-۲-۲-۳ ظرف نمونه‌بردار بدون نازل یا مجرا (نمونه‌بردارهای چنگکی عمودی)

نمونه‌بردارهای سری US که توسط طرح مطالعات رسوب کشوری [2] توسعه یافته‌اند شامل نمونه‌بردارهای تجمعی (هر دو نوع تجمعی عمقی و تجمعی نقطه‌ای)، نمونه‌بردارهای پمپی و سایر نمونه‌بردارهای با اهداف ویژه‌اند. نمونه‌بردارهای مواد معلق طوری طراحی شده‌اند که نمونه‌های

1- U.S. Geological Survey

2 - Federal Inter Agency Sedimentation

**هم‌جنبش[1] برداشت کنند. (یعنی نمونه‌برداری به نحوی باشد که مخلوط آب و رسوب هنگام ترک محدوده جریان و ورود به دهانه نمونه‌بردار بدون هیچ شتابی حرکت نماید). اکثر نمونه‌بردارهای پمپی و سایر انواع نمونه‌بردارهای ویژه برای نمونه‌برداری هم‌جنبش طراحی نشده‌اند. خصوصیات ویژه انواع مختلف نمونه‌بردارهای تجمعی در جدول ۳-۳ ارائه شده و نمونه‌بردارهای معرف در شکل ۳-۱ و ۳-۲ نشان داده شده است. نمونه‌بردارهایی که توسط کابل معلق می‌شوند برای استفاده از روی پلها، کابل‌های نقاله وقایق مناسب‌اند.**

**در جدول ۳-۳ :**

a – **جدول از** USGS

b – DI، **نمونه‌بردار تجمعی عمقی و** PI، **نمونه‌بردار تجمعی نقطه‌ای**

c – A، B **و** C **اندازه‌های نازل قابل دسترس به ترتیب ۶/۴ ، ۴/۸ و ۳/۲ میلی‌متر**

d – AL، **آلومینیم؛** BR، **برنز؛** PS، **صفحه فلزی**

e - **نازل با اندازه ۴/۸ میلی‌متر به صورت سفارش خاص**

f – **ظرف و نازل با اندازه متغیر به شرح زیر :**

| اندازه نازل | اندازه ظرف | |
|---|---|---|
| | ۴۷۳ ml | ۹۴۶ ml |
| C | ۵/۸ m | ۴/۹ m |
| B | ۴/۹ m | ۴/۹ m |
| A | ۲/۷ m | ۴/۹ m |

g - **بدنه رنگ شده با اپکسی، نازل نایلون و واشرهای سیلکون**

h - **بدنه آلومینیومی و نوک فلزی**

i – **با ظرفیت ۴۷۳ میلی‌لیتر**

j – **با ظرفیت ۹۴۶ میلی‌لیتر**

1 - Isokinetically

**جدول ۳-۱- طبقه‌بندی انواع نمونه‌بردارهای رسوب معلق**

| طبقه‌بندی | کاربرد | مشخصه اصلی | حجم نمونه برداشت شده (لیتر) | شرح دستگاه | محدودیت عمق | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| لحظه‌ای | نمونه‌برداری نقطه‌ای (P.I) | افقی | ۰/۵<br>۱/- تا ۲/- | به وسیله یک فنر که یک چکش را می اندازد و موجب باز و بسته شدن نمونه‌بردار می شود و یا با یک سوییچ الکترومگنتیک که کلاً توسط یک میله یا کابل معلق صورت می‌پذیرد. | ندارد | |
| | | عمودی | ۱/- | نمونه بردار بطری به وسیله چوب پنبه‌ایکه با یک سیستم فنر و اهرم کار می‌کند باز و بسته می‌شود. | ندارد | |
| تجمعی | نمونه‌برداری (عمقی) (D.I) | تنظیم فشار محفظه‌ای | ۱ پینت (۰/۴۷۱)<br>۰/۵ | سری USD و USDH یا نازلهای در ۳ اندازه مختلف که در اعماق کمتر از ۵ متر استفاده می‌شود.<br>نمونه بردار بطری با نازلی که در مقابل جریان و هوای خروجی قرار می‌گیرد و در اعماق کمتر از ۵ متر استفاده می‌شود. | ۴/۵ متر (R.T) | |
| | | تنظیم فشار کیسه‌ای | ۱/-<br>۲/- | نازل پلاستیکی قابل تعویض، زمانی که در عمق زیاد استفاده می شود حجم نمونه را می‌توان با استفاده از کیسه‌های بزرگ افزایش داد. | ندارد | |
| | نمونه‌برداری نقطه‌ای (P.I) | تنظیم فشار با شیر | ۱ کوارت یا ۰/۹۴۱<br>۱/-<br>۲/- | سری USD با نازلهای مختلف در ۳ اندازه مورد استفاده در اعمال کمتر از ۵۵ متر<br>سری‌های JS یا JLC با نازلهای قابل تعویض | ۲۵ تا ۴۰ متر<br>حداکثر ۵۵ متر | |
| | | تنظیم فشار کیسه‌ای با شیر | ۱/-<br>۳/-<br>۱/-<br>۲/-<br>عملا" بدون محدودیت | نازل پلاستیکی قابل تعویض<br>با استفاده از کیسه ذخیره‌ای پلاستیکی<br>کیسه لاستیکی مخصوص با نازل قابل تعویض<br>برای تنظیم فشار از محفظه خلأ استفاده می‌شود. و می توان در نزدیکی بستر از آن استفاده نمود. | ندارد<br>ندارد | |
| | | سرعت ورودی قابل تنظیم | | سرعت ورودی با تغییرات سرعت پمپ قابل تنظیم است و می‌توان در نزدیکی بستر از آن استفاده نمود. | ندارد | |
| | | | ۱ پینت یا ۰/۴۷۱ | نمونه بردار یک مرحله‌ای مورد استفاده در سیلابهای زودگذر | | |
| انباشتگی | جمع‌آوری مستقیم رسوب | خروج آب و ته‌نشست رسوب | | نمونه بردار بطری دلفت یا نوع نرپیک برای اندازه‌گیری بار معلق در مورد آن ضریب تصحیح دبی لازم است اعمال شود. | | |
| | | بخش کوچکی از جریان به محل جمع‌آوری منحرف می‌گردد. | درحوضه‌های کوچک نمونه‌برداری در دوره جریان به مقدار کافی انجام می‌شود. | در این خصوص روش‌های متعددی وجود دارد که اغلب در حوضه‌های معرف کوچک در زمینه تحقیقات حفاظت خاک به کار گرفته شده است. | | |

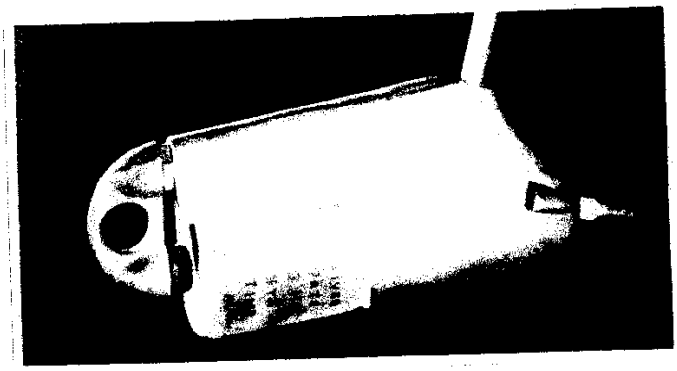
**جدول ۳-۲- مشخصات نمونه بردارهای بار معلق [۲]**

| دقت همه جانبه (یک فقره اندازه‌گیری) | | مدت زمان حداقل سیکل (دقیقه ) | زمان رسوب‌برداری (دقیقه) | زمان پاسخ (ثانیه) | حدود اندازه‌گیری mg/lit | اندازه‌گیری سرعت سقوط | | پارامتر اندازه‌گیری شده | بار معلق | | نمونه‌بردارهای بار معلق (پیوسته نقطه‌ای) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شن | ماسه | | | | | شن | ماسه | | شن | ماسه | |
| ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۵ | = ۱ | – | > ۱ | لوله جمع‌کننده | پیپت | غلظت | بله | بله | بطری |
| ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۵ | لحظه‌ای | لحظه‌ای | > ۱ | لوله جمع‌کننده | پیپت | غلظت | بله | بله | تله |
| ۱۰۰٪ | ۱۰۰٪ | ۵ | = ۱ | – | > ۱ | لوله جمع‌کننده | پیپت | غلظت و شروع انتقال رسوب | بله | بله | بطری USP-61 |
| ۵۰٪ | – | ۱۰ | ۳۰ – ۵ | – | > ۱۰ | لوله جمع‌کننده | پیپت | شروع انتقال رسوب | بله (>۱۰۰ μm) | نه | بطری دلفت |
| ۲۰٪ | – | ۱۰ | ۱۰ – ۵ | – | > ۱۰ | – | – | غلظت | بله | نه | پمپ فیلتری |
| ۲۰٪ | ۲۰٪ | ۱۵ | ۱۰ – ۵ | – | ۱۰< (سیلت) ۵۰ > (شن) | لوله جمع‌کننده | پیپت | غلظت | نه | نه | پمپ رسوبی |
| ۲۰٪ | ۲۰٪ | ۵ | ۵ – ۱ | – | > ۱ | لوله جمع‌کننده | پیپت | غلظت | بله | بله | بطری پمپدار |
| – | ۵۰٪ | ۵* | آزاد | ۵ | ۱۰۰–۱۰۰۰ | – | – | غلظت | نه | بله | چشمی – کنترل Erucontrol |
| – | ۵۰٪ | ۵ | آزاد | ۱ | ۱۰۰–۱۰۰۰ | – | – | غلظت | نه | بله | چشمی– Partech پمپ چشمی |
| – | ۵۰٪ | ۵ | آزاد | ۱۰ | ۱۰۰–۲۰۰۰ | – | – | غلظت | نه | بله | Metrawatt 702 |
| | ۵۰٪ | ۵ | آزاد | ۱ | ۱۰۰–۲۰۰۰ ۱۰–۵۰۰۰ | – | – | غلظت سرعت | نه | بله | پمپ چشمی Monthek 230 |
| ۲۰٪ | | ۵ | آزاد | ۰/۱ | | – | – | غلظت | بله | نه | صوتی AZTM |
| | - | ۵* | آزاد | ۰/۱ | | – | – | غلظت | بله | نه | IOS-Impact Prob |

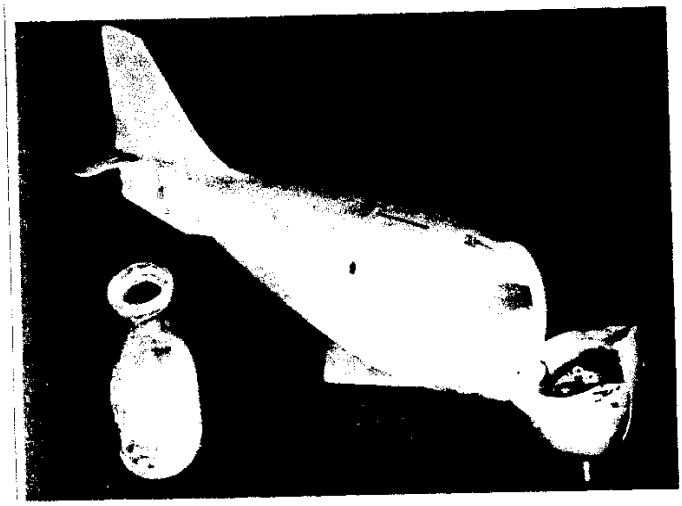
* زمان یک فقره نمونه‌برداری ۳ دقیقه حساب شده است.

**جدول ۳-۳- مشخصات فیزیکی نمونه‌بردارهای تجمعی عمقی و تجمعی نقطه‌ای سری‌های US برای جمع‌آوری مخلوط رسوبات معلق آب[a] [۳]**

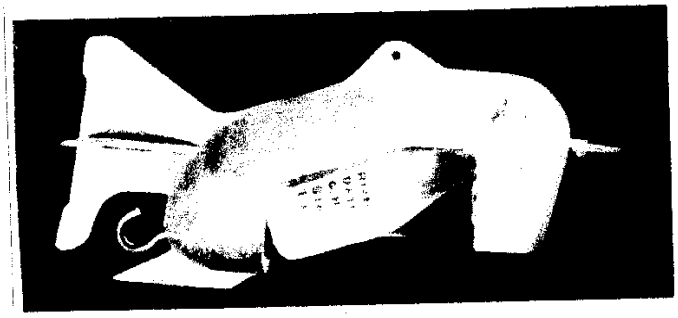
| نام نمونه‌بردار | نوع نمونه‌بردار[b] | روش تعلیق | جرم (کیلوگرم) | طول کلی (متر) | اندازه نازل قابل دسترس[c] | اندازه ظرف نمونه (میلی‌متر) | حداکثر عمق قابل دسترس | حداکثر سرعت واسنجی | فاصله بین نازل و کف نمونه‌بردار | مواد بدنه نمونه‌بردار[d] | ملاحظات |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| US DH -۴۸ | DI | میله | ۲/۰ | ۰/۳۳ | A,B[e] | ۴۷۳ | f | ۲/۷ | ۹۰ | AL[g] | برای فروبردن در آب |
| US DH -۵۹ | DI | کابل | ۱۰/۲ | ۰/۴۲ | A,B,C | ۴۷۳ | f | ۱/۵ | ۱۱۴ | BR[g] | برای بهره‌برداری دستی |
| US DH -۷۵P | DI | میله | ۰/۴ | ۰/۲۶ | B | ۵۰۰ | f | ۲/۰ | ۸۳ | PS[g] | فقط برای نمونه‌برداری در دماهای زیر صفر |
| US DH -۷۵Q | DI | میله | ۰/۴ | ۰/۲۹ | B | ۱۰۰۰ | f | ۲/۰ | ۱۱۴ | PS[g] | مشابه با DH – ۷۵P |
| US DH -۷۶ | DI | کابل | ۱۰/۹ | ۰/۴۷ | A,B,C | ۹۴۶ | f | ۲/۰ | ۸۰ | BR[g] | مشابه با DH -۵۹ |
| US D -۴۳ | DI | کابل | ۲۲/۶ | ۰/۵۲ | A,B,C | ۴۷۳ | f | ۲/۱ | ۱۰۵ | BR | دیگر وجود ندارد. |
| US D -۴۹ | DI | کابل | ۲۸/۰ | ۰/۶۱ | A,B,C | ۴۷۳ | f | ۲/۱ | ۱۰۳ | BR[g] | |
| US D -۴۹AL | DI | کابل | ۱۸/۰ | ۰/۶۱ | A,B,C | ۴۷۳ | f | ۲/۰ | ۱۰۳ | AL[g] | مشابه با D – ۴۹ |
| US D -۷۴ | DI | کابل | ۲۸/۲ | ۰/۶۶ | A,B,C | ۴۷۳ یا ۹۴۶ | f | ۲/۰ | ۱۰۳ | BR[g] | مشابه با D – ۴۹ |
| US D -۷۴AL | DI | کابل | ۱۱/۴ | ۰/۶۶ | A,B,C | ۴۷۳ یا ۹۴۶ | f | ۱/۸ | ۱۱۱ | [gh] | مشابه با D – ۷۴ |
| US P – ۴۶ | PI | کابل | ۴۵/۲ | ۰/۶۶ | B | ۴۷۵ | ۴۲/۷ | ۳/۰ | ۱۲۲ | BR | وجود ندارد. |
| US P – ۵۰ | PI | کابل | ۱۳۵/۶ | ۱/۱۲ | B | ۴۷۳ یا ۹۴۶ | ۶۱/۰ i<br>۴۱/۰ j | ۳/۰ | ۱۴۰ | BR[g] | |
| US P-۶۱-AL | PI | کابل | ۴۷/۵ | ۰/۷۱ | B | ۴۷۳ یا ۹۴۶ | ۵۴/۹ i<br>۳۶/۶ j | ۲/۰ | ۱۰۹ | BR[g] | |
| US P – ۶۳ | PI | کابل | ۹۰/۴ | ۰/۸۶ | B | ۴۷۳ یا ۹۴۶ | ۵۴/۹ i<br>۳۶/۶ j | ۲/۰ | ۱۵۰ | BR[g] | |
| US P – ۷۲ | PI | کابل | ۱۷/۷ | ۰/۷۱ | B | ۴۷۳ یا ۹۴۶ | ۲۲/۰ i<br>۱۵/۵ j | ۱/۶ | ۱۰۹ | AL[g] | مشابه با P-۶۱ ولی برای استفاده دستی |



الف – نمونه‌بردار دستی رسوبات معلق نوع US DH -۴۸

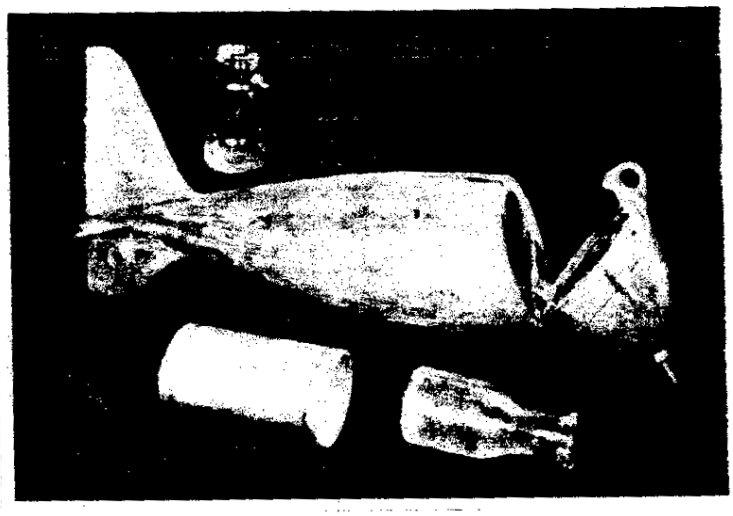


ب – نمونه‌بردار کابلی و ماسوره‌ای رسوبات معلق نوع US D -۴۹

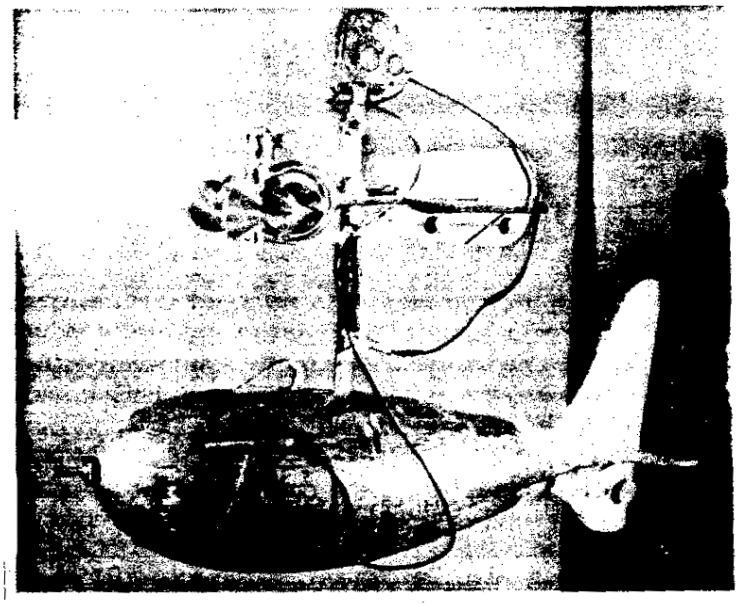


ج – نمونه‌بردار دستی معلق نوع US DH -۵۹

شکل ۳-۱- نمونه‌بردارهای تجمعی عمقی [۲]



الف – نمونه‌بردار رسوبات معلق کابلی و ماسوره‌ای



ب – نمونه‌بردار رسوبات معلق و سرعت‌سنج متصل به میله معلق

شکل ۳-۲- نمونه‌بردارهای تجمعی نقطه‌ای نوع USP-b۱ [۳]

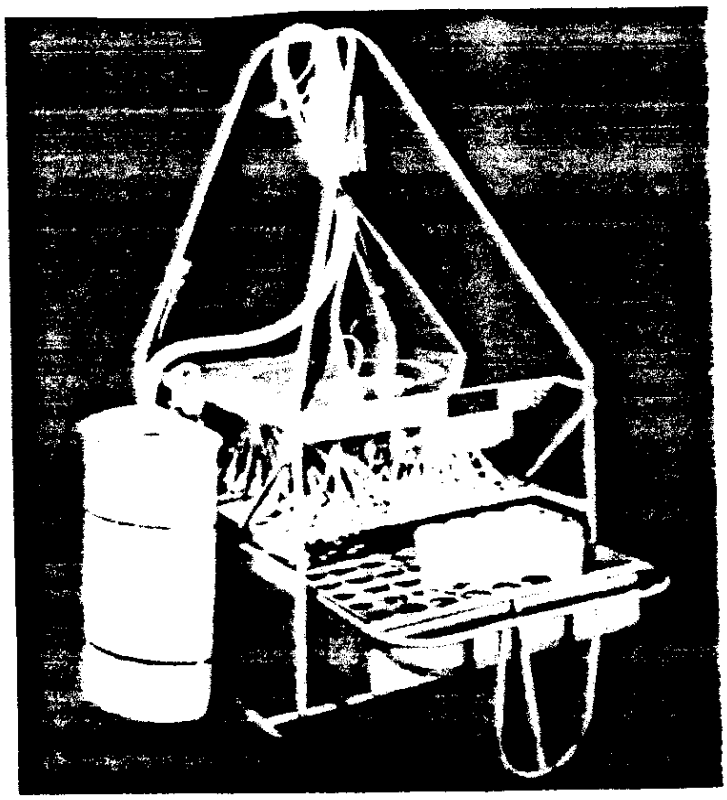
**در نمونه‌بردارهای تجمعی عمقی، نمونه‌بردار با سرعت یکنواخت در تمام یا بخشی از عمق بالا و پایین برده می‌شود. مخلوط آب و رسوب از کلیه نقاط عمق نمونه‌برداری به نحوی جمع می‌شود که در هر عمق یک حجم کافی از مخلوط متناسب با سرعت جریان در آن نقطه نمونه‌برداری (جمع‌آوری) می‌شود.**

**نمونه‌بردار تجمعی نقطه‌ای، برای نمونه‌برداری در هر نقطه موردنظر در زیر سطح آب به جز در چند اینچی بستر و نیز برای نمونه‌برداری به صورت پیوسته در طول محدوده‌ای از عمق قابل استفاده است. این نوع نمونه‌بردارها در رودخانه‌های خیلی عمیق یا برای نمونه‌برداری تجمعی خیلی سریع در یک رفت و برگشت به کار می‌روند. سیستم‌های دریچه با جریان مستقیم الکتریکی مولدهای نیرو یا با ولتاژهای متوسط به‌کار می‌افتد.**

**نمونه‌بردارهای پمپی برای نصب دائم در رودخانه می‌باشند، ورودی (آبگیر) آنها در یک نقطه اصلی از رودخانه ثابت می‌شود. معمولاً با زاویه ۹۰ درجه نسبت به جریان قرار می‌گیرند و برای نمونه‌برداری هم‌جنبش طراحی نشده‌اند. ولی با شدتی پمپاژ می‌کند که سرعت ورودی به آن چند برابر سرعت آب رودخانه باشد. که حاصل آن غلظت‌های دقیق نمونه‌های لای و رس می‌باشد. ولی منجر به کم شدن غلظت طبیعی ذرات درشت‌تر می‌شود. سه نوع نمونه‌بردار پمپی متداول در کشور ایالات متحده عبارتند از :**
**نوع ۶۹- US PS ، نوع US PSTM و نوع کوچکتر آن ۷۳- US PS، برای فلزات ردیاب‌اند. نوع ۶۹- US PS در شکل ۳-۳ نشان داده شده که با سه باطری ۱۲ ولت کار می‌کند و براساس یک برنامه از پیش تعیین شده پمپاژ می‌کند. در هر بار پمپاژ نمونه‌بردار لوله ورودی را از رسوبات باقیمانده پاک کرده و یک ظرف جداگانه از نمونه پر می‌کند. نحوه کارکرد نمونه‌بردار ۷۳- US PS مشابه بوده و ظرفیت ظرف نمونه‌بردار آن ۱ لیتر و برای نمونه‌بردارهای ۲۴- US PS نیز ۱ لیتر و در نوع ۳۶- US PS ، ظرفیت نمونه‌بردار ۵۰۰ میلی‌لیتر می‌باشد. [۳]**

**نمونه‌بردارهای ویژه در سری US در رودخانه‌های فصلی که دارای سیلاب ناگهانی بوده و دسترسی به آنها مشکل است کاربرد دارند. این نمونه‌بردارها طوری طراحی شده‌اند که هر بار با رسیدن تراز سطح آب به یک ارتفاع از پیش تعیین شده به‌طور اتوماتیک یک نمونه تهیه می‌کنند. از انواع متداول این نوع نمونه‌بردارها نوع ۵۹- US U یک مرحله‌ای است این نمونه‌بردار دارای یک بطری با در (لاستیکی یا چوب پنبه‌ای) کاملاً بسته و دو لوله U شکل معکوس که به عنوان ورودی و خروجی عمل می‌کند. یک شاخه از لوله U شکل از سر بطری عبور کرده و شاخه دیگر به رودخانه منتهی می‌شود. پس از مستغرق شدن نمونه‌بردار روی یک اشل بالارونده، مخلوط آب و رسوب بطری را پر کرده و بطری به طرف انتهای لوله خروجی بالا آمده و پس از بالاآمدن خروجی تعادل فشار حاصل می‌شود. با ادامه بالاآمدن اشل، خروجی مستغرق شده و یک فشار برگشتی ایجاد می‌شود که سبب بسته شدن جریان ورودی بعدی می‌گردد. [۳]**

**چند واحد از نمونه‌بردار ۵۹- U را می‌توان در ترازهای مختلف سوار نمود تا نمونه‌هایی در ارتفاع‌های مختلف روی اشل برداشت شود. از معایب آن، نمونه‌برداری را از نزدیکی سطح انجام داده، بنابراین فقط غلظت دقیق مواد ریزدانه را نشان می‌دهد. به علاوه لوله‌ها در معرض گرفتگی توسط خاشاک و حشرات و غیره می‌باشند.**



شکل شماره ۳-۳- نمونه‌بردار ۶۹- US PS [۳]

یک نوع جدیدتر نمونه‌بردار US U -۷۳ از جریان درون یک محفظه استفاده می‌کند که توسط مکانیسم فنر شناور می‌تواند بسته شود. با رسیدن اشل به یک ارتفاع از قبل تعیین شده محفظه توسط مکانیسم فنر شناور بسته می‌شود. این نمونه‌بردار برای نمونه‌برداری روی یک اشل صعودی یا نزولی قابل برنامه‌ریزی است.

## ۳-۳ روش‌های نمونه‌برداری

جمع آوری نمونه‌های رسوبات معلق برای رسیدن به اهداف زیر انجام می‌شود.

- تعیین غلظت رسوبات معلق در زمان و مکان موردنظر
- تعیین میزان رسوبات معلق انتقال یافته در واحد زمان در محل موردنظر
- تعیین مفاهیم مختلف مرتبط با مواد معلق

در مواردی که هدف از نمونه‌برداری کسب اطلاعاتی در مورد توزیع مکانی برخی از خواص مخلوط آب و رسوب بوده یا توزیع لحظه‌ای یک خاصیت در نقاط ویژه‌ای از مقطع جریان باشد، نمونه‌بردارهای نقطه‌ای استفاده می‌شوند. ولی اگر هدف جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد دبی و بعضی از خواص رسوبات معلق باشد، نمونه‌بردارهای تجمعی – عمقی به‌کار برده می‌شوند (همچنین از نمونه‌بردارهای تجمعی عمقی برای تعیین غلظت وزنی رسوب و ترکیبات جذب شده آن در واحدهای زمانی خاص استفاده می‌شوند). برای تعیین تغییرات مکانی

خواص رسوب باید نمونه‌برداری به صورت سریهای عمودی که در سراسر عرض کانال به صورت جانبی قرار گرفته‌اند، انجام شود. چون اغلب رودخانه‌ها مخلوطی از رسوبات ریز و درشت حمل می‌کنند. غلظت درکل مقطع متغیر است. همچنین غلظت رسوبات معلق در دوره‌های کوتاه و درازمدت تغییر می‌کند. فرکانس موردنیاز نمونه‌برداری تحت تأثیر مشخصه تغییرات دوره‌های زمانی طولانی قرار داشته و تغییرات دوره‌های زمانی کوتاه که ناشی از نوسانات آشفتگی است باید درنمونه‌برداری مدنظر قرارگیرد. انواع روش‌های نمونه‌برداری عبارتند از:

### ۳-۳-۱ روش عرض مساوی[1]

در این روش سراسر مقطع رودخانه به تعدادی قائم با فواصل مساوی تقسیم می‌شود. بده لحظه‌ای روی هر قائم با سایر قائم‌ها مساوی است. نمونه‌های جمع‌آوری شده علیرغم داشتن حجم‌های مختلف با هم مخلوط می‌شوند. از محاسن این روش این است که نیازی به تعیین توزیع افقی بده قبل از نمونه‌برداری نیست.

### ۳-۳-۲ روش دبی مساوی[2]

در این روش مقطع جریان به صورت افقی به زیر تقسیماتی با بده یکسان تقسیم می‌شود. از معایب این روش اینکه توزیع افقی دبی باید معلوم بوده یا هر بار قبل از نمونه‌برداری اندازه‌گیری شود. اندازه‌گیری‌های عمقی در نقطه وسط هر زیر بخش انجام می‌شود. بده لحظه‌ای روی هر قائم بنحوی است که حجم نمونه مربوط با حجم نمونه سایر قائم‌ها مساوی است. معمولاً اگر از بیش از ۵ قائم نمونه‌برداری شود، متوسط غلظت وزنی بده حاصل می‌شود.

### ۳-۳-۳ روش نقطه ثابت[3]

در این روش نمونه‌بردار در یک نقطه معین از عمق آب در یک فاصله زمانی مشخص، ثابت شده و نمونه برداری می‌کند. سه نوع متداول نمونه‌بردار DI که غالباً در ایالات‌متحده استفاده می‌شوند عبارتند از ۴۸- US DH (به وزن ۲۰ نیوتن)، ۵۹- US DH (به وزن ۱۰۷ نیوتن) و ۴۹- US D (به وزن ۲۷۶ نیوتن) که در شکل ۳-۱ نشان داده شده‌اند. نمونه‌بردار ۴۸- DH در رودخانه‌های کوچک که امکان پیمایش[4] در آن وجود دارد استفاده می‌شود. ۵۹- DH در اعماق بیشتر و در سرعتهای کمتر از ۴۸- DH استفاده می‌شود. ۴۹- US D در سیستم کابلهای معلق مناسب است. انواع معمول نمونه‌بردارهای تجمعی نقطه‌ای در ایالات متحده ۶۱- US P (به وزن ۴۴۵ نیوتن) و ۶۳- US P (به‌وزن ۸۹۰ نیوتن) می‌باشند. شکل ۳-۲ انواع نمونه‌برداری تجمعی نقطه‌ای و شکل ۳-۴ مشخصات این نمونه‌بردارها را نشان می‌دهد.

---

1 - Equal Width Increments

2 - Equal Discharge Increments

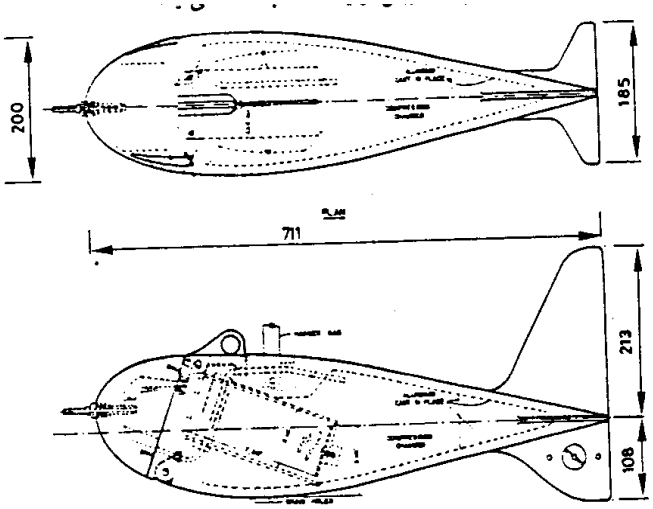
3 - Fixed Point

4 - Wading

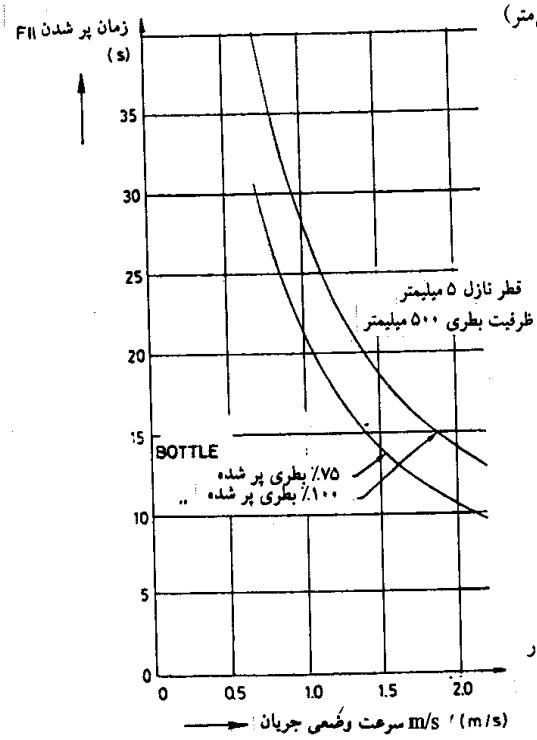
## ۳-۴ مقایسه ادوات نمونه‌برداری و محدودیت‌های آنها

### ۳-۴-۱ مقایسه نمونه‌بردارهای تجمعی

در مواردی که کاربرد نمونه‌بردارهای تجمعی مناسب باشد. این نوع نمونه‌بردار ارجحیت دارد. زیرا این نمونه‌بردار مخلوط آب و رسوب را از یک رشته طویل جریان به‌دست آورده و به علت عبور از میان جریان، نمونه در بیش از یک نقطه به‌دست می‌آید.




الف- ابعاد نمونه‌بردار (میلی‌متر)




ب- دوره پرشدن نمونه‌بردار

شکل ۳-۴- نمونه‌بردار ۶۱ – USP

در ۱۹۷۹ یک بررسی و تحقیق صحرایی روی نمونه‌بردارهای USP -۶۱، بطری دلفت[1] و پمپی فیلتردار[2] در رودخانه دانوب انجام شد. در این محل با مقطع اندازه‌گیری مستقیم (بازه)، عرض مقطع نسبتاً زیاد؛ متوسط عرض ۵۶۰ متر و متوسط عمق حدود ۸ متر بوده است. درجه حرارت آب بین ۱۴ تا ۱۸ درجه سانتیگراد متغیر بوده و ادوات نمونه‌برداری در جدول ۳-۴ توضیح داده شده است.

این سه نوع نمونه‌بردار در یک سطح هم تراز بالای کف بستر و در داخل یک محدوده ای به فاصله چند متر از یکدیگر مورد استفاده آزمایشی قرار گرفتند. نصب عملی آنها با نصب یک اکوساندر روی هریک از آنها صورت پذیرفته است جدول ۳-۵ نتایج یک مقایسه نسبی از نمونه‌بردارها را نشان می‌دهد. شکل (۳-۵) و (۳-۶) نتایج نمونه‌های انتقال رسوب را بر حسب اندازه ذرات که برای هریک از ادوات تهیه شده است نشان می‌دهد.

جدول ۳-۴- طبقه بندی نمونه‌بردارهای بار معلق

| نمونه‌بردارهای بار معلق | نمونه‌برداری پیوسته نقطه ای[4] (P.I) | نمونه‌برداری پیوسته عمقی[3] (D.I) |
|---|---|---|
| به روش مستقیم | نمونه‌بردار بطری دلفت<br>نمونه‌بردارهای صوتی[5] | - |
| به روش غیرمستقیم | نمونه‌بردارهای تله ای[6]<br>نمونه‌بردارهای بطری دار[7]<br>USP-61<br>نمونه‌بردارهای پمپی[8]<br>نمونه‌بردارهای نوری[9]<br>نمونه‌بردارهای ضربه ای[10] | 49–USD<br>نمونه‌بردار کیسه ای یا خورجینی قابل جمع شدن |

1 - Delft Bottle
2 - Pomp – Filter Sampler
3 - Depth Integration
4 - Point Integration
5 - Acoustical Samplers
6 - Trap Smaplers
7 - Bottle Samplers
8 - Pumpe s.
9 - Optical s.
10 - Impact s.

در نمونه‌بردار ۶۱- USP نوسانات نسبتاً زیادی در مقادیر اندازه‌گیری شده حتی در مورد دانه‌های رسوبی لای با قطر کمتر از ۷۰ میکرومیلی‌متر مشاهده شده است تغییرات و نوسانات ناشی از زمان کم نمونه‌برداری (حدود ۳۰ ثانیه) است که در نمونه‌های منفرد دقت تا ۵۰ ± تغییر می‌کند. لذا برای بدست آوردن متوسط منطقی قابل قبول در یک سیاق آماری، لازم است حداقل ده نمونه جمع‌آوری شود. در جریانهای جزر و مدی که غلظت‌ها برحسب زمان تغییر می‌کند نمونه‌بردار ۶۱- USP کاربرد عملی و مناسبی نمی‌تواند داشته باشد. برای جلوگیری و احتراز از جریان متلاطم در اثناء نمونه‌برداری لازم است فقط تا ۷۵٪ بطری ۵۰۰ میلی‌متری پر شود.

### ۳-۴-۲ مقایسه روش‌های مستقیم نمونه برداری

بطوریکه در شکل‌های (۳-۵) و (۳-۶) توضیح داده شده است، مقادیر اندازه‌گیری شده در مورد هریک از دانه‌های رسوبی با استفاده از منحنیهای کالیبره استاندارد، اصلاح شده اند. هرچند زمان نمونه‌برداری نسبتاً طولانی (۶۰۰ - ۹۰۰ ثانیه) بوده است، تغییرات (نوسانات) در مقادیر رسوبات هنوز نسبتاً زیاد و بالاست که احتمالاً حاصل از دست رفتن مقادیری از رسوبات در اثر بالا آوردن ادوات اندازه‌گیری است. در مقایسه با نمونه‌بردار ۶۱- USP نتایج بدست آمده از نمونه‌بردار بطری دلفت بطور سیستماتیک پایین تر و کمتر است، این امر خصوصاً برای اندازه ذرات ۷۰ – ۱۵۰ میکرون در مورد تمامی اندازه‌گیریها صدق می‌کند، متوسط اختلاف بین نمونه‌بردار بطری دلفت و ۶۱- USP، از حدود ۱۰ تا ۱۰۰٪ متغیر بوده و به اندازه ذرات و نوع نازل نمونه‌بردار بستگی دارد جدول (۳-۵).

### ۳-۴-۳ مقایسه روش‌های غیرمستقیم نمونه برداری

مخلوط آب و رسوب از داخل فیلترهای ۵۰ میکرومیلی‌متر پمپ شده است. تحلیلهای آزمایشگاهی نشان می‌دهد که تقریباً تمامی ذرات کمتر از ۷۰ میکرومیلی‌متر رد شده و از دست رفته اند. شکل (۳-۷) نوسانات نسبتاً کمی را نشان می‌دهد که به معنی این است که یک دوره (زمان) نمونه‌برداری حدود ۳۰۰ ثانیه زمان مناسبی است که بتوان مقدار متوسط قابل قبولی را بدست آورد. متوسط ارقام بدست آمده از اندازه‌گیری شن[1] رسوبی در حال انتقال با قطر بیشتر از ۷۰ میکرومیلی‌متر با نمونه‌بردارهای پمپی فیلتردار همخوانی نسبتاً خوبی با نمونه‌بردار ۶۱- USP دارد و متوسط اختلاف بین اندازه‌گیریهای بدست آمده از این دو نمونه‌بردار بین ۵ تا ۱۵٪ متغیر است جدول (۳-۵).

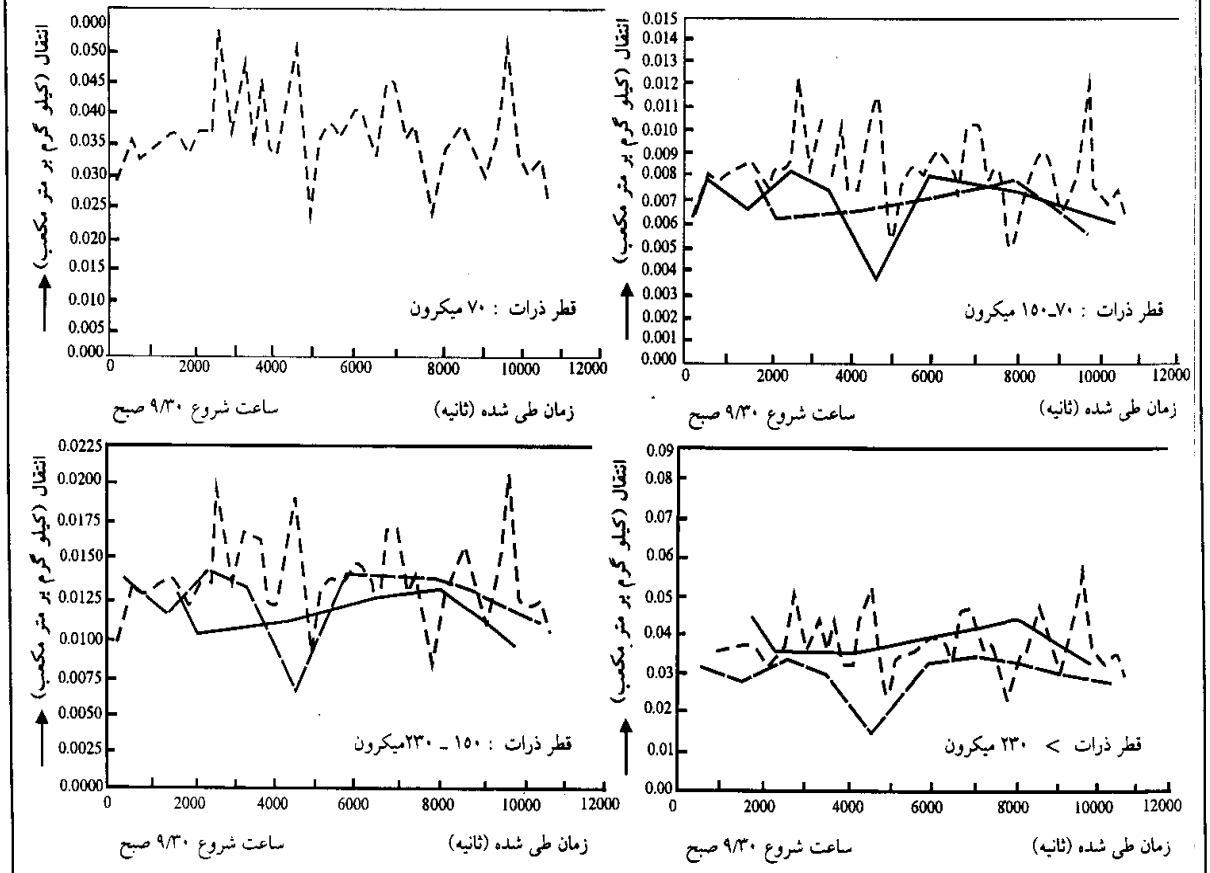
1 - Sand

**جدول ۳-۵- مقایسه رسوبات معلق در حال انتقال اندازه گیری شده با نمونه بردارهای بطری دلفت، USP -۶۱ و پمپی فیلتردار**

| نمونه‌بردارهای رسوبات بار معلق | | نسبت مقدار متوسط و انحراف معیار رسوبات معلق انتقالی اندازه‌گیری شده به اندازه ذرات | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | D = 70 – 150µm | | D = 150 - 230µm | | D > 230 µm | |
| | | متوسط | انحراف معیار | متوسط | انحراف معیار | متوسط | انحراف معیار |
| نسبت رسوبات | USP - 61 / بطری دلفت (بزرگ – نازل راست) | ۱/۶۲ | ۰/۵۴ | ۱/۲۰ | ۰/۴۳ | ۱/۰۶ | ۰/۶۱ |
| معلق انتقالی | USP - 61 / بطری دلفت (بزرگ – نازل خمیده) | ۲/۰۶ | ۱/۰۵ | ۱/۴۹ | ۰/۷۰ | ۱/۰۶ | ۰/۴۹ |
| | USP - 61 / بطری دلفت (کوچک – نازل راست) | ۱/۵۴ | ۰/۴۶ | ۱/۳۸ | ۰/۴۴ | ۱/۵۶ | ۰/۶۳ |
| | USP - 61 / بطری دلفت (کوچک – نازل خمیده) | ۱/۵۰ | ۰/۳۹ | ۱/۲۶ | ۰/۳۱ | ۱/۲۷ | ۰/۳۰ |
| | USP - 61 / نمونه بردار فیلتردار پمپی (PES) | ۱/۰۷ | ۰/۳۰ | ۱/۰۲ | ۰/۲۵ | ۰/۸۴ | ۰/۲۷ |

DB = بطری دلفت

PFS = نمونه‌بردار فیلتردار پمپی




منحنی نمونه بردار بطری دلفت (با نازل کوچک ) ـ زمان اندازه گیری ۶۰۰ـ۹۰۰ ثانیه

منحنی نمونه بردار USP61(با نازل کوچک) ـ زمان اندازه گیری ۳۰ـ ثانیه

منحنی نمونه بردار پمپی فیلتردار (با نازل کوچک) ـزمان اندازه گیری ۳۰۰ ثانیه

محل اندازه گیری : رودخانه دانوب نزدیک ایلوک در یوگوسلاوی

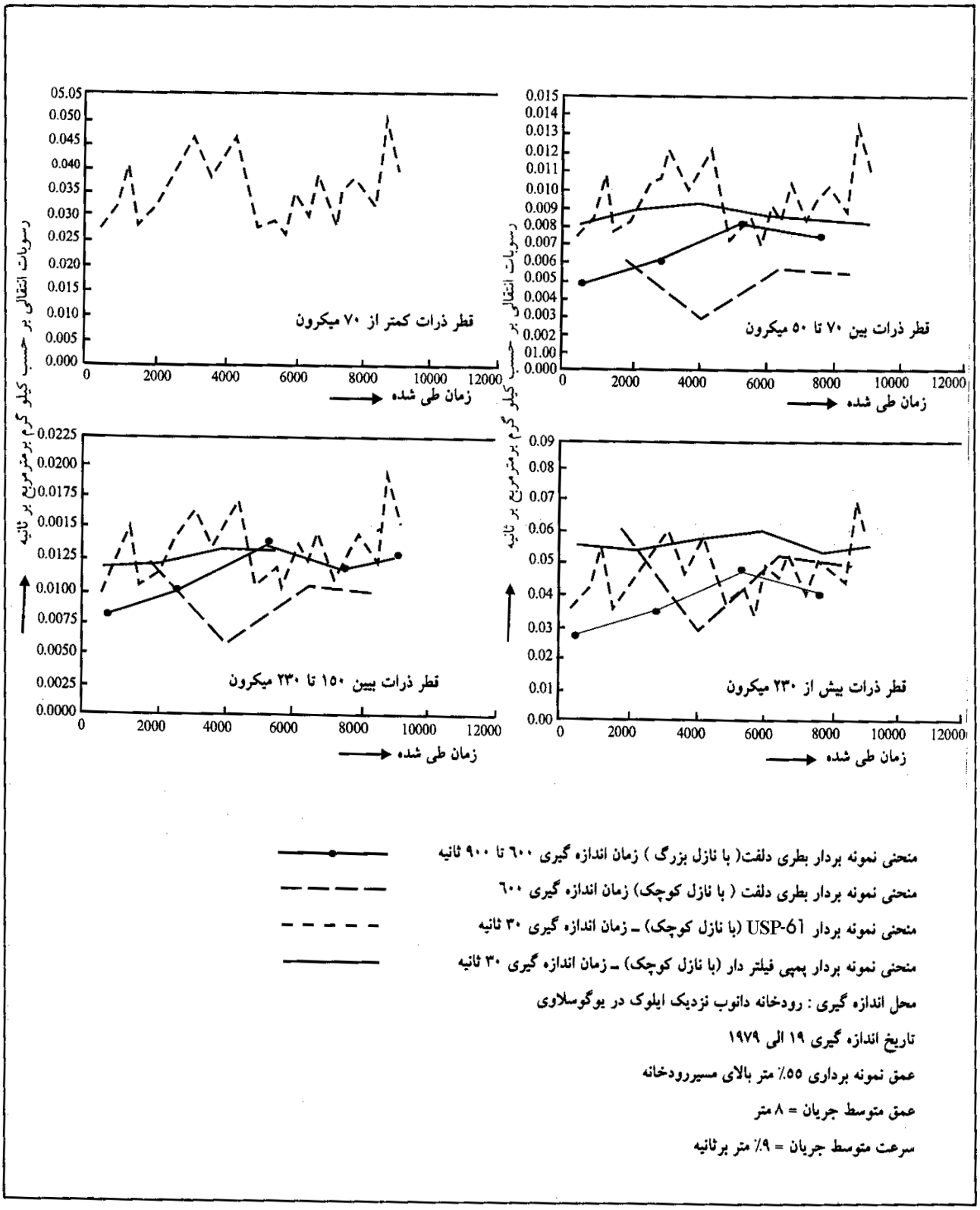
تاریخ اندازه گیری ۱۶می ۱۹۷۹

عمق نمونه برداری = ۷۵٪ متر بالای کف بستر

عمق متوسط جریان = ۸ متر

سرعت متوسط جریان = ۰/۹متر در ثا نیه

شکل ۳-۵- مقایسه رسوب معلق در حال انتقال اندازه‌گیری شده با نمونه‌بردارهای بطری دلفت ؛ ۶۱- USP و پمپی فیلتردار (آزمایشگاه هیدرولیک دلفت)




شکل ۳-۶- مقایسه رسوب معلق در حال انتقال اندازه‌گیری شده توسط نمونه‌بردارهای بطری دلفت ؛ ۶۱- USP و پمپی فیلتردار (آزمایشگاه هیدرولیک دلفت)

### ۳-۴-۴ مقایسه نمونه‌بردار پمپی فیلتردار و پمپی بطری دار[1]

اندازه‌گیریهای غلظت رسوب در محلی واقع در نزدیکی روتردام هلند صورت گرفته است. عمق جریان در محل اندازه‌گیری حدود ۱۰ متر، در حالیکه سرعت جریان جذرمدی بین صفر تا ۱ متر در ثانیه متغیر بوده است. مواد بستری ترکیبی است از ذرات ماسه با قطر میانه ۲۰۰ میکرومیلی‌متر، نمونه‌بردار پمپی فیلتردار (P.F) با فیلترهای ۵۰ میکرومیلی‌متر مورد استفاده قرار گرفته است. زمان اندازه‌گیری (نمونه‌برداری) در هر نقطه ۵ دقیقه در نظر گرفته شده است. بطور مشابه یک نمونه‌بردار پمپی بطری دار (P.B) جهت نمونه‌برداری غلظت رسوب مورد استفاده قرار گرفته است. نمای سیستم نمونه بردار پمپی – بطری دار در (شکل ۳-۷) نشان داده شده است.

این نمونه‌بردار شامل بطری دو لیتری است که به وسیله یک پمپ نصب شده در دهانه نمونه‌بردار پر می‌شود. نازل (دهانه) ورودی سیستم نمونه‌بردار بطری پمپی (P.B) نزدیک به نازل سیستم پمپی فیلتردار بسته شده است. (شکل ۳-۸) غلظت نمونه رسوبات شنی بیش از ۵۰ میکرومیلی‌متر را با هر دو سیستم فوق الذکر نشان می‌دهد.

همانطور که مشاهده می‌شود غلظت رسوبات شنی اندازه‌گیری شده به وسیله نمونه‌بردار P.F بطور سیستماتیک کمتر از مقادیری است که با نمونه‌بردار (P.B) نمونه‌برداری شده است که این احتمالاً به دلیل از دست رفتن دانه‌های رسوبی از بین فیلترها بوده است، علت دیگری که برای انحراف (از مقدار مورد انتظار و میانگین) می‌توان پیدا کرد زمان نسبتاً کم پرشدگی بطریهای نمونه‌برداری است که بین ۱ تا ۲ دقیقه در مقایسه با زمان نمونه‌برداری ۵ دقیقه در مورد نمونه‌بردار P.F است. بطور متوسط انحرافات در حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد است. (شکل ۳-۸).

### ۳-۴-۵ مقایسه نمونه‌بردار پمپی ترسیبی و نمونه‌بردار پمپی فیلتردار[2]

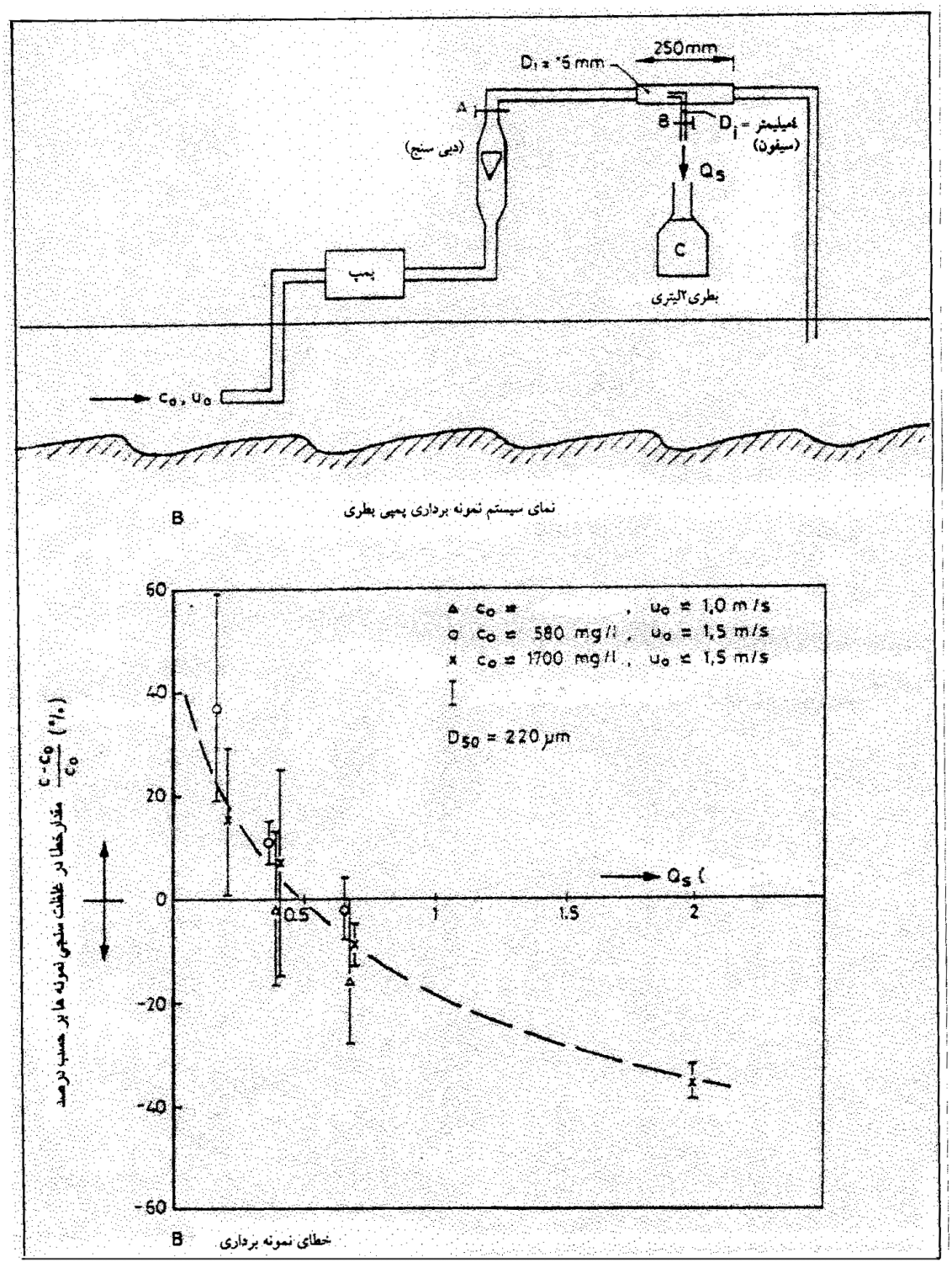
مقایسه غلظت سنجی‌ها در نزدیک روتردام هلند انجام شده است. عمق جریان در محل اندازه‌گیری بین ۱۵ تا ۲۰ متر و سرعتهای جزر و مدی جریان تا ۱/۵ متر در ثانیه رسیده است، مواد بستر از ماسه ریز با قطر ۲۸۰ میکرومیلی‌متر ($D_{50}$) بوده است، نازلهای گیرنده نمونه‌بردار پمپی ترسیبی و نمونه‌بردار پمپی فیلتردار در کنار یکدیگر بر روی نمونه‌بردار نصب گردیده است (شکل ۳-۹).

زمان نمونه‌برداری با نمونه‌بردار پمپی ترسیبی در حدود ۳ دقیقه بوده و برای نصب و استقرار زمان ۵ دقیقه صرف شده است. زمان نمونه‌برداری با نمونه‌بردار پمپ فیلتردار بلحاظ بسته شدن سریع فیلتر فقط ۱ تا ۲ دقیقه در نظر گرفته شده است. شکل ۳-۱۰ غلظت ذرات شنی بیش از ۵۰ میکرومیلمتر را در ۱ متری بالای کف بستر با استفاده از هر دو نمونه‌بردار نشان می‌دهد. بطور متوسط انحراف حدود ۲۰ تا ۳۰ درصد است، همچنین می‌توان مشاهده نمود که غلظتهای اندازه‌گیری شده با سیستم پمپ فیلتر تا حدودی بیشتر از نمونه‌هایی است که با نمونه‌بردار پمپی ترسیبی برداشت شده است که این احتمالاً معلول دوره نسبتاً کم نمونه‌برداری نسبت به سیستم پمپی فیلتردار است. جدول ۳-۶ برگه ثبت اطلاعات مربوط به نمونه‌بردار پمپی- ترسیبی را نشان می‌دهد.

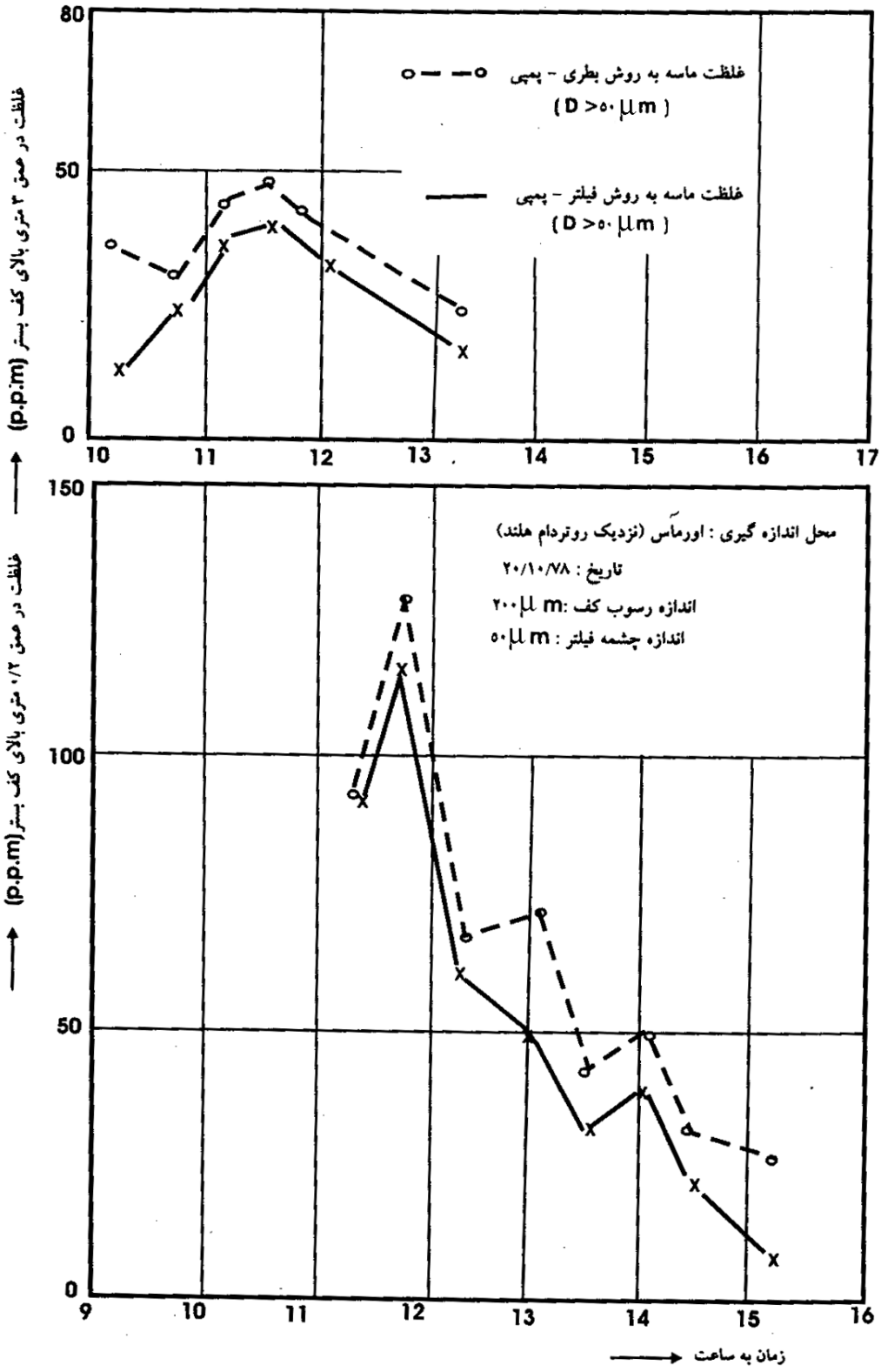
---

1 - Comparison of Pump Filter Sampler and Pump Bottle Sampler

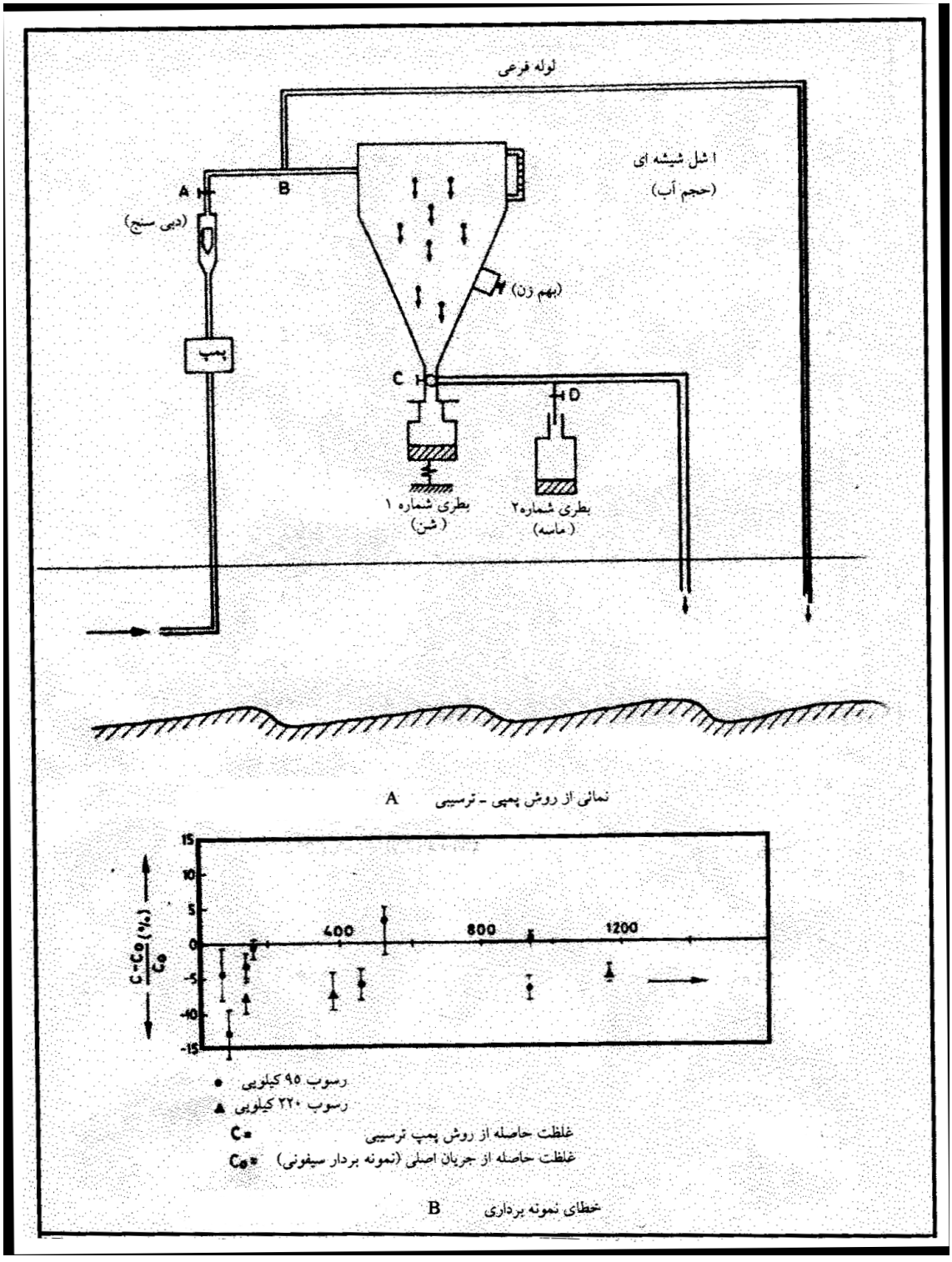
2 - Comparison of Pump Sedimentation Sampler and Pump Filter Sampler



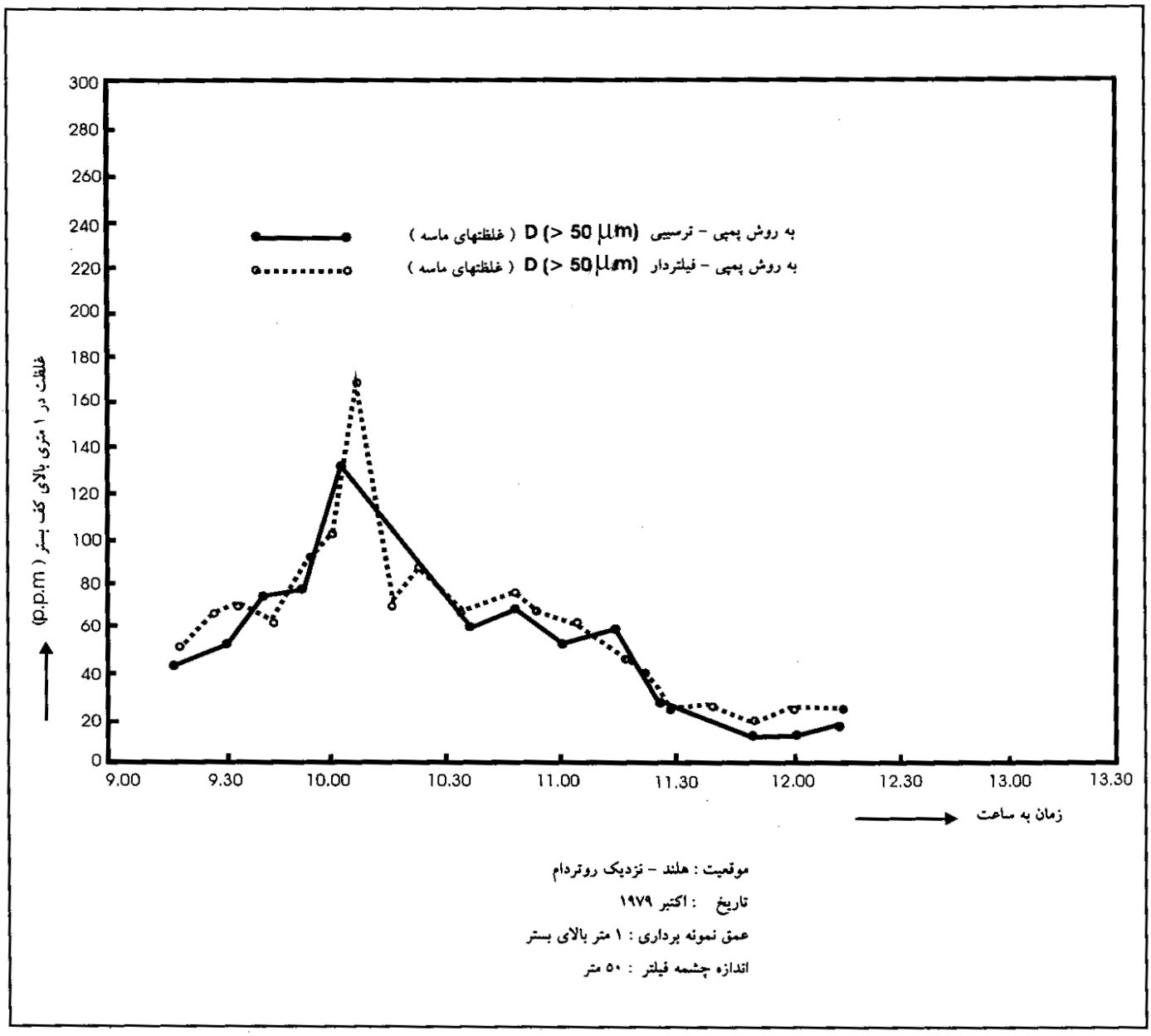

**شکل ۳-۷- سیستم نمونه‌بردار پمپی بطری و خطای مربوطه [۱]**




شکل ۳-۸- مقایسه غلظتهای (ماسه) اندازه‌گیری شده با نمونه‌بردار پمپی فیلتردار و بطری پمپی (آزمایشگاه هیدرولیک دلفت) [۱]




**شکل ۳-۹- نمونه‌بردار پمپی – ترسیبی (آزمایشگاه هیدرولیک دلفت)**




شکل ۳-۱۰- مقایسه غلظتهای (ماسه) اندازه‌گیری شده با نمونه بردار (پمپی – ترسیبی)
و نمونه‌بردار (پمپی – فیلتردار)

**جدول ۳-۶- برگه ثبت اطلاعات حاصل از نمونه بردار پمپی – ترسیبی [۱]**

| | | | |
|---|---|---|---|
| • سانتیگراد | • درجه حرارت آب | • | • محل اندازه گیری |
| • متر | • اندازه نازل ورودی | • وضعیت هوا | • تاریخ اندازه گیری |
| • | • متر | • ارتفاع موج | • |
| | • متر در ثانیه | • سرعت باد | • مأمور نمونه برداری |

| شوری | غلظت | | وزن رسوب | | | | حجم آب نمونه‌برداری شده | | پمپ | | سرعت جریان | | | | عمق آب (متر) | ارتفاع زیر سطح آب (متر) | ارتفاع بالای بستر (متر) | تاریخ محلی (ساعت) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| میکروموس بر سانتی‌متر | شن (میلی‌گرم در لیتر) | ماسه (میلی‌گرم در لیتر) | بطری ۱ حاوی ماسه (میلیگرم) | شماره | بطری ۲ حاوی ماسه (میلی گرم) | شماره | بطری شماره ۲ (۲) | (۱) | مدت نمونه‌برداری (دقیقه) | دبی (لیتر در دقیقه) | (متر بر ثانیه) | | جهت | مدت نمونه‌برداری (دقیقه) | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

## ۳-۵ ایستگاههای اندازه‌گیری رسوب

غالباً محل‌های نمونه‌برداری رسوبات باید در محل ایستگاههای هیدرومتری یا در نزدیکی آن بوده، به‌طوریکه اطلاعات دقیقی در مورد دبی قابل دسترس باشد. به علاوه مطلوب بودن محل نمونه‌برداری برای تعیین داده‌های رسوب که به سادگی قابل تفسیر باشد نیز باید مدنظر قرار گیرد.

در برش‌های عرضی بلافاصله بالادست و در محل اتصال دو رودخانه غالباً گرادیان غلظت افقی، شدید و بسیار متغیر بوده و بنابراین تعداد تناوبهای نمونه‌برداری موردنیاز بیشتر از مقاطع معمولی است.

برخی از رودخانه‌ها به حدی عمیق‌اند که فرورفتن در آب و نمونه‌برداری به سختی امکان‌پذیر است. لذا محل‌های نمونه‌برداری غالباً روی پلها یا محل نصب کابل نقاله واقع‌اند، اما نمونه‌های برداشت شده در نزدیکی پایه پلها نمی‌توانند معرف وضعیت عمومی انتقا ل رسوب باشند. محل نمونه‌برداری باید حتی هنگام وقوع سیلابها قابل دسترس بوده به‌طوریکه بتوان شدتهای زیاد انتقال رسوب را که معمولاً طی جریانهای شدید اتفاق می‌افتد نمونه‌برداری نمود.

حتی هنگامی که محل نمونه‌برداری در یک مقطع عادی در یک بازه نسبتاً مستقیم رودخانه واقع باشد، در ناحیه ۸۰ تا ۱۵۰ میلی‌متری بالای بستر رودخانه، به علت حرکت بار بستر در سطح بستر و نیز انتقال رسوبات معلق در زیر یعنی پایین‌تر از محل نازل نمونه‌بردار، مقداری بار غیر قابل اندازه‌گیری وجود دارد. در رودخانه‌هایی که بار غیرقابل اندازه‌گیری نسبتاً بالا باشد. غالباً بهتر است محلی برای نمونه‌برداری انتخاب شود که آشفتگی به صورت استثنایی بالا بوده، به نحوی که بیشتر بار رسوبات به صورت معلق بوده و بتوان با نمونه‌برداری‌های معمولی بار معلق، نمونه‌برداری نمود. برای بار رسوب اندازه‌گیری نشده می‌توان بر پایه توزیع عمودی سرعت و غلظت رسوبات در مورد بار واقعی قضاوت نمود. معمولاً نمونه‌برداری رسوب با تناوب غیریکنواختی انجام می‌شود. اغلب نمونه‌برداری در شرایطی که دبی رسوبات تغییر می‌کند انجام می‌شود.

معمولاً نمونه‌برداری رسوبات با فرکانس غیریکنواخت انجام می‌شود و بیشتر نمونه‌های جمع‌آوری شده مربوط به زمانی است که دبی رسوبات متغیر است.

به علت عملیات لازم، نمونه‌برداری با روش EDI یا EWI به ندرت به‌صورت روزانه انجام می‌شود. اکثر نمونه‌برداریهای معمولی روی یک یا چند قائم انجام شده و اطلاعات به‌طور پیوسته به عنوان معرف کل مقطع جریان و براساس مقایسه دوره‌ای نمونه‌ها از محل‌های معمولی یا نمونه‌های حاصله از روش‌های EDI و EWI تعدیل می‌شود.

برای اصلاح یک اندازه‌گیری رسوب می‌توان از یک دستگاه پایش[1] به‌طور پیوسته یا هرچند دقیقه یک بار برای پی بردن به غلظت رسوبات ریزدانه استفاده کرد. انواع مختلف دستگاه پایش ساخته شده است ولی هیچ کدام درهمه شرایط مناسب نیستند. این تجهیزات براساس تأثیرات نور، تشعشع هسته‌ای یا صوت بر رسوبات ریزدانه ساخته شده‌اند می‌باشند. با کالیبراسیون دقیق، هشدارهای دائمی یا ابزارهای حسی[2] معمولی می‌توان نتایج اندازه‌گیری اصلاح شده دبی رسوبات ریزدانه نسبت به نتایج حاصله از نمونه‌برداریهای روزانه یا ساعتی نمونه‌بردار عمقی – تجمعی را به‌دست آورد.

## ۳-۶ دقت تجهیزات نمونه برداری بار معلق

### ۳-۶-۱ تجهیزات نمونه‌برداری از رودخانه‌ها

در جدول (۳-۷) نمونه‌بردارهای قابل استفاده در شرایط رودخانه ای خلاصه شده است. امتیاز و ارجحیت هریک به دقت همه جانبه آن نمونه‌بردار بستگی دارد. بنابراین شاخص حقیقی یک دستگاه باید مبتنی بر کلیه اطلاعات مربوط به آن باشد. ادوات و نمونه‌بردارهای ساده‌ای مثل نمونه‌بردارهای بطری‌دار[3] و نوع تله‌انداز[4] هنوز هم به خاطر مکانیسم ساده و نیز سهولت کاربرد آنها جالب هستند و خطاهای آنها را می توان با بالابردن تعداد نمونه‌ها در هر ایستگاه به خوبی کاهش داد.

جدول ۳-۷- نمونه‌بردارهای مخصوص رودخانه‌ها [۱]

| بار معلق Suspended Load | | | | | | | | بار کف Bed Load | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شماره | لای Silt | دقت | لای Silt/ ماسه Sand | دقت | ماسه Sand | دقت | ماسه Sand | دقت |
| ۱ | Pump Bottle | ٪۲۰ | Pump - Bottle | ٪۲۰ | Pump - Filter | ٪۲۰ | Bed-form Tracking | ٪۵۰ |
| ۲ | USP-61 Bottle* | ٪۲۰ | Pump - Sedimentation | ٪۲۰ | Pump - Bottle | ٪۲۰ | BTMA[5] | ٪۱۰۰ |
| ۳ | Bottle* | ٪۲۰ | USP- 61 Bottle* | ٪۲۰ | Pump –Sedimentation | ٪۲۰ | Helley Smith | ٪۱۰۰ |
| ۴ | Trap* | ٪۲۰ | Bottle* | ٪۲۰ | Acoustical (AZTM) | ٪۲۰ | | |
| ۵ | Pump Optical | ٪۵۰ | Trap* | ٪۲۰ | USP-61 Bottle* | ٪۲۰ | | |
| ۶ | Optical | ٪۵۰ | - | - | Bottle* | ٪۲۰ | | |
| ۷ | - | | - | - | Trap* | ٪۲۰ | | |
| ۸ | - | | - | - | Delft Bottle | ٪۵۰ | | |

* نمونه‌های زیادی مورد نیاز است

1 - Monitoring
2 - Sensing
3 - Bottle Type
4 - Bedload Transport Meter Arnbem
5 - Trap Type

### ۳-۶-۲ تجهیزات نمونه‌برداری از مصب‌ها

در جدول (۳-۸) نمونه‌بردارهای مخصوص شرایط جزر و مدی خلاصه شده است. نمونه‌بردارهای ساده مثل بطری‌دار و تله‌انداز در اینجا کاربرد زیادی ندارند. زیرا زمان نمونه‌برداری کوتاهی دارند و خطاهای نمونه‌برداری با افزایش تعداد نمونه‌ها نمی تواند کاهش پیدا کند زیرا شرایط هیدرولیکی غیریکنواختی حاکم است.

جدول ۳-۸- نمونه‌بردارهای مخصوص جزر و مدی [۱]

| بار کف Bed Load | | بار معلق Suspended Load | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دقت | ماسه Sand | دقت | ماسه Sand | دقت | لای Silt/ ماسه Sand | دقت | لای Silt | شماره |
| ٪۱۰۰ | Bed-form Tracking | ٪۲۰ | Pump - Filter | ٪۲۰ | Pump - Bottle | ٪۲۰ | Pump Bottle | ۱ |
| ٪۲۰ | BTMA | ٪۲۰ | P - Bottle | ٪۲۰ | Pump - Sedimentation | ٪۵۰ | Pump-Optical | ۲ |
| ٪۲۰ | Helley Smith | ٪۲۰ | P - Sedimentation | ٪۱۰۰ | USP- 61 Bottle | ٪۵۰ | Optical | ۳ |
| | | ٪۲۰ | Acoustical (AZTM) | ٪۱۰۰ | Bottle | ٪۱۰۰ | USP-61 Bottle | ۴ |
| | | ٪۱۰۰ | USP-61 Bottle | ٪۱۰۰ | Trap | ٪۱۰۰ | Bottle | ۵ |
| | | ٪۱۰۰ | Bottle | - | | ٪۱۰۰ | Trap | ۶ |
| | | ٪۱۰۰ | Trap | - | | | | ۷ |

## ۳-۷ زمان نمونه‌برداری

زمان نمونه‌برداری زمانی است که نمونه توسط نمونه‌بردار جمع آوری می‌شود. برای نمونه‌بردارهای نوع بطری‌دار و تله‌ای، زمان لازم برای پرشدن نمونه‌بردار موردنظر است. در مورد نمونه‌بردار بطری دلفت زمان نمونه‌برداری با اندازه دانه‌های رسوبی، محدود شده است که لازم است نسبت به محفظه جمع کننده رسوبات در نمونه‌بردار، ریز باشند. در مورد نمونه‌بردار پمپی فیلتردار زمان نمونه‌برداری مرتبط با مشخصات فیلتر مورد استفاده است. مثلاً یک فیلتر کوچک ۵۰ میکرومتری ممکن است راحت‌تر بسته شود (به‌خصوص در محیط لای یا سیلتی). زمان نمونه‌برداری در نمونه‌بردارهای چشمی و صوتی بدون محدودیت می‌باشد.

### ۳-۷-۱ حداقل زمان یک سیکل نمونه‌برداری

یک سیکل نمونه‌برداری به معنی این است که در یک فقره نمونه‌برداری بتوان غلظت کاملی از تمامی پروفیل برداشت نمود. این زمان عبارت از حداقل زمان لازم بین دو اندازه‌گیری موفق در یک پروفیل قائم است. حداقل زمان برای یک سیکل نمونه‌برداری آزاد ۵ دقیقه است و در شکل (۳-۱۱) این حداقل زمان اندازه‌گیری و نمونه‌برداری در یک سیکل نشان داده شده است.

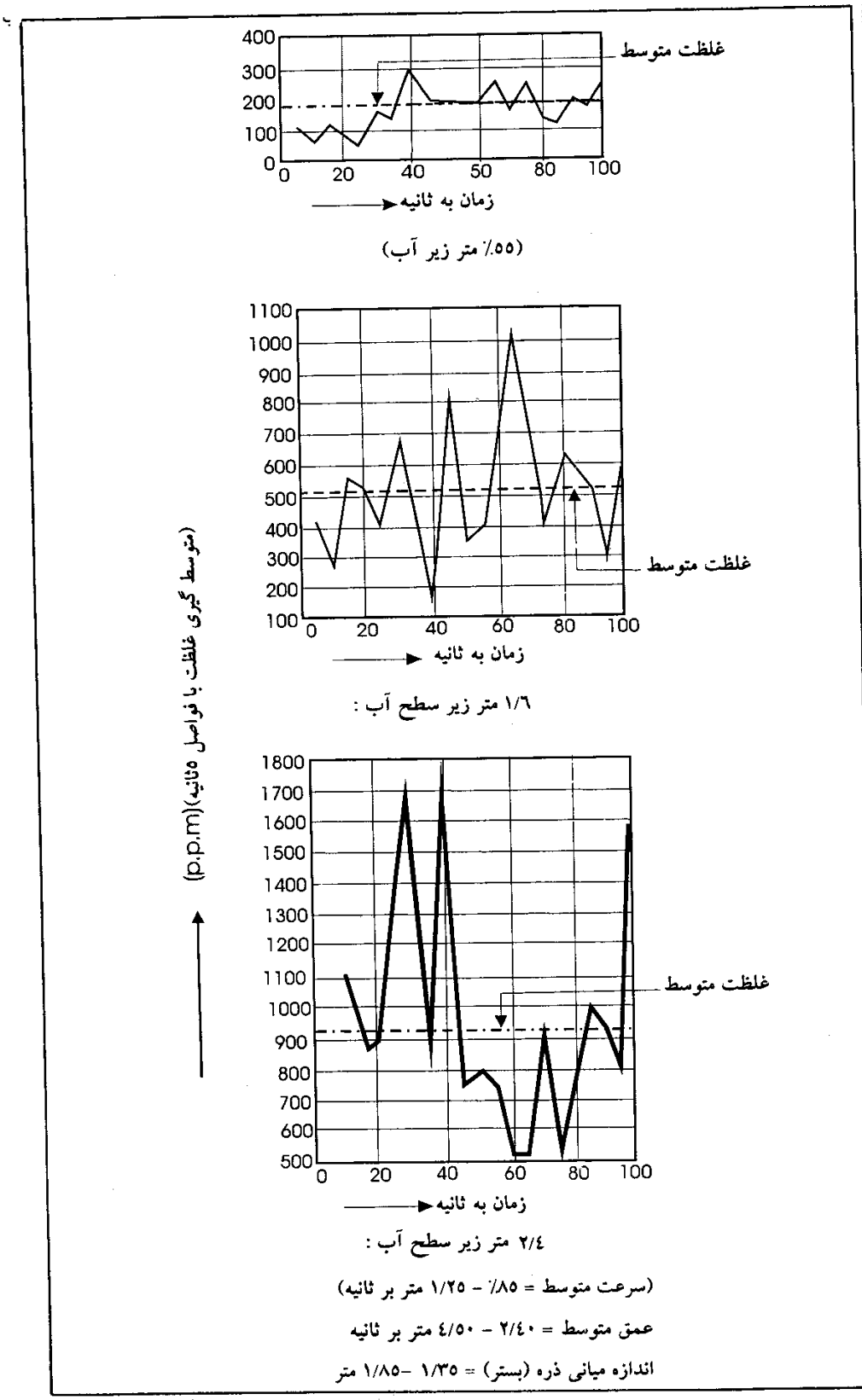
## ۳-۸ دقت نمونه‌برداری

در جریان انجام عملیات فیزیکی خطاهای ناشی از تغییرات تصادفی حاصل می‌شود. خطاهایی که ناشی از تغییرات تصادفی در اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی می‌باشد مواردی از آن به صورت تغییرات غلظت رسوب که توسط ایستر و محمود[1] در کانالهای آبیاری پاکستان مشاهده شده است در شکل (۳-۱۱) ملاحظه می‌شود.

اگر نمونه‌برداری توسط دو نفر با یک نمونه‌بردار بطری دار نقطه ای با یک زمان متوسط بالای ۵ ثانیه انجام شود. براساس نتایج، هر اندازه‌گیری منفرد با این نوع نمونه‌بردار بطری دار ممکن است دارای خطای حدود ۱۰۰٪ باشد. که این خطا را می توان با افزایش زمان نمونه‌برداری و یا زیادکردن تعداد نمونه‌ها کاهش داد.

بنابراین دقت همه جانبه ای که برای نمونه‌بردارها در یک نمونه‌برداری آزاد موردنظر است همانطور که در شکل (۳-۱۱) آورده شده است، به دوره نسبتاً طولانی مدت نمونه‌برداری (۵ دقیقه) بستگی دارد. دقت نمونه‌بردارهای چشمی و صوتی بطور وسیع به تعداد اندازه‌گیری (نمونه‌برداری) و دقتی که در تنظیم نمونه‌بردار شده است (کالیبراسیون دستگاه) بستگی دارد. اطلاعات بیشتری در مورد عدم دقت و عدم صحتی که ممکن است در نمونه‌برداری تأثیر نماید از اندازه‌گیریهای مقایسه ای بعمل آمده می توان مشاهده نمود.

1 - Eyster and Mahmood




شکل ۳-۱۱- نتایج آزمایشات آیستر و محمود ۱۹۷۶ (غلظت نمونه رسوبات شنی) [۱]

## ۴- نمونه‌برداری بار بستر رودخانه‌ها

بار بستر از نقطه‌ای به نقطه دیگر دارای تغییرات عمده می‌باشد. به علاوه با زمان نیز تغییر می‌کند حرکت ذرات بار بستر، شکل و فرم بستر را تغییر می‌دهد (امواج شنی[1]، بستر سطح به نوبه خود جریان و انتقال بار بستر را تحت تأثیر قرار می‌دهد). ذراتی که در یک بازه رودخانه به صورت بار بستر حرکت می‌کند. ممکن است در بازه دیگری حرکت نکرده و یا به صورت بار معلق حرکت کنند. نسبت بده بار بستر به بده کل رسوب در طول بازه (به صورت طولی) تغییر می‌کند. بدین ترتیب بار بستر مشاهده شده در یک بازه لزوماً معرف بده بار بستر در بازه‌های دیگر نمی‌باشد.

برای اندازه‌گیری بده بار بستر توسط نمونه‌برداری در یک مقطع اندازه‌گیری‌های جانبی افقی متعددی در محل‌های مختلف در سراسر رودخانه موردنیاز است. به علت تغییر بده بار بستر در طول بستر، در هر محل افقی باید اندازه‌گیری‌هایی در موقعیت‌های طولی در فرمهای مختلف بستر انجام شده یا این اندازه‌گیری‌ها به صورت تکراری در هر محل و برای دوره زمانی طولانی کافی برای شکل‌های مختلف بستر انجام شود.

گرچه اندازه‌گیری بار بستر معمولاً توسط نمونه‌برداری انجام می‌شود. ولی روش‌های دیگری نیز مانند اندازه‌گیری حرکت فرم‌های بستر، حرکت ذرات ردیاب، فرسایش یا رسوب‌گذاری در یک محدوده معین و اختلاف بین محل‌های مختلف در طول مسیر حرکت ذرات، نیز به‌کار می‌رود. کلیه روش‌های فوق به اطلاعات جمع‌آوری شده در طول دوره‌های نسبتاً طولانی مدت متکی هستند فقط روش نمونه‌برداری نیاز به دوره‌های کوتاه دارد.

### ۴-۱ انواع نمونه‌بردارهای بار بستر

گرچه انواع مختلف نمونه‌بردار برای اندازه‌گیری بار بستر انتقال یافته، توسعه یافته ولی در حال حاضر مؤسسه USGS هیچ نوع نمونه‌بردار خاصی برای بار بستر توصیه نمی‌کند.

نمونه‌بردارهای بار بستر غالباً دو نوع عمده‌اند :
نمونه‌بردارهای با اندازه‌گیری مستقیم : که ذرات بار بستر را جمع‌آوری و رویهم انباشته می‌کند.
نمونه‌بردارهای اندازه‌گیری غیرمستقیم : که با سنجش برخی از خواص بار بستر یا مشخصات بعضی از پدیده‌های حاصله در نتیجه حرکت بار بستر عمل اندازه‌گیری را انجام می‌دهد.

غالباً راندمان کلی نمونه‌بردارها ثابت نبوده بلکه با توزیع اندازه ذرات بار بستر، شرایط جریان، سرعت انتقال بار بستر و درجه پرشدن نمونه‌بردار تغییر می‌کند.

نمونه‌بردارهای با اندازه‌گیری مستقیم، دارای جعبه یا سبدهای نمونه‌بردار، نمونه‌بردارهای کفه‌ای یا سینی شکل، نمونه‌بردارهای تفاضلی – فشاری و نمونه‌بردارهای شکاف‌دار یا حفره‌دار می‌باشند. در انواع نمونه‌بردارهای اندازه‌گیری مستقیم برای تعیین راندمان کلی آنها (نسبت وزن بار بستر جمع‌آوری شده در زمان نمونه‌برداری، به وزن بار رسوبی عبور نموده از عرض محل نمونه‌برداری) باید واسنجی شود.

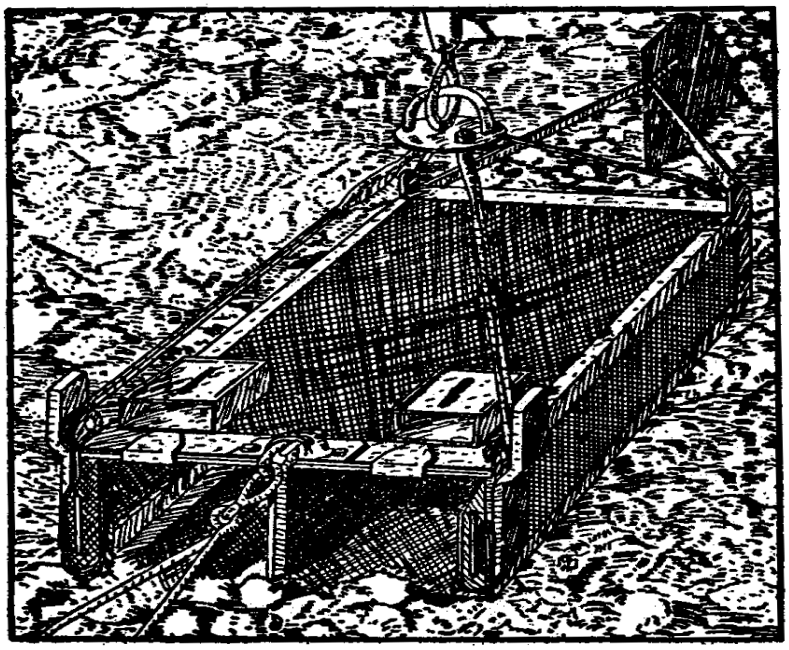
1 - Ripple Dune

تجهیزات اندازه‌گیری غیرمستقیم بار بستر، عمدتاً محدود به تجهیزات صوتی می‌باشد که دقت انرژی صوتی یا بزرگی و فرکانس تصادمهای ذرات به نمونه‌بردار یا تصادم ذرات با ذرات را اندازه‌گیری می‌کند.

نمونه‌بردارهای مختلف بار بستر مورد استفاده در دنیا را می‌توان به انواع زیر تقسیم نمود:

### ۴-۱-۱ نمونه‌بردار نوع سبدی[1]

از این نوع برای نمونه‌برداری مواد درشت دانه مثل قلوه سنگ ریز و درشت استفاده می‌شود.
نمونه‌بردار دارای یک قاب فلزی است که اطراف و سقف آن با یک تور فلزی یا نایلونی محصور شده است. کف نمونه‌بردار از جنس حلقه‌های فلزی (یا مواد دیگر) قابل انعطاف ساخته شده است که می تواند متناسب با پستی و بلندی بستر کاملاً روی کف گسترده شود. سبد نمونه‌بردار طوری در کف رودخانه قرار داده می‌شود که دهانه آن در جهت جریان به طرف سرآب قرار گرفته و از مواد در حال حرکت نمونه‌برداری می‌کند. مشکل این نمونه‌بردار مقاومتی است که دستگاه در مقابل جریان عادی رودخانه ایجاد می‌کند. لذا سرعت جریان آب وارد به نمونه‌بردار از سرعت واقعی جریان آب رودخانه کمتر بوده و این امر سبب انحراف مسیر حرکت بعضی از مواد رسوبی شده و از ورود همه ذرات که به‌طور طبیعی باید وارد نمونه‌بردار شود، جلوگیری می‌کند. به علاوه قادر به نگهداری مواد ریزدانه نمی‌باشد. متوسط کارآیی این نمونه‌بردار حدود ۴۵ درصد است که بین ۲۰ تا ۷۰ درصد متغیر می باشد. (شکل ۴-۱)



شکل ۴-۱- نمونه‌بردار نوع سبدی

1 - Bag (Basket)

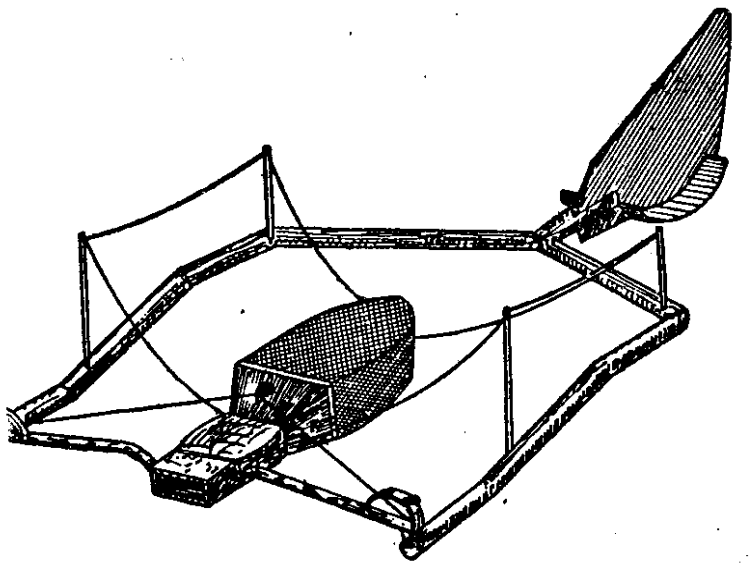
### ۴-۱-۲ نمونه‌بردار تفاضلی

این نمونه‌بردار با هدف غلبه بر محدودیت‌های نمونه‌بردارهای سبدی و سینی شکل ساخته شده، به عنوان مثال می‌توان کاهش سرعت ورودی در جلوی نمونه‌بردار را ذکر نمود. در این نوع نمونه‌بردار با ایجاد دیواره‌های واگرا در عقب نمونه‌بردار سعی شده است که سرعت ورودی به نمونه‌بردار تقریباً معادل سرعت رودخانه شود. انتهای عقب نمونه‌بردار ممکن است با توری یا بدون توری ساخته شود. با ایجاد تغییراتی در طراحی آن می‌توان این نمونه‌بردار را برای اندازه‌گیری محدوده وسیعی از قطرهای مختلف رسوبات به‌کار برد. یکی از معروف‌ترین انواع این نمونه‌بردار آرنم یا نمونه‌بردار هلندی است راندمان آن حدود ۷۰٪ است که از راندمان نمونه‌برداری‌های سبدی و سینی شکل به نحو چشمگیری بیشتر است. (شکل ۴-۲)

#### ۴-۱-۲-۱ دستگاه نمونه‌بردار تله‌ای آرنم

اصول کار آن مبتنی بر جمع‌آوری دانه‌های رسوبی با استفاده از یک نمونه‌بردار سبد مانند متشکل از یک شبکه سوراخ سیمی ریز در یک دهانه قاب مانند است که پس از پایین رفتن، در کف بستر می‌نشیند و مستقر می‌شود. شکل سبد طوری است که یک کاهش فشار در پشت دستگاه نمونه‌بردار باعث می‌شود که آب و رسوب با همان سرعتی که در اطراف دستگاه وجود دارد وارد دهانه آن شود.

نمونه‌بردار می‌تواند دانه‌های درشت‌تر از ۰/۳ میلیمتر (اندازه چشمه‌های سبد) و ریزتر از ۵۰ میلیمتر (ارتفاع دهانه سبد) را جمع‌آوری نماید.



شکل ۴-۲- نمونه‌بردار نوع آرنم

### ۴-۱-۳ نمونه‌بردار هلی اسمیت[1]

نمونه‌بردار بار بستر هلی اسمیت یک نوع تغییرشکل یافته نمونه‌بردار B.T.M.A است و از یک چارچوب، کیسه نمونه‌بردار و نازل تشکیل شده است. (شکل ۴-۳) نمونه‌بردار دارای دهانه مربع شکل ۰/۰۷۶ × ۰/۰۷۶ متر و پاکت نمونه‌بردار با چشمه‌های ۲۵۰ میکرومیلی‌متر از جنس پولیستر است. انواع مختلفی از این نمونه‌بردار تاکنون برای شرایط مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. بهترین شرایط نمونه برداری آن است که سرعت ورود رسوبات به داخل نمونه بردار با سرعت جریان رودخانه در اطراف نمونه بردار تقریباً برابر باشد، تعیین ضریب هیدرولیکی[2] نمونه بردار برابر ۱ باشد. از مزیت مهم نمونه بردار هلی اسمیت درجه کالیبراسیون وسیع آن (مبتنی بر ۱۰۰۰۰ نمونه) و کاربری ساده آن است. در سال ۱۹۸۰ اسمیت نتیجه گرفت که این نمونه بردار برای ذرات رسوبی مختلف دارای ضریب کارایی مختلف به شرح زیر می باشد:

- برای ذرات ۰/۲۵ تا ۰/۵ میلی‌متر ضریب کارآیی نمونه بردار ۷۵٪ و فاکتور کالیبراسیون ۰/۵ = $\alpha$
- برای ذرات ۰/۵ تا ۱۶ میلی‌متر ضریب کارآیی نمونه بردار ۱۰۰٪ و فاکتور کالیبراسیون ۱ = $\alpha$
- برای ذرات ۱۶ تا ۳۲ میلی‌متر ضریب کارآیی نمونه بردار ۷۰٪ و فاکتور کالیبراسیون ۱/۵ = $\alpha$

پایین بودن ضریب کارآیی (۷۰٪) به علت کندی حرکت ذرات درشت بار بستر در جریان بوده است.

### ۴-۱-۴ نمونه‌بردار طشتکی

دو نمونه‌بردار از این نوع وجود دارد : نوع باز و نوع تفاضلی
همچنانکه مواد بار بستر وارد نمونه‌بردار می‌شود توسط تله گرفته می‌شود. این نمونه‌بردار برای جریانهای با بستر شنی مناسب است. نوع پولیاکوف[3] از نوع طشتکی است که برای سرعتهای کم با میزان انتقال رسوب کم مناسب است. راندمان نمونه گیری رسوب در آن حدود ۴۶ درصد است.

نوع SRIN یک نوع تفاضلی است که می‌تواند طوری طراحی شود که از ماسه ریز تا قلوه سنگ درشت تا اندازه ۲۰۰ میلی‌متر نمونه‌برداری نماید و راندمان آن بسیار متغیر است.

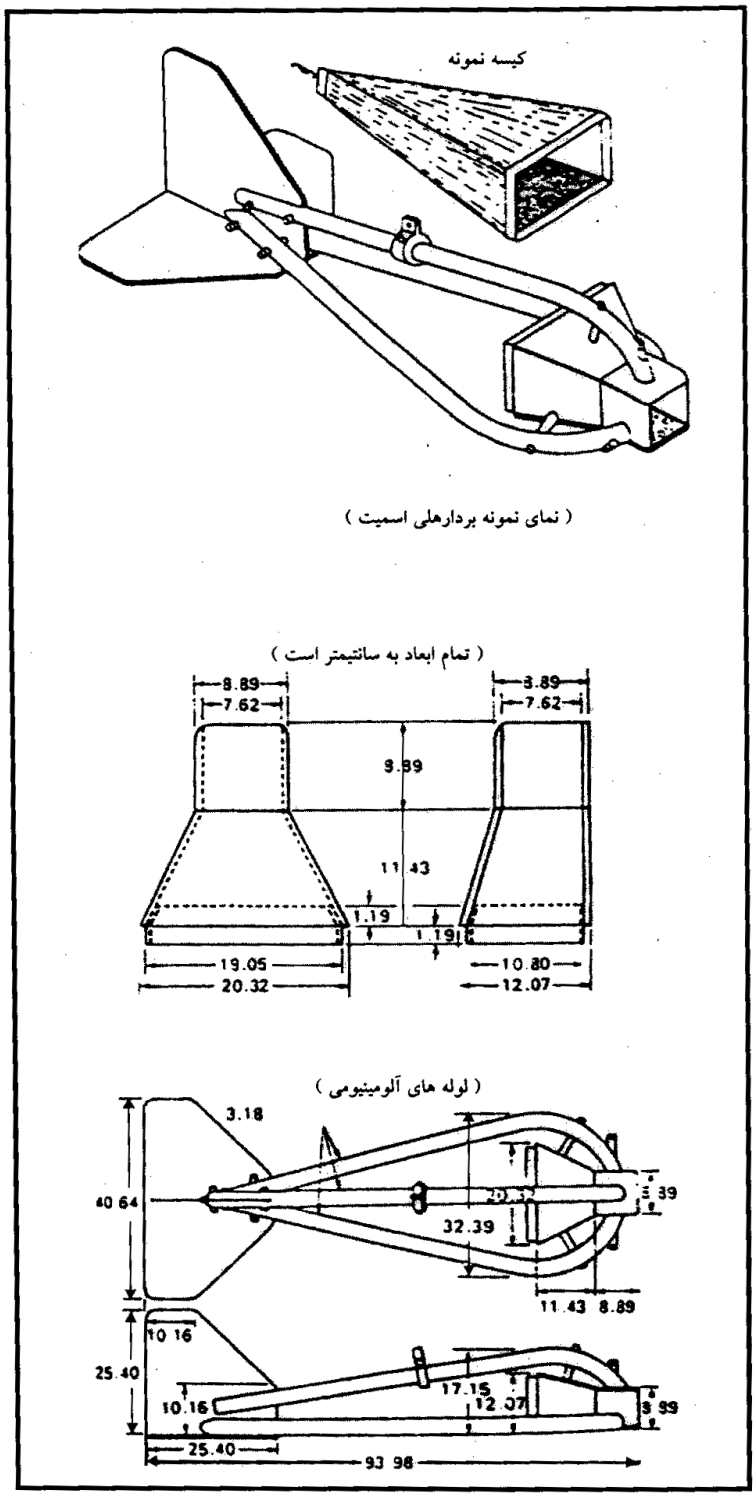
### ۴-۱-۵ نوع شکاف دار یا چاله ای

سازمان زمین شناسی آمریکا اقدام به ایجاد یک سیستم تله اندازی مواد بار بستر برای نمونه‌برداری کرده است این سیستم یک سازه بتونی به ابعاد ۰/۴ × ۰/۶ متر در طول رودخانه با عرض ۲۰ متر می‌باشد. و به ۸ قسمت مجهز به دریچه تقسیم شده است در طول بستر این سازه یک تسمه لاستیکی با ۰/۳ متر عرض به دور چند دنده و پولی‌هادی کشیده شده و سپس به سمت بالا برمی‌گردد. رسوب به داخل جعبه باریک روباز ریخته می‌شود و به صورت حاشیه ای و کناری به طرف چاله ای که در ساحل رودخانه است حمل می‌شود. رسوب بعد از الک شدن و وزن شدن به وسیله تسمه به طرف پایین دست رودخانه (با تسمه به روی دریچه شکاف[4]) برگشت داده

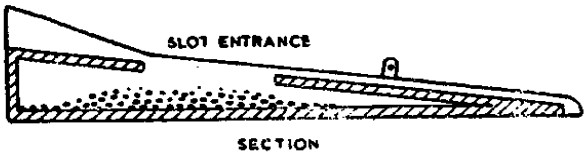
---

1 - Helley Smith
2 - Hydraulic Efficiency
3 - Polyakov
4 - Trap

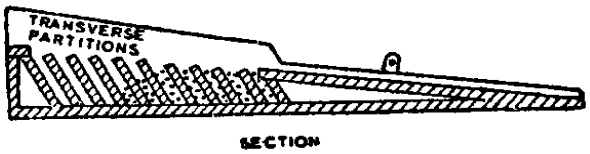
می‌شود. این روش اندازه‌گیری مواد بار بستر هم مطمئن و هم صحیح است. این نمونه‌بردار در رودخانه‌های نسبتاً کوچک و مخصوصاً برای مطالعات تجربی یا کالیبره کردن نمونه‌بردارها استفاده می‌شود.




شکل ۴-۳- نمونه‌بردار هلی‌اسمیت

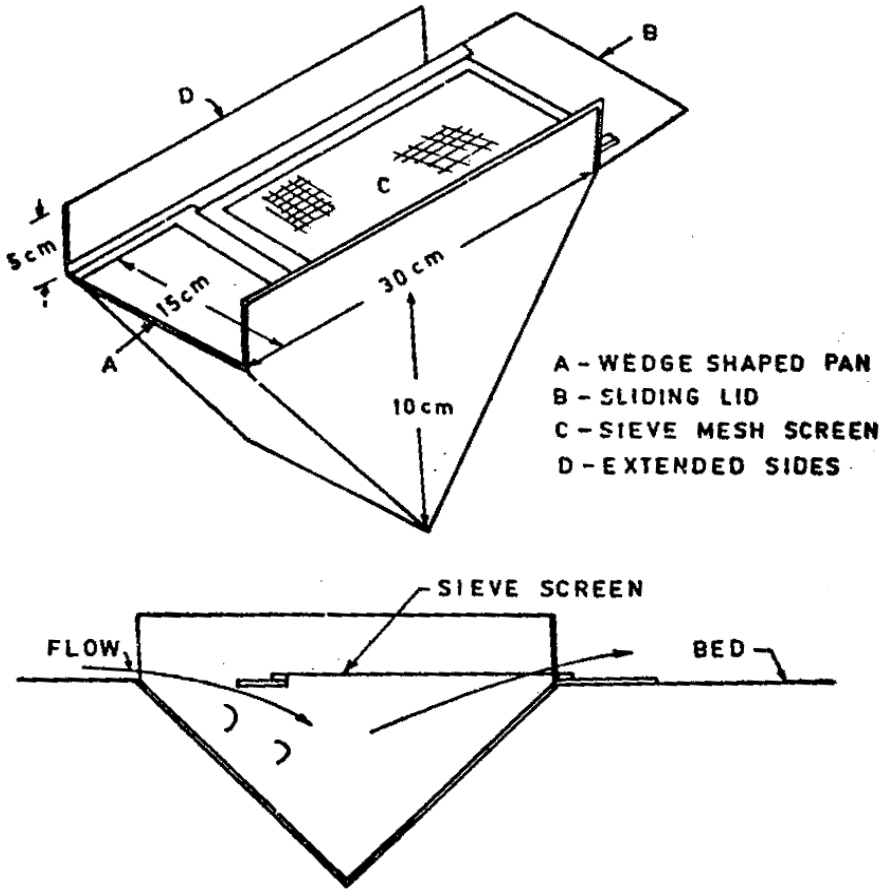



نمونه برداری لوسیپسکی




نمونه برداری پولیاکوف

شکل ۴-۴- نمونه‌بردار پولیاکوف




شکل ۴-۵- نمونه‌بردار شکاف‌دار

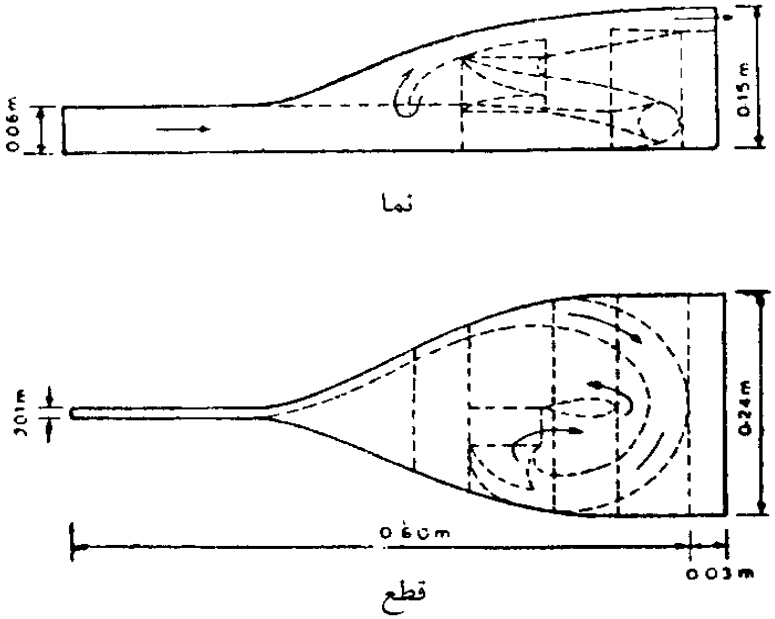
## ۴-۲ انواع جدید نمونه‌بردارهای اندازه‌گیری مستقیم بار بستر

این نوع نمونه‌بردارها در واقع نمونه‌های اصلاح شده نوع تفاضلی – فشاری بوده و طوری طراحی شده‌اند که محدوده بیشتری از دانه‌بندی رسوبات را پوشش دهد و یا راندمان بالاتری حاصل شود. انواع آن عبارتند از :

### ۴-۲-۱ نمونه‌بردار اسپینکس[1]

این نمونه‌بردار برای رسوبات ریزتر از ۰/۴ میلی‌متر توسعه یافته است شکل (۴-۶). در این نمونه‌بردار جریان از طریق یک نازل مستطیلی عبور کرده و از یک خروجی وسیع در عقب خارج می‌شود. عملاً کلیه رسوبات طی عبور از نمونه‌بردار درون مخزن ته‌نشینی نصب شده ریخته می‌شود.

راندمان هیدرولیکی نمونه‌بردار بالاست و بین ۰/۹ تا ۱/۱ متغیر است. در این نمونه‌بردار ۸ تا ۱۵٪ مواد وارده به نمونه‌بردار از آن خارج می‌شوند (فرار می‌کنند) که بیشتر آنها رسوبات ریزتر می‌باشد. لیکن راندمان آن تعیین نشده است.



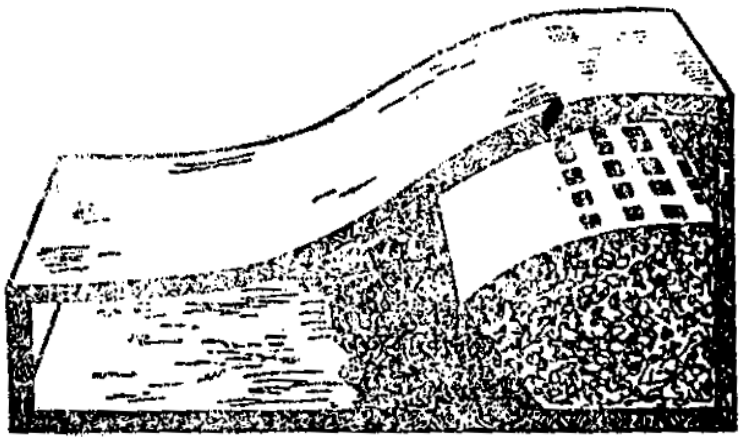

شکل ۴-۶- نمونه‌بردار بار بستر اسپینکس

1 - Sphinx

### ۴-۲-۲ نمونه‌بردار کارلویی[1]

این نمونه‌بردار شکل اصلاح شده نوع تفاضلی – فشاری است. در انتهای این نمونه‌بردار یک دیواره قوسی ایجاد شده که در وسط پشت نمونه‌بردار نصب شده است. آب پس از عبور از دیوار قوسی و تخلیه رسوبات از انتهای نمونه‌بردار خارج می‌شود. (شکل ۴-۷)

نمونه‌بردار دارای یک کف قابل انعطاف در ورودی و یک دریچه اتوماتیک خروجی بوده که فقط هنگام قرارگرفتن نمونه‌بردار در بستر باز می‌شود. راندمان هیدرولیکی این نمونه‌بردار ۸۰٪ [۲] و راندمان نمونه‌بردار در حد معقول ۴۵٪ ثابت می‌ماند.



شکل ۴-۷- نمونه‌بردار کارلویی

### ۴-۲-۳ نمونه‌بردار VUV

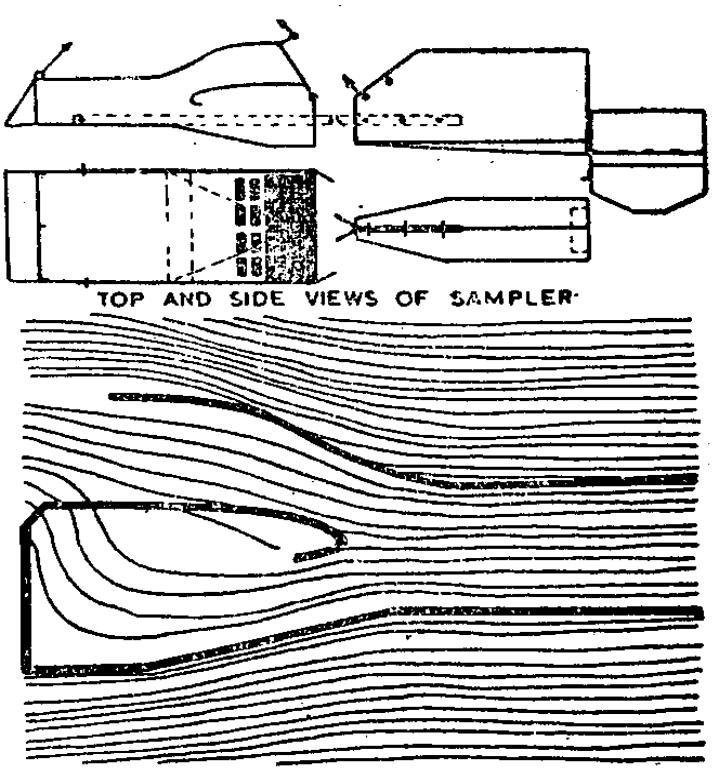
این نمونه‌بردار پس از انجام مطالعات وسیع آزمایشگاهی و صحرایی توسط [۲] توسعه یافته و در حقیقت نوع اصلاح شده نمونه‌بردار کارلویی می‌باشد. شکل (۴-۸) نمونه‌بردار و الگوی جریان از درون آن را نشان می‌دهد.

مشخصه مهم نمونه‌بردار ایجاد یک دیواره هادی در دنباله نمونه‌بردار است که دارای یک سوراخ توری بزرگ و ۸ سوراخ کوچک می‌باشد. نمونه‌بردار برای رسوباتی در محدوده قطر ۱ تا ۱۰۰ میلی‌متر مناسب بوده و نمونه‌های تا وزن ۲۹۰ نیوتن یا بیشتر را جمع‌آوری می‌کند. اگر وزن نمونه‌بردار تا حدود بیش از ۵۸۰ نیوتن باشد نمونه‌بردار به نحو مطلوبی تا سرعتهای ۳ متر بر ثانیه کار می‌کند. نمونه‌برداری این نوع نمونه‌بردار با فرض راندمان ۷۰٪ توصیه شده است.

---

1 - Karloyi

از انوع نمونه‌بردار برای نمونه‌برداری رسوبات ۱ تا ۱۰۰ میلی‌متر استفاده می‌شود. دهانه ورودی آن دارای ۵۰ سانتی‌متر عرض و ۴۵ سانتی‌متر ارتفاع می‌باشد. راندمان هیدرولیکی آن حدود ۱۰۰ درصد است و راندمان نمونه‌گیری آن حدود ۷۰ درصد می‌باشد. مزیت اصلی و اساسی آن این است که معمولاً نمونه خوبی از توزیع واقعی اندازه بار بستر به دست می‌دهد.




شکل ۴-۸- نمونه‌بردار نوع VUV

## ۴-۳ روش‌های غیرمستقیم اندازه‌گیری بار بستر

این روش‌ها جدیدتر بوده و در موارد کمتری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. علیرغم محدود بودن تجربیات صحرایی این روش‌ها به اختصار مورد بحث قرار می‌گیرد.

### ۴-۳-۱ تجهیزات (ادوات) صوتی

در این نوع تجهیزات یک صفحه اصلی با یک میله چنگالی شکل و یک میکروفون متصل به آن روی بستر رودخانه فرستاده شده و صدای ضربه ذرات روی صفحه و نیز بهم خوردن درونی ذرات توسط میکروفون گرفته می‌شود.

سپس این صداها توسط یک نوار ثبات مغناطیسی یا ایلوسکوپ هدفون (گوشی) ارسال می‌شود. این ادوات فقط برای تعیین انتقال نسبی بار بستر در یک مقطع و تغییرات نسبی آن با زمان مفید می‌باشد. داشتن اطلاعات در مورد تغییرات نسبی در یک مقطع برای انتخاب تعداد نقاط و محل نقاط نمونه‌برداری مفید می‌باشد. ولی اندازه‌گیری توزیع بار بستر با یک نمونه‌بردار سوراخ‌دار در مقایسه با وسایل صوتی در مورد یک رودخانه طبیعی دارای نتایج متفاوت است [۲].

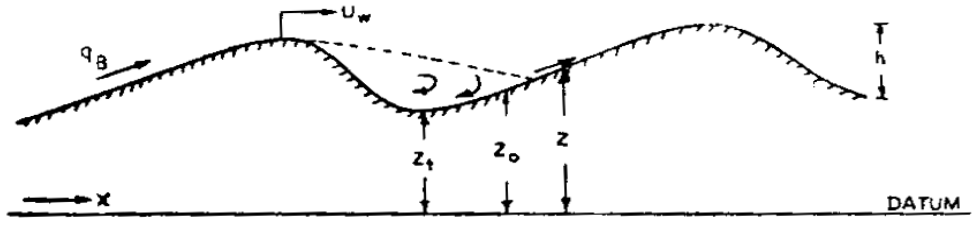
همچنین به نظر می‌رسد تجهیزات صوتی برای رودخانه‌های با مواد بستر درشت دانه مناسب‌تر از رودخانه‌های با بستر دارای مواد ریزدانه می‌باشد.

### ۴-۳-۲ روش‌های ماوراء صوت

تجهیزات مورد استفاده این روش بر این اساس ساخته شده که مقدار انرژی صوتی جذب شده توسط مخلوط آب و رسوب به غلظت رسوبات بستگی دارد. اندازه‌گیری انرژی جذب شده هنگام عبور انرژی صوتی از محیط، محاسبه غلظت را امکان‌پذیر می‌سازد. این روش برای رودخانه‌هایی که غلظت رسوب بالایی دارند مناسب می‌باشد. هنگام استفاده از یک نوع معرف از چنین نمونه‌بردارهایی [۲] فرض شد که توزیع دانه‌بندی بار بستر مشابه مواد بستر بوده و سرعت ذرات معادل سرعت متوسط جریان بوده است.

### ۴-۳-۳ تعیین مقدار بار بستر از پروفیل دیون و تغییرات فرم بستر

اگر پروفیل (نیمرخ) دیون و سرعت آن معلوم باشد براساس آن می‌توان میزان انتقال بار بستر را تعیین نمود. فرض شود که پروفیل دیون با سرعت ثابت $U_w$ در جهت پایین‌دست حرکت می‌کند. معادله پیوستگی برای انتقال بار بستر در جهت $X$ (شکل ۴-۹) به صورت زیر نوشته می‌شود.




شکل ۴-۹- نیمرخ تغییرات فرم بستر

$$\frac{\partial z}{\partial t}+\frac{1}{(1-\lambda)}\frac{\partial q_B}{\partial x}=0 \qquad (1)$$

$Z$ = ارتفاع بستر نسبت به یک سطح مقایسه

$\lambda$= تخلخل مواد و $q_B$ میزان بار بستر انتقال یافته برحسب حجم مطلق در واحد زمان در واحد عرض. با در نظر گرفتن زمان جدید و مختصات x یعنی $x' = x - u_w$ و $t' = t$ پروفیل بستر در تمام نقاط داده شده ثابت می‌ماند. با فرض یکسان بودن پروفیل کلیه دیونهای جابجا شده می‌توان نوشت.

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -U_w \frac{\partial z}{\partial x} \qquad (۲)$$

با ترکیب معادلات (۱) و (۲)

$$\frac{۱}{(۱-\lambda)} \frac{\partial q_B}{\partial x} = U_w \frac{\partial z}{\partial x}$$

با انتگرال‌گیری از معادله فوق

$$q_B = U_w (۱-\lambda) z + c \qquad (۳)$$

ثابت c را می‌توان از شرط $z = z_\circ$ ، $q_B = \circ$ بدست آورد.

این شرط قابل درک می‌باشد، زیرا بالادست این نقطه اتصال دوباره جریان، رسوب روی بستر به علت چرخش ناشی از جدایی جریان به سمت بالادست حرکت نموده، و در پایین دست این نقطه تنش برشی در جهت پایین‌دست عمل نموده و در نتیجه سبب انتقال بار بستر درآن جهت می‌شود. بنابراین،

$$C = -(۱-\lambda) U_w z_\circ$$

با قراردادن مقدار c در معادله (۳) نتیجه می‌شود.

$$q_B = (۱-\lambda) U_w (z - z_\circ) \qquad (۴)$$

بنابراین میزان متوسط انتقال از دیونی به طول L را می‌توان بدست آورد.

$$\bar{q}_B = U_w \left(\frac{۱-\lambda}{L}\right) \int_\circ^L (z - z_\circ)\, dx = U_w (۱-\lambda)(z - z_\circ) \qquad (۵)$$

در معادله ۵ مقدار $(z - z_\circ)$ ضخامت متوسط لایه رسوب، بالای تراز صفر انتقال رسوب می‌باشد. اگر h ارتفاع متوسط دیون باشد، مقدار $z_o$ معادل ۰/۱۷h بالای $z_t$ تعیین شده $z_t$ ارتفاع Trough تعیین شد. بنابراین معادله (۵) را می‌توان به صورت زیر نوشت.

$$q_B = U_w (۱-\lambda)(z - z_t - ۰/۱۷h) = ۰/۳۳ U_w (۱-\lambda) h \qquad (۶)$$

لازم به ذکر است که مرسر[1] $z_o$ را معادل ۰/۲۵h بالای Trough بدست آورد. کریک مور[2] [۲۰] ترجیح می‌دهد که مقدار مطلق انحراف ارتفاع بستر از متوسط تراز بستر را بدست آورد.[ ۲]

$$\bar{\zeta} = \overline{|z - \bar{z}|}$$

1 - Mercer

2 - Crickmore

به جای h، که در یک پروفیل سه گوش $\frac{h}{۴}$ می‌باشد. در آن صورت معادله (۶)

$$\bar{q}_B = ۱/۳۲U_w(۱-\lambda)\bar{\zeta}$$

داده‌های مربوط به پروفیل دیون وسرعت پیشروی را می‌توان با استفاده از عمق‌سنج‌های صوتی به‌دست آورد. پیمایش در سراسر طول مجرا پروفیل طولی فرم بستر را به‌دست داده که براساس آن می‌توان h و $\bar{\zeta}$ را تعیین نمود. چنین روش‌هایی نتایج معتبری روی رودخانه اسکیوکاروپ[1] و رودخانه اتاوا و جاهای دیگر را نشان داده است.

## ۴-۴ روش‌های نمونه‌برداری بار بستر

در نمونه‌بردارهای اندازه‌گیری مستقیم بار بستر، برای حداقل نمودن خطا، تعدادی نمونه جداگانه در سراسر مقطع جریان جمع‌آوری می‌شود. تعداد نمونه تکراری موردنیاز از هر محل نمونه‌برداری بستگی به مقدار تغییرات لحظه‌ای دارد.در صورت امکان باید تعدادی نمونه جمع‌آوری و به صورت آماری تحلیل گردد تا تعداد بهینه نمونه موردنیاز برای دقت موردنظر تعیین شود. چون شدت انتقال بار بستر ممکن است در طول هر فرم بستر تغییر کند.

در هریک از محل افقی موردنظر، سرعت متوسط نسبتاً ثابتی می‌توان به‌دست آورد، به شرط آن که در طول زمان موردنیاز برای انتقال طول موجهای فرم بستر نمونه‌هایی به‌طور متناوب جمع‌آوری شوند. همچنین در هریک از محل‌های فوق می‌توان در نقاط مختلف در طول یک خط موازی با مسیر حرکت فرم بستر برداشت نمود، که نمونه‌هایی از محل‌های تصادفی در طول برخی از فرمهای مختلف بستر تهیه شود. در ابتدا حداقل از حدود ۲۰ محل در سراسر جریان استفاده می‌شود مگر اینکه دبی به صورت افقی خیلی یکنواخت باشد. اگر سرعت شدت انتقال و شکل فرم بستر هر دو به صورت افقی یکنواخت باشد نمونه‌برداری متوالی در نقاط متعدد یک مقطع به‌طور اساسی نمونه‌هایی از محل‌های تصادفی در طول فرمهای بستر تهیه می‌کند. لذا اگر در یک دوره زمانی به اندازه کافی طولانی، مسیرهای تکراری برای عبور تعدادی از طول موجهای فرم بستر در مقاطع اندازه‌گیری ایجاد شود هر دو هدف یعنی هم لزوم نمونه‌برداری تصادفی در طول فرمهای بستر و هم نمونه‌برداری تصادفی نیز در نقاط مختلف افقی انجام می‌شود.

معمولاً دبی لحظه‌ای بار بستر در یک نقطه، از تقسیم وزن خشک نمونه بر زمان جمع‌آوری محاسبه می‌شود. این دبی با راندمان نمونه‌برداری تعدیل شده تا مقدار انتقال واقعی به‌دست آید، و در صورت لزوم برای حذف هر نوع دبی که ضمن اندازه‌گیری رسوبات معلق منظور شده، دبی واقعی تصحیح می‌شود.

سرانجام، دبی‌های تصحیح شده در هر نقطه ترکیب شده و معمولاً به عنوان متوسط برای تعیین دبی بار بستر در آن نقطه به‌کار می‌رود. سپس این مقدار در عرض زیر تقسیمات فرعی مقطع جریان و نسبت عرض ورودی نمونه‌بردار به عرض زیر تقسیمات فرعی، ضرب شده تا دبی هر زیر مقطع فرعی به‌دست آید.

1 - Skieve Karup

## ۵- نمونه‌برداری بار کل رودخانه‌ها

در اغلب تقاطع رودخانه‌های معمولی، بار کل شامل بار بستر و بار معلق است. و به علت تفاوت سبک حرکت این دو هیچ نوع نمونه‌برداری، بار کل را نمونه‌برداری نمی‌کند. دبی کل رسوبات در سراسر مقطع جریان به دلیل تغییرات جانبی (افقی) در خواص جریان، غلظت رسوبات معلق و دبی بار بستر تغییر می‌کند. بنابراین نمونه‌برداری باید براساس اصول نمونه‌برداری بار معلق انجام شده و نمونه‌های تکراری به تعداد کافی در محل‌های جانبی (افقی) جمع‌آوری شده تا تغییرات ذرات بار بستر وارد شده به حساب آورده شود. بار کل معمولاً با ترکیب اندازه‌گیریهای جداگانه بار بستر و بار معلق تعیین می‌شود. ولی در مقاطع غیرمعمول مانند محل تلاقی رودخانه‌ها، آبپایه‌ها، سرریزها و مقاطع دارای جریانهای کاملاً آشفته، می‌توان از تجهیزات متداول نمونه‌برداری بار برای اندازه‌گیری بار کل رسوبات ریزتر از ۲ میلی‌متر با نمونه‌برداری در سراسر عمق استفاده نمود.

برای ذرات درشت از ۲ میلی‌متر از نمونه‌بردارهای سبدی یا نوع شکافدار که می‌تواند ذرات درشت را جمع‌آوری و نگهداری نماید، استفاده می‌شود.

## ۶- نمونه‌برداری از مواد رسوبی در بستر رودخانه‌ها

غالباً هدف نمونه‌برداری مواد بستر رودخانه کسب اطلاعاتی در مورد خصوصیات ذرات رسوبات در دست انتقال می‌باشد. معمولاً نمونه‌های مواد بستر برای تعیین دانه‌بندی ذرات و وزن مخصوص رسوبات قابل انتقال از روی سطح بستر یا کمی زیر آن جمع‌آوری می‌شود. از نمونه‌های دست خورده در مواردی که اجزای مختلف نمونه مشابه با مواد ته‌نشین شده (رسوبات) باشند می‌توان استفاده نمود.

یکی دیگر از اهداف معمول در نمونه‌برداری مواد بستر تعیین آلوده شدن رسوبات ته‌نشین شده در محل‌های خاصی با حشره‌کش‌ها، فلزات ردیاب و نظیر آنها می‌باشد که ممکن است روی اکوسیستم آبزیان تأثیر بگذارد. برای تهیه نمونه‌های قابل قبول مواد بستر، نمونه‌بردار باید حجمی از رسوبات را در خود گرفته و سپس بخشی از این مواد را که ضمن بالاکشیدن نمونه‌بردار همراه با جریان وارد آن شده‌اند، از آن جدا نماید. سهولت انتقال نمونه به یک ظرف مناسب نیز حائز اهمیت می‌باشد. برخی نمونه‌بردارهای مواد بستر فاقد این ضابطه بوده و ممکن است نمونه‌های غیرمعرف دگرگون شده‌ای تهیه نماید.

### ۶-۱ نمونه‌برداری از رسوبات سطحی از مواد بستر

نمونه‌بردارهای مورد استفاده برای جمع‌آوری مواد نسبتاً نزدیک به سطح بستر عمدتاً یکی از انواع زیر می‌باشند.

۶-۱-۱ سطل چنگکی[1] یا کلامشل

۶-۱-۲ سطل (قابل کشیدن[2]) لایروب

1 - Clamshell or Grab bucket

2 - Scoop or Drag bucket

### ۶-۱-۳ لوله یا استوانه[1] قائم

### ۶-۱-۴ سطل قابل[2] چرخش

هنگام نمونه‌برداری با سطل لایروب و یا کلامشل، ممکن است به علت بسته نشدن کامل آن بخشی از مواد نمونه‌برداری شده به خارج ریخته شود به خصوص اگر نمونه حاوی گراول باشد. بدین لحاظ هنگام استفاده از این نمونه‌بردار اقدامات ویژه‌ای لازم است تا از معرف بودن نمونه‌ها اطمینان حاصل شود.

نمونه‌بردارهای لوله قائم یا استوانه‌ای اساساً لوله‌هایی هستند که به درون بستر رودخانه فرو برده می‌شود. نمونه درون سیلندر با یک خلاء جزیی ایجاد شده در بالای آن نگهداری می‌شود. نفوذ نمونه‌بردار در رسوبات ریزدانه ساده است ولی نفوذ در ماسه معمولاً به حدود ۰/۵ متر یا کمتر محدود می‌شود. از محاسن این نوع نمونه‌بردارها این‌است که نمونه‌هایی باکیفیت خوب برداشت نموده، ارزن بوده و نگهداری آنها ساده است شکل (۶-۱- الف).

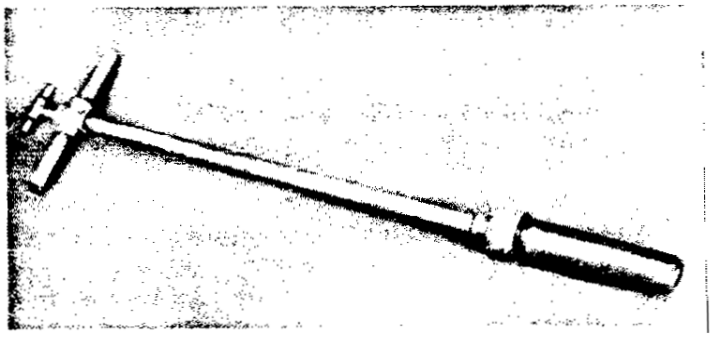
برای نمونه‌برداری موادی در محدوده رس تا ماسه سه نوع نمونه‌بردار مواد بستر توسط طرح مطالعات رسوب کشوری توسعه یافته است.

نمونه‌بردار مواد بستر، توصیه شده توسط USGS، نوع BMH-53 ، یک نمونه‌بردار نوع پیستونی با کاربرد دستی است که برای فرورفتن در آب رودخانه‌های کم عمق طراحی شده است. این نمونه‌بردار، دارای سیلندری به قطر ۵۱ و طول ۲۰۳ میلی‌متر با میله‌ای که روی پیستون نصب شده و با انقباض آن نمونه با یک خلاء جزیی در سیلندر جا می‌گیرد.

در رودخانه‌های عمیق‌تر با بستر ماسه‌ای، نمونه‌بردارهای BM-54 و BMH-60 توصیه شده است. این نمونه‌بردار دارای یک کیسه فنردار قابل چرخش در حالت پر شده بوده که در ابتدا به سمت عقب درون جسم نمونه‌بردار چرخیده و در محل قفل می‌شود. نمونه‌بردار با یک کابل پایین رفته و هنگام تماس با بستر کشش کابل آزاد شده و قفل لغزیده می‌شود. فنر سبب چرخش کج بیل با یک قوس ۱۸۰ درجه به درون بستر شده، لبه برنده به سمت بالا در مقابل یک علامت رانده می‌شود، بدین ترتیب اطمینان حاصل می‌شود که ضمن بالاآمدن نمونه‌بردار مواد موجود در آن به بیرون ریخته می‌شود. کیسه‌ها حداکثر تا عمق حدود ۵۱ میلی‌متر نمونه‌برداری نموده و در حدود ۱۶۰ میلی‌لیتر نمونه در آنها جا می‌گیرد. (شکل ۶-۱- ب و ج)

1 - Pistone Core

2 - Rotating bucket



الف – نمونه‌بردار مواد بستر نوع ۵۳- US BMH

ب – نمونه‌بردار مواد بستر نوع ۵۴- US BM

ج – نمونه‌بردار مواد بستر نوع ۶۰- US BMH

شکل ۶-۱- نمونه‌بردار مواد بستر

## ۶-۲ نمونه‌برداری از رسوبات عمقی[1] (مغزه‌گیری)

وقتی هدف نمونه‌برداری جمع‌آوری اطلاعاتی در مورد ترکیب عمودی یا توزیع عمودی آلاینده‌ها باشد نمونه‌های دست‌نخورده نسبتاً عمیق لازم است. این نمونه‌ها معمولاً توسط نمونه‌بردارهای کرگیر با ظروف نمونه‌برداری مقیاس‌دار قابل جابجا شدن جمع‌آوری می‌شود. در رسوبات دانه‌ریز، نفوذ به درون بستر نسبتاً ساده است، ولی مواد نزدیک به لوله یا دیواره خط‌کش ممکن است از محل اصلی خود جابجا شده و حتی ممکن است برخی از لایه‌ها قابل فشرده شدن بوده درحالیکه سایر لایه‌ها فاقد چنین قابلیتی باشند. نمونه‌بردار سوئدی[2] این اثرات را به کمک نوارهای فلزی نازک محوری به حداقل می‌رساند.

فویلها به‌طور دائم از یک مخزن، به هنگام پایین رفتن لوله در سر برنده آن به پایین رانده شده تا نمونه در آن قرار گیرد غالباً کرگیری رسوبات ریزدانه ساده بوده ولی ماسه و گراول به دلیل مقاومتشان به سختی قابل کرگیری نسبتاً عمیق هستند. کرهای با طول بیش از ۱ متر با نمونه‌بردارهای کر پیستونی به صورت دستی با راندن لوله کرگیر درون بستر جمع‌آوری می‌شود.

نمونه‌برداری عمیق معمولاً به وسایل حفاری با تجهیزات ویژه نیاز داشته که اغلب نمونه‌های بسیار فشرده یا کاملاً دست‌خورده‌ای تهیه می‌کند.

## ۶-۳ نمونه‌های ذرات – درشت

نمونه‌بردارهای استاندارد تشریح شده تاکنون برای جمع‌آوری نمونه‌هایی در محدوده رس تا ماسه طراحی شده‌اند. نمونه‌برداری موادی در محدوده گراول قلوه سنگ[3] و محدوده‌های درشت‌تر بسیار مشکل است. زیرا کاوش آنها به سختی انجام می‌شود و مقدار زیادی از این مواد باید جمع‌آوری شود. جمع‌آوری دستی و اندازه‌گیری نیازمند تعیین یک نمونه معرف از چنین موادی است. لذا رودخانه باید یا کاملاً خشک بوده یا به سادگی قابل توده شدن باشد زیرا هیچ روش عملی برای تعیین قطر ذرات درشت در رودخانه‌های غیرقابل توده‌شدن وجود ندارد.

در رودخانه‌های قابل توده شدن استفاده از یک الگوی شبکه‌ای برای تعیین محل نقاط نمونه‌برداری توصیه می‌شود. حداقل ۲۰۰ نقطه باید نمونه‌برداری شده تا مقدار نسبی بعضی از قطرهای درشت‌تر دقیق باشند. ذرات

1 - Coring
2 - Sweidish Foil
3 - Corbal

**هر نقطه شبکه بازیافت شده و قطر متوسط اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. اگر یک نقطه شبکه بیشتر ماسه یا مواد ریزتر باشد، حجم کمتری (حدود ۱۵ میلی‌لیتر) جمع‌آوری شده و با نمونه‌های حاصله از سایر نقاط مشابه برای آنالیز الک ترکیب می‌شود.**

**کلر هالس و بارلی[1] (۱۹۷۱) نشان داده‌اند که اگر ذرات با قطرهای متنوع به‌طور تصادفی در کل یک توده رسوب ته‌نشین شده پخش شده باشد، درصد عددی ذرات سطحی معادل درصد وزنی یک نمونه سه بعدی توده ته‌نشین شده می‌باشند.**

**با فرض اینکه کلیه ذرات دارای وزن مخصوص مساوی هستند. لذا قطرهای تعیین شده با اندازه‌گیریهای دستی می‌تواند با قطرهای حاصله از الک در فرکانس توزیع پیوسته ترکیب شود.**

**جدول ۶-۱ روش مورد استفاده داده‌های جمع‌آوری شده توسط ویلیامز وگای[2] (۱۹۷۳) را نشان می‌دهد. در این مثال ویژگیهای قبلی به‌دست نیامدند زیرا فقط ۵۹ نقطه شبکه نمونه‌برداری شد (۱۴ نقطه دارای سنگ و ۴۵ نقطه مواد ریزدانه بودند). و قطرهای در محدوده سنگ به حد ناچیزی معرف هستند.**

**درمواردی که بتوان از سطح مواد عکس‌برداری نمود، دانه‌بندی قطرهای درشت را می‌توان با استفاده از آنالیز زایس[3] (رایتروهلی[4]، ۱۹۶۸) تعیین نمود. عکس را می‌توان با استفاده از یک دوربین ۳۵۰۰ میلی‌متر که در حدود ۲ متری بالای بستر رودخانه نصب شده و یک اشل مرجع، مانند یک نوار استیل، باید در مرکز عکس ظاهر شود می‌توان به‌دست آورد.**

1 - Kellerhals and Bray
2 - Williams and Guy
3 - Zeiss
4 - Ritter and Helley

**جدول ۶-۱- درجه‌بندی، اندازه ذرات توسط ویلیامزوگای**

| کلاس قطر | مقدار سنگ | درصد زیر گروهها | | درصد وزنی | درصد تجمعی ریزتر از اندازه حد بالا |
|---|---|---|---|---|---|
| | | سنگهای بزرگتر | تجزیه، الک، پیپت | | |
| ۲۰۴۸-۴۰۹۶ | | | | | |
| ۱۰۲۴-۲۰۴۸ | | | | | |
| ۵۱۲-۱۰۲۴ | | | | | |
| ۲۵۶-۵۱۲ | ۱ | ۷/۱ | | ۱/۷ | ۱۰۰/۰ |
| ۱۲۸-۲۵۶ | ۱ | ۷/۱ | | ۱/۷ | ۹۸/۳ |
| ۶۴-۱۲۸ | ۲ | ۱۴/۳ | | ۳/۴ | ۹۶/۶ |
| ۳۲-۶۴ | ۶ | ۴۲/۹ | | ۱۰/۲ | ۹۳/۲ |
| ۱۶-۳۲ | ۴ | ۲۸/۶ | | ۶/۸ | ۸۳/۰ |
| | ۱۴ | ۱۰۰/۰ | | | |
| ۸-۱۶ | | | ۱۴/۲ | ۱۰/۸ | ۷۶/۲ |
| ۴-۸ | | | ۱۱/۴ | ۸/۷ | ۶۵/۴ |
| ۲-۴ | | | ۱۴/۳ | ۱۰/۹ | ۵۶/۷ |
| ۱-۲ | | | ۱۹/۰ | ۱۴/۵ | ۴۵/۸ |
| ۰/۵-۱ | | | ۱۵/۸ | ۱۲/۱ | ۳۱/۳ |
| ۰/۲۵-۰/۵ | | | ۱۲/۲ | ۹/۳ | ۱۹/۲ |
| ۰/۱۲۵-۰/۲۵ | | | ۷/۱ | ۵/۴ | ۹/۹ |
| ۰/۰۶۲-۰/۱۲۵ | | | ۳/۲ | ۲/۴ | ۴/۵ |
| ۰/۰۳۱-۰/۰۶۲ | | | ۲/۸ | ۲/۱ | ۲/۱ |
| | | | | ۱۰۰/۰ | ۱۰۰/۰ |

## ۷- منابع و مآخذ


1- Manual Sediment Transport Measurements L.C. Van Rijn Delft Hydraulics Laboratory March 1986 Delft , The Netherlands

2- Mechanics of Sediment Transportation Garde. RJ and Runyanjue 1985.

3- River Engineering Margarets. Peterson 1986.